

08653  
2001  
FL-PP-08653

# Documentos

ISSN 1516-1633  
Dezembro, 2001

175

## Degradação de Terras por salinidade no Nordeste do Brasil e medição instrumental da salinidade

Degradacao de terras por ...  
2001 FL-PP-08653



CPATSA-26930-1

**Embrapa**

***República Federativa do Brasil***

*Fernando Henrique Cardoso*  
Presidente

***Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

*Marcus Vinicius Pratini de Moraes*  
Ministro

***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa***

***Conselho de Administração***

*Márcio Fortes de Almeida*  
Presidente

*Alberto Duque Portugal*  
Vice-Presidente

*Dietrich Gerhard Quast*  
*José Honório Accarini*  
*Sérgio Fausto*

*Urbano Campos Ribeiral*  
Membros

***Diretoria-Executiva da Embrapa***

*Alberto Duque Portugal*  
Diretor-Presidente

*Dante Daniel Giacomelli Scolari*  
*Bonifácio Hideyuki Nakasu*  
*José Roberto Rodrigues Peres*  
Diretores

***Embrapa Semi-Árido***

*Paulo Roberto Coelho Lopes*  
Chefe-Geral

## **Documentos 175**

# **Degradação de terras por salinidade no Nordeste do Brasil e medição instrumental da salinidade**

**Gilberto Gomes Cordeiro  
Abraham Rodas Mansefú**

Degradação de terras por  
2001 FL-FL 14860



26930-1

Petrolina, PE  
2001



Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Semi-Árido**

BR 428, km 152, Zona Rural

Caixa Postal 23

CEP 56302-970 Petrolina-PE

Fone: (0xx87) 3862-1711

Fax: (0xx87) 3862-1744

Homepage: [www.cpatsa.embrapa.br](http://www.cpatsa.embrapa.br)

E-mail: [sac@cpatsa.embrapa.br](mailto:sac@cpatsa.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Luiz Maurício Cavalcante Salviano

Secretário-Executivo: Eduardo Assis Menezes

Membros: Luís Henrique Bassoi

Patrícia Coelho de Souza Leão

João Gomes da Costa

Maria Sonia Lopes da Silva

Edineide Maria Machado Maia

Supervisor editorial: Eduardo Assis Menezes

Normalização bibliográfica: Maristela Ferreira Coelho de Souza/

Edineide Maria Machado Maia

Editoração eletrônica: Lopes Gráfica e Editora

**1ª edição**

1ª impressão (2001): 1000 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

---

Cordeiro, Gilberto Gomes

Degradação de terras por salinidade no Nordeste do Brasil e medição instrumental da salinidade/Gilberto Gomes Cordeiro, Abraham Rodas Mansefú. - Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 2001.

32 p.; 14,8cm. \_\_ (Embrapa Semi-Árido. Documentos; 175).

1. Solo salino - Sódico - Brasil - Nordeste. 2. Deterioração do solo - Salinidade - Brasil - Nordste. 3. Salinidade - Medição instrumental. I. Mansefú, Abraham Rodas. II. Título. Série.

# **Autores**

**Gilberto Gomes Cordeiro**

Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, M.Sc., Pesquisador da Embrapa Semi-Árido.  
Br 428, km 152, Zona Rural, 56302-970, Petrolina-PE

**Abraham Rodas Mansefu**

Eng/ Agrícola, Chefe de Divisão e Supervisão de Estudos  
do Projeto Especial Chira-Perú.

# Sumário

<b>Introdução</b> .....	1
<b>Áreas afetadas pela salinização e sodificação no Nordeste</b> .....	5
<b>Métodos para medir a salinidade dos solos</b> .....	5

# Degradação de terras por salinidade no Nordeste do Brasil e medição instrumental da salinidade

---

*Gilberto Gomes Cordeiro*

*Abraham Rodas Mansefu*

Com o objetivo de comprovar a eficiência da utilização dos equipamentos MARTEX-SCT-10 e ELETROMAGNÉTICO-EM-38 na determinação da salinidade do solo ao nível de campo no Nordeste do Brasil, bem como inventariar áreas degradadas por salinização, realizou-se um estudo em 53 pontos diferentes, localizados no Projeto de Irrigação Bebedouro em Petrolina, PE, e na Ilha Assunção, em Cabrobó, PE, que apresentavam teores baixos, médios e altos de salinidade. Paralelamente ao trabalho de determinação da salinidade ao nível de campo, usando estes equipamentos, determinou-se, no laboratório a salinidade do solo usando-se a metodologia tradicional. Verificou-se, entre dados de laboratório e os obtidos com os equipamentos ao nível de campo, uma correlação altamente significativa entre as duas séries de dados. Todavia, estas informações não são conclusivas, merecendo que os trabalhos sejam prosseguidos ou repetidos para que seja possível a obtenção de resultados mais confiáveis e que possam ser utilizados sem maiores restrições.

## INTRODUÇÃO

Os problemas decorrentes da acumulação de sais solúveis e sódio trocáveis nos solos irrigados das regiões áridas e semi-áridas são muito antigos e sua origem remonta à própria origem da irrigação.

A maior parte dos solos salinos e sódicos ocorrem principalmente em regiões áridas e semi-áridas, onde os processos de salinização e sodificação são frequentemente acelerados por irrigação pouco eficiente e insuficiente drenagem.

Os sais solúveis do solo consistem em grande parte, e em proporções variadas, dos cátions sódio, cálcio e magnésio e dos ânions sulfato, sendo que, em quantidades menores, encontram-se os ânions, bicarbonato, carbonato e nitrato. As fontes originais, das quais provêm estes sais, são os minerais expostos da crosta terrestre (Israelsen & Hansen, 1975).

Muitos dos problemas relacionados com excesso de sais e sódio trocável são inerentes ao solo no estado virgem. Outros, entretanto, aparecem após terem sido submetidos à irrigação. Assim, nas áreas irrigadas é comum o surgimento de salinidade provocada pela água de irrigação contendo concentrações elevadas de sais, decorrentes também de práticas de manejo que não visam à conservação da capacidade produtiva dos solos, sistema de drenagem insuficiente, quantidade inadequada de água e uso indiscriminado e excessivo de fertilizantes (Hayward & Wadleigh, 1949; Lyerly & Longenecker, 1962; McNeal, 1976 além de elevação do lençol freático e sistematização do solo (Thorne & Thorne, 1954; Lewis & Juve, 1956).

O aumento das concentrações de sais e sódio trocável pode ocorrer nos solos sob irrigação, mesmo usando água de boa qualidade, desde que as características físicas, químicas e hidrodinâmicas do solo sejam desfavoráveis. As altas taxas de evaporação e baixa precipitação pluviométrica, associadas às características do material de origem e às condições geomorfológicas e hidrológicas, condicionam a formação de solos com teores elevados de sais solúveis e sódio trocável (Kovda, 1964).

Os efeitos adversos da salinidade sobre as plantas constituem um dos fatores limitantes da produção agrícola, devido, principalmente, ao aumento da pressão osmótica do solo e à toxidez resultante da concentração salina e dos íons específicos. Em solos sódicos, o problema maior é sobre as características físicas do solo, devido à dispersão dos colóides, criando problemas de compactação, diminuindo, conseqüentemente, a aeração e dificultando o movimento de água e desenvolvimento radicular, além do efeito tóxico do sódio (Richards, 1954).

A experiência brasileira na área de irrigação e drenagem é muito recente e a vivência de outros países de tecnologia avançada neste setor não pode ser facilmente transferida para o Brasil, país de dimensões continentais, onde as condições de solo e clima são as mais diversas e onde os aspectos sócio-econômicos e culturais diferem de região para região.

Dentre os inúmeros problemas afetados às áreas irrigadas do Nordeste do Brasil, tem-se mencionado, com frequência, o da salinização. Nos meios técnicos, este problema tem chegado até mesmo a gerar sérias inquietações, face às notícias sobre a sua gravidade e às perspectivas de dificuldades que poderá acarretar, podendo mesmo vir a comprometer todo o esforço que está sendo realizado. Diante disso, algumas instituições do governo, com a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), especialmente através da Embrapa Semi-Árido, têm se preocupado bastante com o problema e vêm mobilizando um amplo esforço do ponto de vista institucional, financeiro e técnico, visando ao seu equacionamento.

O presente trabalho foi realizado no Projeto de Irrigação de Bebedouro em Petrolina, PE, e na Ilha da Assunção em Cabrobó, PE e tem por finalidade atender aos seguintes objetivos: inventariar áreas degradadas por salinização no Nordeste do Brasil; introduzir medidas instrumentais para determinar a salinidade do solo ao nível de campo; comprovar os modelos propostos para determinação da salinidade; fornecer subsídios, métodos e técnicas de utilização dos equipamentos para medição da salinidade do solo; comprovar a efetividade dos equipamentos MARTEX-SCT-10 e ELETROMAGNÉTICO-EM-38 na região semi-árida do Nordeste.

## **ÁREAS AFETADAS PELA SALINIZAÇÃO E SODIFICAÇÃO NO NORDESTE**

Os problemas de degradação dos solos por salinização e sodificação no Brasil encontram-se particularmente na região semi-árida do Nordeste, onde o “déficit hídrico” atinge mais de 2.000 mm por ano favorecendo, assim, a acumulação de sais solúveis e sódio trocável.

De acordo com revisão realizada (Pereira, 1983) no levantamento de solos dos estados da Bahia ao Ceará totalizando 1.110.000 km<sup>2</sup> na escala de 1:500.000, foram delimitadas áreas correspondentes a 85.931 km<sup>2</sup> de solos afetados por sais, representando 7.74% da área mapeada destes estados. A Tabela 1 mostra a distribuição destes solos por estado, estando incluídos aí Planossolos solódicos,

Solonetz solodizados, Solonchack solonetzicos, solos halomórficos e outros, isto sem considerar as áreas com problemas de sais e sódio nos perímetros irrigados em operação e solos aluvionais dos vales dos rios (Mello et al., 1967).

Tabela 1. Áreas de solos afetados por sais em sete estados do Nordeste, segundo o Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Total 85.931 km<sup>2</sup>.

Solos	Estados							Total
	CE	RN	PB	PE	AL	SE	BA	
Planossolo Solódico	121.708	3.690	944	5.165	3.370	2.098	30.516	58.491
Solonetz Solodizado	8.436	4.064	2.769	2.654	393	1.013	5.161	24.490
Solonchack Solonétzico	450	837	-	-	-	-	-	1.287
Halomórfico	18	-	-	-	-	-	-	18
Outros	1.645	-	-	-	-	-	-	1.645
Total	23.257	8.591	3.713	7.819	3.763	3.111	35.677	85.931
%	27%	10%	4,3%	9,1%	4,4%	3,6%	41,5%	100%

As áreas irrigadas do Nordeste concentram-se em três grandes situações, a saber: perímetros irrigados e áreas de aluviões (ilhas e margens) ao longo do São Francisco e perímetros irrigados nas diversas represas construídas em quase todos os estados. Em alguns pontos destas áreas já se observa um processo de salinização em andamento, acompanhado de sódio no complexo de troca. Segundo Góes (1977), 25% dos solos irrigados no Nordeste estão afetados por sais e sódio, percentagem esta considerada bastante otimista quando levantamentos mais recentes, realizados por Cordeiro (1977), nos solos do projeto de irrigação de São Gonçalo, PB, mostraram que só na área em operação, 24% estão afetados por sais, isto sem considerar as áreas já abandonadas, que apresentam elevados teores de sais. Esta situação reflete-se, de maneira geral, nos projetos de irrigação implantados no Nordeste, onde extensas áreas estão fora de operação, por apresentarem condições adversas ao desenvolvimento e produção rentável das culturas, necessitando, portanto, serem recuperadas e reincorporadas ao processo produtivo. Este aspecto poderá ser observado na Tabela 2.

Tabela 2. Áreas de solos afetadas por sais em alguns projetos de irrigação do Nordeste do Brasil.

Projeto	Área Irrigada (ha)	Área com baixa Produtividade p/sais (ha)	Área Abandonada	Área Salinizada	%
Morada Nova – CE	2.880	815	285	1.100	38
Vaza Barris – BA	1.015	120	33	153	15
Ceraima – BA	614	176	116	292	47
Lima Campos – CE	502	41	0	41	8
Eng° Arcoverde – PB	321	32	73	104	33
Caldeirão – BA	416	23	29	52	12
Boa Vista – PE	154	41	0	41	27
Sumé – PB	147	74	15	89	61
Cachoeira – BA	142	37	6	43	30
São Gonçalo – PB	1.340	-	-	375	28
Totais	7.532	1.359	557	2.291	30

Os solos dos perímetros irrigados do Nordeste, especialmente aqueles a cargo do DNOCS, são na sua quase totalidade do tipo aluvional, caracterizados por extremas variabilidades horizontais e verticais, tanto no aspecto físico como químico. Em geral são de textura média e pesada, profundos, de boa fertilidade, porém pobremente drenados. Além disso, muitos destes solos apresentavam, originalmente, altos teores de sais, condição que foi agravada com a irrigação. Caso não sejam adotadas medidas preventivas eficientes, a área salinizada será, por certo, rapidamente aumentada.

As fontes de água para irrigação no Nordeste são constituídas de reservatórios superficiais, onde a água é armazenada durante a estação chuvosa (açudes) e rios sendo, de uma maneira geral, de boa qualidade, variando de  $C_1$  a  $C_2$  e de  $S_1$  a  $S_2$ . A mais importante fonte é o rio São Francisco, cuja água contém baixos teores de sais, sendo classificada como  $C_1S_1$ . O uso destas águas não deveria apresentar maiores problemas para irrigação sob condições adequadas de manejo. Todavia, em decorrência do inadequado balanço de sais comumente verificado, devido a problemas de drenagem, observa-se uma gradativa salinização do perfil irrigado e um progressivo aumento das áreas problemas. Em alguns casos são também usadas águas de poço que, não raro, apresentam concentrações elevadas de sais, chegando mesmo a limitar seu uso para irrigação. As águas subterrâneas, devido ao embasamento cristalino existente no semi-árido, não ocorrem em grandes quantidades, sendo encontradas em aquíferos localizados e geralmente considerados marginais para irrigação.

A caracterização dos solos com problemas de salinidade pode ser feita através da utilização de métodos de laboratório e métodos de campo.

## MÉTODOS PARA MEDIR A SALINIDADE DOS SOLOS

### 1. Métodos de laboratório

A metodologia tradicional utilizada para medir a salinidade dos solos foi desenvolvida pelo laboratório de Riverside nos Estados Unidos da América do Norte (Richards, 1954). O método consiste em preparar uma pasta saturada de uma amostra de solo e posteriormente obter o extrato, mediante sucção por vácuo ou pressão. Através da medição da condutividade elétrica (CE) do extrato de saturação em mmhos/cm, ou dS/m a 25°C, obtém-se a concentração de sais solúveis do extrato, através da fórmula

$$\text{ppm} = 640 \times \text{CE} \times \frac{\text{U.S.}}{100}$$

### 2. Método de campo

Mais recentemente, o laboratório de salinidade de Riverside tem desenvolvido novos modelos matemáticos que apresentam novas formulações para diagnosticar a condutividade elétrica do extrato de saturação (C<sub>ee</sub>), bem como o desenvolvimento de novos equipamentos para medir a condutividade elétrica aparente do solo (C<sub>ea</sub>) diretamente no campo. Todavia a informação de campo deverá ser completada com base na estimativa das percentagens de argila e de umidade presentes no perfil do solo, no momento da leitura com os equipamentos. Assim sendo, o técnico que estiver operando com os equipamentos deverá ter bastante prática para que, com o uso do tato, possa estimar com bastante aproximação estes parâmetros. A Tabela 3 poderá auxiliar muito no processo de estimação da textura e da umidade do solo ao nível de campo.

Tabela 3. Propriedades usuais dos solos.

Textura do Solo	Infiltração e Permeabilidade e (cm/h)	Espaço poroso (%)	Peso específico aparente (d)	Capacidade de campo % @	Umid. Murcham. % (m)	Peso seco% (c - m)	Volume % (c - m)	cm/m (c - m) d.p.
Arenoso	5	38	1,65	9	4	5	8	8
	(2,5 - 22,5)	(32 - 42)	(1,55 - 1,80)	(6 - 12)	(2 - 6)	(4 - 6)	(6 - 10)	(6 - 10)
Barro-arenoso	2,5	43	1,50	14	6	8	12	12
	(1,3 - 7,6)	(40 - 47)	(1,40 - 1,60)	(10 - 18)	(4 - 8)	(8 - 10)	(9 - 15)	(9 - 15)
Barro	1,3	47	1,40	22	10	12	17	17
	(0,8 - 2,0)	(43 - 49)	(1,35 - 1,50)	(18 - 26)	(8 - 12)	(10-14)	(14 - 20)	(14 - 20)
Barro-argiloso	0,8	49	1,35	27	13	14	19	19
	(0,25 - 1,5)	(47 - 51)	(1,30 - 1,40)	(23 - 31)	(11 - 15)	(12 - 16)	(16 - 22)	(16 - 22)
Argilo-arenoso	0,25	51	1,30	31	15	16	21	21
	(0,03 - 0,5)	(49 - 53)	(1,25 - 1,35)	(27 - 35)	(13 - 17)	(14 - 18)	(18 - 23)	(18 - 23)
Argiloso	0,05	53	1,25	35	17	18	23	23
	(0,01 - 0,1)	(51 - 55)	(1,20 - 1,30)	(31 - 39)	(15 - 19)	(16 - 20)	(20 - 25)	(20 - 25)

Fonte: Israelsen & Hansen (1965) p.164.

### 2.1. Medida da condutividade elétrica da pasta saturada (Cep)

A condutividade elétrica do extrato de saturação (C<sub>ee</sub>) é estimada a partir da medida da condutividade elétrica da pasta saturada do solo (C<sub>ep</sub>) determinada em campo e da estimativa do conteúdo de água (PS) da pasta saturada. Os equipamentos utilizados para este método estão em fase de calibração no laboratório de salinidade de Riverside. Este método será indicado para estimativas de campo em solos secos e em trabalhos de mapeamento de salinidade.

### 2.2. Medida instrumental da condutividade elétrica aparente (Cea) com o instrumento - MARTEK-SCT-10

Este equipamento é uma unidade computadorizada, pequena, de fácil manejo e operação em campo. Os controles de operação e calibração são comandados por botões de contato acionados por uma bateria recarregável.

O instrumento mede "in situ" a C<sub>ea</sub>, o pH e a temperatura. Por conveniência, o sistema computadorizado transforma o valor da C<sub>ea</sub>, medida à temperatura ambiental para 25°C, que é a temperatura de uso universal.

O instrumento tem dois sensores (células) para diagnosticar a salinidade de águas e a C<sub>ea</sub> de solos por contato direto. Para trabalhar com cada célula, deverá ser calibrada previamente.

### 2.3. Medida instrumental da Cea com o instrumento Eletromagnético-EM-38

O instrumento Eletromagnético-EM-38 foi desenvolvido para estimar a C<sub>ea</sub> indiretamente no campo, usando técnicas eletromagnéticas indutivas. Antes do início de um mapeamento de salinidade do solo, o instrumento deve ser calibrado, seguindo em forma sequencial o manual de operação. Existem quatro faixas de trabalho (30, 100, 300 e 1.000) para avaliar a salinidade, obtendo-se, para cada faixa, uma leitura na posição vertical EM<sub>v</sub> e outra na posição horizontal EM<sub>h</sub>. As faixas são selecionadas em função do grau de salinidade do solo. Este instrumento é alimentado por uma bateria de pequena voltagem, tem pouco peso, sendo de fácil manejo para operar em campo.

A resolução das equações da Tabela 4 revela os resultados da C<sub>ea</sub> estimados para profundidades crescentes do perfil de solo de 0-30, 30-60 e 60-90 cm. Os

valores assim obtidos deverão ser semelhantes aos obtidos com medição direta por contato com o instrumento MARTEK-SCT-10.

Tabela 4. Equações que relacionam a ( $C_{ea}$ ) com leituras instrumentais  $EM_H$  e  $EM_V$  para diferentes profundidades do perfil do solo (GEONICS EM-38)

Profundidade (cm)	Para $EM_H, EM_V$	n	$r^2$
0 – 30	$C_{ea} = 1.690 EM_H - 0.591 EM_V$	117	0.866
0 – 60	$C_{ea} = 1.209 EM_H - 0.089$	147	0.917
0 – 90	$C_{ea} = 1.107 EM_H$	54	0.903
30 – 60	$C_{ea} = 1.554 EM_H + 0.595 EM_V$	113	0.840
60 – 90	$C_{ea} = 0.126 EM_H - 1.283 EM_V - 0.097$	53	0.812
Profundidade (cm)	Para $EM_H \leq EM_V$	n	$r^2$
0 – 30	$C_{ea} = 3.023 EM_H - 1.962 EM_V$	673	0.731
0 – 60	$C_{ea} = 2.757 EM_H - 1.539 EM_V - 0.097$	639	0.835
0 – 90	$C_{ea} = 2.028 EM_H - 0.887 EM_V$	198	0.852
30 – 60	$C_{ea} = 2.585 EM_H + 1.213 EM_V - 0.204$	647	0.782
60 – 90	$C_{ea} = 0.958 EM_H - 0.323 EM_V - 0.142$	195	0.736

2.4. Novas fórmulas para diagnosticar a  $C_{ea}$  em função da  $C_{ea}$ , percentagem de argila e percentagem de umidade estimadas no campo.

RHOADES, J.D. et al (1989) apresentam um novo modelo que descreve a relação entre a condutividade elétrica aparente da massa do solo ( $C_{ea}$ ), o conteúdo volumétrico da água do solo ( $W$ ) e a condutividade elétrica da água do solo ( $CE_w$ ) assim como a evidência que respalda sua validade. O novo modelo distingue entre a água e o sal presentes no solo nas fases “in movil” (poros finos) e “movil”, (poros grandes). Proporciona um possível significado físico ao coeficiente de transmissão ( $T$ ) utilizado previamente em um modelo anterior e elimina uma limitação desse modelo para condições de baixo salinidade. Proporciona novas relações empíricas para estimar os parâmetros requeridos nos modelos novos e antigos referidos, a fim de utilizá-los para diagnosticar a salinidade do solo em termos da condutividade elétrica do extrato da pasta saturada de solo ( $C_{ee}$ ).

## ESTUDOS REALIZADOS

Para atender aos objetivos deste estudo realizou-se este trabalho em duas áreas a saber:

Projeto de irrigação de Bebedouro - localizado a 45 km da cidade de Petrolina, PE. A área situa-se nas coordenadas Lat. 09°09' e Long. 40°22'W. O solo predominante é o Latossolo Vermelho Amarelo profundo de textura arenosa na camada superficial, mudando para textura argilo-arenosa com o aumento da profundidade, de reação ácida e baixa capacidade de saturação de bases. O sistema de irrigação do perímetro, em operação desde 1969, é constituído por uma rede de canais revestidos, alimentada com água bombeada do rio São Francisco e entregue às parcelas para irrigação por sulcos. O regime pluvial se caracteriza por precipitações médias anuais de 400 mm, com distribuição irregular, concentrando-se entre os meses de novembro a abril com temperaturas médias elevadas, "déficit hídrico" acentuado e alta luminosidade.

Ilha Assunção - Localizada no Rio São Francisco, cobrindo aproximadamente 3.200 ha, no município de Cabrobó, PE, a 200 km da cidade de Petrolina. Os solos predominantes na área são aluvionais, profundos, com textura predominante franco-argilo-arenosa, de boa permeabilidade e fertilidade. Sua topografia é plana e apresenta uma pequena elevação em relação ao rio São Francisco. O regime fluvial se caracteriza por precipitações médias anuais de 450 mm com distribuição irregular, concentrando-se as chuvas nos meses de dezembro a março. O clima é semi-árido, com temperaturas médias elevadas, "déficit" hídrico acentuado e alta luminosidade.

### 1. Determinações de Laboratório e Campo

Nas áreas acima mencionadas, selecionaram-se 53 pontos (27 no Projeto de Irrigação de Bebedouro e 26 na Ilha Assunção) de forma que as áreas selecionadas cobrissem as mais diferentes situações de salinidade, isto é, baixa, média, alta e extremamente alta.

Em cada ponto selecionado, procedeu-se à medição da Cea do solo, à profundidades de 0-30, 30-60 e 60-90 cm, utilizando-se os equipamentos MARTEX-SCT-10 e o Eletromagnético-EM-38. Coletaram-se também amostras de solo de todas as profundidades, totalizando 159 amostras. As amostras foram analisadas no laboratório de solos da Embrapa Semi-Árido. As determinações de condutividade

elétrica, do extrato de saturação, análise granulométrica, umidade da pasta saturada, umidade do solo no momento da coleta foram feitas de acordo com a metodologia descrita por Richards (1954). Estimou-se, também, em nível de campo, no momento da coleta de solo, a umidade e a textura pelo tato.

Determinou-se também em laboratório a densidade aparente seguindo o método da proveta, que consiste em pesar uma proveta de 50 ou 100ml, enchê-la com terra fina seca ao ar (TFSA) colocando, de cada vez, aproximadamente 35 ml e, em seguida, compactando a terra, batendo a proveta dez vezes sobre borracha de 5 mm de espessura, com distância de queda de mais ou menos 10 cm. Repete-se esta operação por mais duas vezes, até que o nível da amostra fique nivelado com o traço de aferimento da proveta; pesa-se a proveta com a amostra e calcula-se a densidade aparente (Embrapa-SNLCS, 1979). Os resultados podem ser comparáveis aos obtidos pelo método do anel de Kopeckey, para solos arenosos, não sendo recomendáveis para solos argilosos ou estruturados (Embrapa-SNLCS, 1979).

## 2. Equações utilizadas para o cálculo da Cee a partir da Cea medida em campo

Sendo um dos propósitos deste trabalho de pesquisar e descrever o procedimento de cálculo da Cee, a partir da Cea medida instrumentalmente no campo através da utilização dos dois instrumentos citados e do conteúdo de argila e umidade estimados também no campo, enumeramos sequencialmente as equações de cálculo que respaldam sua validade:

1. Dados estimados no campo: % de argila e % de umidade.
2. Dados instrumentais medidos no campo (Cea) (Mastek e Eletromagnético).
3. Porcentagem de saturação:  $PS = 0,76 (\% \text{ Arg.}) + 27,25$ .
4. Densidade aparente do solo:  $S_b = 1,73 - 0,0067 (PS)$ .
5. Volume de partículas sólidas:  $s = S_b/S_s$  (donde  $S_s = 2,65 \text{ gr/cm}^3$ ).
6. Umidade em função de volume:  $q_w = (\% \text{ unid.}) S_b/100$ .
7. Conteúdo de água em poros pequenos:  $q_{ws} = 0,639 (q_w) + 0,011$ .
8. Condutividade elétrica do solo:  $C_{es} = 0,019 (PS) - 0,434$ .
9. Condutividade elétrica do extrato de saturação (Cee):

$$C_{ee} = C E_w (q_w) 100/(PS) (S_b)$$

Donde  $(C E_w)$  é a condutividade elétrica da água do solo

$$C E_w = -B \pm (B^2 - 4AC)^{1/2}/2A \text{ (Rhoades et al., 1989)}$$

e donde os termos da equação do 2º grau tem os seguintes valores:

$$A = -((qs) (q_w - q_{ws}))$$

$$B = ((q_s) (C_{ea}) - (q_s + q_{ws})^2 (C_{es}) - (q_w - q_{ws}) (C_{es}))$$

$$C = ((q_{ws}) (C_{es}) (C_{es}))$$

### 3. Programas "BASIC" para calcular $C_{ea}$ e $C_{ee}$ .

A resolução sequencial de cada equação para determinar a  $C_{ea}$  e/ou  $C_{ee}$ , para um ponto de amostragem qualquer, torna-se um pouco complicado. Com o objetivo de ganhar tempo e evitar erros de cálculo, foram desenvolvidos programas "BASIC" de solução das equações, os quais podem ser adaptados a pequenas computadoras de bolso.

#### 3.1. Programa "BASIC" para calcular ( $C_{ea}$ ) em função das leituras: Horizontal ( $EM_H$ ) e Vertical ( $EM_V$ ) com o equipamento eletromagnético EM-38.

10 PRINT "Cálculo de ( $C_{ea}$ ) - Equipamento Eletromagnético EM-38".

20 INPUT "LECT. HORIZ. ( $EM_H$ ):", H.

30 INPUT "LECT. VERT. ( $EM_V$ ):", V.

40 IF  $H \leq V$  THEN 60.

50 UF  $H > V$  THEN 110.

60  $A = ((3.025 * H - .25) - (1.982 * V - .25)) - 4$ .

70  $B = ((2.585 * H - .25) - (1.213 * V - .25) - 0.204) - 4$ .

80  $C = ((0.958 * H - .25) + (0.323 * V - .25) - 0.142) - 4$ .

90  $D = ((2.757 * H - .25) - (1.539 * V - .25) - 0.097) - 4$ .

100  $E = ((2.028 * H - .25) - (0.887 * V - .25)) - 4$ .

105 GOTO 160

110  $J = ((1.69 * H - .25) - (0.591 * V - .25)) - 4$ .

120  $K = ((0.554 * H - .25) + (0.595 * V - .25)) - 4$ .

130  $L = ((-0.126 * H - .25) + (1.283 * V - .25) - 0.097) - 4$ .

140  $M = ((1.209 * H - .25) - (0.089 * V - .25)) - 4$ .

150  $N = ((1.107 * H - .25)) - 4$ .

155 GOTO 225

160 PRINT "Resultados:  $C_{ea}$  em (mmhos/cm - 25°C).

170 PRINT "Perfil 00-30cm.": A.

180 PRINT "Perfil 30-60cm.": B.

190 PRINT "Perfil 60-90cm.": C.

200 PRINT "Perfil 00-60cm.": D.

210 PRINT "Perfil 00-90cm.": E.

220 GOTO 20

225 PRINT "Resultados:  $C_{ea}$  em (mmhos/cm - 25°C).

230 PRINT "Perfil 00-30cm."; J.  
 240 PRINT "Perfil 30-60cm."; K.  
 250 PRINT "Perfil 60-90cm."; L.  
 260 PRINT "Perfil 00-60cm."; M.  
 270 PRINT "Perfil 00-90cm."; N.  
 280 GOTO 20  
 290 END.

3.2. Programa "BASIC" para calcular Cee em função de Cea % arg. % umid. Utilizando os equipamentos: MARTEX-SCT-10 e Eletromagnético EM-38.

10 PRINT "Cálculo Cee em função: Cea, % arg. E % umid."

20 INPUT "% arg.:" A

30 B = 0,76\*A + 27.25

40 C = 1.73 - 0.0067\*B

50 D = C/2.65

60 INPUT "% umid. Pw.:" E

70 F = E\*C/100

80 G = 0.639\*F + 0.011

90 H = 0.019\*B - 0.434

100 INPUT "Cea medido: Martek-SCT-10 e EM-38"; J

110 K = - (D\*(F-G))

120 L = ((D\*J) - (D+G)-2\*H - (F-G)\*(G\*H))

130 M = G\*H\*J

140 N = (-L-(L-2-(4\*K\*M))-0.5/(2\*K))

150 S = N\* F/C \* 100/B

160 PRINT "Cee ="; S: PRINT "CEw ="; N

170 INPUT "Deseja outros resultados.:" N\$

180 IF N\$ = "NO" THEN 200

190 IF N\$ = "Si" THEN 20

200 PRINT "% Sat. PS="; B

210 PRINT "Dens. Apar. Sb ="; C

220 PRINT "Vol. Part. Sol. q<sub>s</sub> ="; D

230 PRINT "Umid. Em Frac. De Vol. q<sub>w</sub> ="; F

240 PRINT "Quant. Água Poros Peq. q<sub>ws</sub> ="; G

250 PRINT "Cond. Elet. Do solo Ces="; H

260 PRINT "A="; K: Print "B="; L: Print "C="; M

270 GOTO 20

280 END

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de correlações entre os valores da Cee obtidos em laboratório utilizando a metodologia tradicional e os valores obtidos no campo, através do uso dos instrumentos Martek e Eletromagnético e com dados de percentagem de argila e de umidade estimados no campo, bem como medidas em laboratório, são mostradas na tabela 5. Os dados usados para obtenção destas correlações são mostrados na tabela 6. No apêndice do trabalho.

TABELA 5. Coeficientes de correlação entre diferentes métodos e parâmetros obtidos em laboratório e campo.

Profundidade (cm)	% Arg. E % Umid. Estimadas em campo		% Arg. % Umid. Medidas em Laboratório	
	Lab. X MARTEK	Lab. X EM - 38	Lab. X MARTEK	Lab. X EM - 38
00 - 30	0.56953**	0.74894**	0.59683**	0.78318**
30 - 60	0.73249**	0.84181**	0.74094**	0.85476**
60 - 90	0.43182**	0.62629**	0.53234**	0.73696**
00 - 90	0.41037**	0.75765**	0.45715**	0.78894**

\*significante ao nível

De acordo com os resultados obtidos com valores de % de umidade estimados em campo, observa-se que os valores de Cee obtidos com o equipamento Eletromagnético EM-38 deu uma melhor correlação que seu similar Martek-SCT-10.

Os resultados de salinidade (Cee) obtidos com o instrumento Martek-SCT-10 foram menores do que aqueles obtidos com o Eletromagnético (Tabela 6). Isto se deve, provavelmente, ao fato de que as avaliações com o Martek foram feitas introduzindo-se a célula no perfil do solo exatamente nas profundidades 30, 60 e 90cm. Como em geral, especialmente na época seca, a concentração salina do solo é mais alta na superfície, acredita-se que se a célula for introduzida até os pontos médios entre as profundidades, ou seja 15, 45 e 75cm, os resultados deverão melhorar substancialmente.

Tabela 6. Cálculo da Condutividade Elétrica do Extrato de Saturação (Cee) em função da Condutividade Elétrica Aparente do Solo (CEa) medida com os equipamentos MARTEK-SCT-10 e EM-38 e % de argila, % de umidade estimadas no campo e dados medidos em laboratório.

Ponto N°	Prof. (cm)	Text.	Arg. (%)	Umid. (%)	Equip. MARTEK-SCT-10 (mmhos/cm)		Equip. ELETROMAG. (EM-38) (mmhos/cm – 25°C)				Cee com dados de laboratório % Argila e % Umidade		
					(CEa)	(CEe)	Emv	EM <sub>H</sub>	CEa	Cee	MARTEK	EM-38	Laboratório
<b>PROJETO DE IRRIGAÇÃO DE BEBEDOURO (Sr. ANTERO FERREIRA ALBES)</b>													
01	00 – 30	A.Fr.	08	10	1.040	6.086	2.0	3.4	6.424	43.21	7.19	49.23	57.70
	30 – 60	A.Fr.	09	11	2.790	17.346			4.542	28.97	17.11	28.72	13.60
	60 – 90	A.Fr.	10	13	2.465	14.279			2.502	14.51	9.56	9.73	6.80
02	00 – 30	A.Fr.	06	07	0.250	1.002	2.4	3.4	5.911	46.58	1.06	46.12	56.80
	30 – 60	A.Fr.	07	08	1.780	12.330	*		4.967	36.30	11.59	34.22	20.79
	60 – 90	A.Fr.	08	09	3.615	24.614			3.118	21.08	18.10	15.38	9.60
03	00 – 30	A.Fr.	08	08	3.580	25.314	2.6	3.4	5.689	40.88	24.35	39.31	47.79
	30 – 60	A.Fr.	08	09	2.985	20.132			5.169	35.67	18.20	32.41	12.50
	60 – 90	A.Fr.	10	11	2.825	17.193			3.432	21.15	13.41	16.66	7.20
04	00 – 30	A.Fr.	08	07	2.805	20.622	2.4	3.4	5.911	44.72	21.14	45.51	46.60
	30 – 60	A.Fr.	08	12	4.603	29.414			4.967	31.83	27.65	29.94	22.00
	60 – 90	A.Fr.	09	15	3.604	21.327			2.502	14.43	15.98	10.52	9.20
05	00 – 30	A.Fr.	08	05	1.258	10.374	1.4	1.3	1.321	10.96	9.80	10.44	21.50
	30 – 60	A.Fr.	08	08	1.922	13.074			2.340	16.16	11.82	14.64	6.70
	60 – 90	A.Fr.	10	10	1.902	11.472			2.306	14.17	7.11	9.03	5.70
06	00 – 30	A.Fr.	06	08	0.044	0.003	1.0	1.0	1.174	8.00	0.01	8.30	4.70
	30 – 60	A.Fr.	10	10	0.054	0.005			1.861	11.20	0.01	12.63	3.70
	60 – 90	A.Fr.	12	11	1.727	9.559			1.683	9.28	10.59	10.29	6.57
07	00 – 30	A.Fr.	06	06	0.022	8.452	1.2	0.8	0.379	2.22	0.01	1.95	1.54
	30 – 60	A.Fr.	08	10	0.786	4.331			0.890	5.05	0.15	4.59	3.82
	60 – 90	A.Fr.	10	11	0.870	4.454			1.475	8.40	2.51	5.54	4.49
08	00 – 30	A.Fr.	08	09	0.006	0.001	1.2	0.6	0.118	0.03	4.88	0.04	0.84
	30 – 60	A.Fr.	08	09	0.221	0.486			0.413	1.84	0.06	0.83	0.84
	60 – 90	A.Fr.	10	10	0.760	3.858			1.166	6.56	1.53	3.39	1.64
09	00 – 30	A.Fr.	08	09	0.053	0.005	0.85	0.6	0.329	1.24	0.01	1.60	0.66
	30 – 60	A.Fr.	09	09	0.114	0.020			0.675	3.56	0.02	3.36	0.80
	60 – 90	A.Fr.	10	11	0.736	3.581			1.046	5.60	0.02	3.43	1.52
10	00 – 30	A.Fr.	08	08	0.100	0.014	0.8	0.45	0.131	0.04	0.01	0.02	0.80
	30 – 60	A.Fr.	09	09	0.295	0.912			0.344	1.25	0.13	0.29	1.13
	60 – 90	A.Fr.	10	11	0.670	3.152			0.808	4.05	1.28	1.93	2.27

Continua na próxima página

Tabela 6. Cálculo da Condutividade Elétrica do Extrato de Saturação (Cee) em função da Condutividade Elétrica Aparente do Solo (Cea) medida com os equipamentos MARTEK-SCT-10 e EM-38 e % de argila, % de umidade estimadas no campo e dados medidos em laboratório.

Continuação...

Ponto N°	Prof. (cm)	Text.	Arg. (%)	Umid. (%)	Equip. MARTEK-SCT-10 (mmhos/cm)		Equip. ELETROMAG. (EM-38) (mmhos/cm – 25°C)				Cee com dados de laboratório % Argila e % Umidade		
					(Cea)	(CEe)	Emv	EM <sub>H</sub>	CEa	CEe	MARTEK	EM-38	Laboratório
<b>PROJETO DE IRRIGAÇÃO DE BEBEDOURO (Sr. MANUEL DE SOUZA COELHO)</b>													
11	00 – 30	A.Fr.	07	08	0.085	0.010	0.8	0.6	0.382	1.82	0.01	2.19	0.71
	30 – 60	A.Fr.	12	12	0.336	0.776			0.729	3.18	0.43	2.65	0.92
	60 – 90	A.Fr.	14	14	0.586	1.963			1.027	4.51	1.33	3.61	1.42
12	00 – 30	A.Fr.	08	09	0.062	0.006	0.65	0.58	0.543	2.76	0.01	3.10	1.13
	30 – 60	A.Fr.	11	13	0.138	0.036			0.859	4.02	0.02	3.59	0.56
	60 – 90	A.Fr.	14	15	0.173	0.054			0.938	3.91	0.03	3.05	0.62
13	00 – 30	A.Fr.	07	09	0.074	0.009	0.62	0.55	0.509	2.64	0.01	2.87	0.56
	30 – 60	A.Fr.	11	13	0.173	0.071			0.800	3.66	0.03	2.98	0.59
	60 – 90	A.Fr.	13	15	0.270	0.279			0.884	3.73	0.09	2.80	0.71
14	00 – 30	A.Fr.	06	08	0.091	0.014	0.60	0.45	0.286	1.20	0.01	1.07	0.64
	30 – 60	A.Fr.	11	12	0.200	0.131			0.511	1.94	0.04	1.29	0.83
	60 – 90	A.Fr.	14	15	0.339	0.543			0.738	2.77	0.21	2.08	0.77
15	00 – 30	A.Fr.	05	07	0.090	0.015	0.60	0.58	0.638	4.29	0.02	3.27	0.60
	30 – 60	A.Fr.	10	10	0.208	0.234			0.939	5.05	0.06	3.87	0.88
	60 – 90	A.Fr.	12	15	0.404	1.047			0.916	4.06	0.45	2.97	0.72
16	00 – 30	A.	05	08	0.026	0.002	0.62	0.58	0.598	3.74	0.01	3.18	0.54
	30 – 60	A.Fr.	09	11	0.151	0.059			0.906	4.85	0.03	3.63	0.43
	60 – 90	A.Fr.	12	13	0.471	1.536			0.925	4.29	0.72	2.99	1.14
17	00 – 30	A..	04	06	0.037	0.002	0.61	0.58	0.618	4.63	0.01	3.91	0.66
	30 – 60	A.Fr.	08	10	0.152	0.080			0.922	5.27	0.04	4.79	0.57
	60 – 90	A.Fr.	10	13	0.240	0.336			0.920	4.55	0.07	3.18	0.46
18	00 – 30	A.	04	08	0.132	0.209	0.85	0.6	0.329	4.52	0.04	1.28	0.66
	30 – 60	A.Fr.	09	09	0.432	1.863			0.675	3.56	1.02	2.42	1.43
	60 – 90	A.Fr.	10	11	0.753	3.692			1.046	5.60	0.02	4.03	2.07
19	00 – 30	A.Fr.	06	08	0.162	0.269	0.8	0.59	0.361	1.77	0.14	1.59	0.74
	30 – 60	A.Fr.	09	11	0.268	0.636			0.699	3.47	0.30	2.86	0.67
	60 – 90	A.Fr.	08	12	0.520	2.334			1.012	5.59	1.63	4.51	1.57
20	00 – 30	A.	04	08	0.091	0.024	0.65	0.60	0.602	3.94	0.02	3.87	0.54
	30 – 60	A.Fr.	08	08	0.201	0.389			0.930	5.75	0.09	4.51	0.60
	60 – 90	A.Fr.	11	11	0.266	0.472			0.965	4.91	0.10	3.57	0.50

Contínua na próxima página

Tabela 6. Cálculo da Condutividade Elétrica do Extrato de Saturação (C<sub>ee</sub>) em função da Condutividade Elétrica Aparente do Solo (C<sub>ea</sub>) medida com os equipamentos MARTEK-SCT-10 e EM-38 e % de argila, % de umidade estimadas no campo e dados medidos em laboratório.

Continuação...

Ponto N°	Prof. (cm)	Text.	Arg. (%)	Umid. (%)	Equip. MARTEK-SCT-10 (mmhos/cm)		Equip. ELETROMAG. (EM-38) (mmhos/cm - 25°C)				C <sub>ee</sub> com dados de laboratório % Argila e % Umidade		
					(C <sub>Ea</sub> )	(C <sub>Ee</sub> )	Emv	EM <sub>H</sub>	CEa	CEe	MARTEK	EM-38	Laboratório
<b>PROJETO DE IRRIGAÇÃO DE BEBEDOURO (Sr. MANUEL DE SOUZA COELHO)</b>													
21	00 – 30	Fr.Ar.A	25	10	0.682	1.868	1.7	3.6	7.467	38.29	2.53	42.04	50.20
	30 – 60	Fr.Ar.A	25	12	0.770	2.143			4.330	20.41	2.99	23.54	9.50
	60 – 90	Fr.Ar.A	25	18	0.757	1.685	*		2.035	7.75	2.83	10.10	16.80
22	00 – 30	Fr.Ar.A	25	12	0.693	1.753	2.0	3.4	6.424	31.16	2.81	37.26	28.70
	30 – 60	Fr.Ar.A	25	16	0.717	1.609			4.542	20.19	2.48	23.85	12.00
	60 – 90	Fr.Ar.A	25	22	0.712	1.296			2.502	9.55	2.56	12.75	13.80
23	00 – 30	Fr.Ar.A	25	10	0.786	2.422	0.7	0.7	0.822	2.61	2.55	2.74	3.80
	30 – 60	Fr.Ar.A	25	16	0.829	2.141			1.220	4.03	2.79	4.88	3.40
	60 – 90	Fr.Ar.A	25	20	0.852	2.014			1.124	3.27	2.97	4.43	1.79
24	00 – 30	Fr.Ar.A	25	10	0.671	1.809	2.65	3.2	5.148	25.83	2.41	28.18	41.29
	30 – 60	Fr.Ar.A	25	14	0.824	2.255			5.064	23.35	2.68	25.11	12.40
	60 – 90	Fr.Ar.A	25	16	0.812	2.060			3.538	15.30	2.67	17.25	10.0
25	00 – 30	Fr.Ar.A	23	08	0.992	1.089	1.7	1.5	1.372	6.33	3.73	5.79	9.22
	30 – 60	Fr.Ar.A	23	10	2.888	3.147			2.615	12.64	2.93	11.95	7.42
	60 – 90	Fr.Ar.A	23	18	1.902	2.268			2.743	12.01	2.46	12.51	8.70
26	00 – 30	Fr.Ar.A	25	08	0.518	1.168	0.7	0.6	0.516	1.16	1.95	1.94	3.40
	30 – 60	Fr.Ar.A	25	10	0.726	2.102			0.854	2.79	2.89	3.31	2.70
	60 – 90	Fr.Ar.A	25	15	0.932	2.709			0.986	2.97	2.86	3.13	2.68
27	00 – 30	Fr.Ar.A	23	12	0.253	0.063	0.45	0.4	0.372	0.32	0.19	0.74	4.88
	30 – 60	Fr.Ar.A	25	14	0.520	0.791			0.543	0.90	1.63	1.76	1.64
	60 – 90	Fr.Ar.A	25	30	0.678	0.912			0.612	0.70	1.99	1.64	1.44
28	00 – 30	Fr.Ar.A	23	10	0.910	3.268	1.2	2.0	3.746	18.86	4.25	21.52	18.07
	30 – 60	Fr.Ar.A	23	14	0.920	2.906			2.698	11.97	4.03	14.49	7.30
	60 – 90	Fr.Ar.A	25	25	0.903	1.990			1.443	4.42	2.40	5.02	6.85
29	00 – 30	Fr.A	18	10	0.719	2.667	0.65	1.20	2.350	12.25	0.05	13.06	8.64
	30 – 60	Fr.A	20	12	0.767	2.550			1.541	6.78	2.94	7.38	2.49
	60 – 90	Fr.Ar.A	25	35	0.905	1.598			0.726	0.97	2.60	1.74	2.71
30	00 – 30	A.Fr.	08	08	0.148	0.076	0.34	0.25	0.152	0.09	0.14	0.16	0.44
	30 – 60	A.Fr.	40	40	0.376	1.305			0.236	0.40	1.11	0.30	4.46
	60 – 90	Fr.Ar.A	25	30	0.512	0.443			0.374	0.22	1.04	0.45	0.60

Continua na próxima página

Tabela 6. Cálculo da Conditividade Elétrica do Extrato de Saturação (Cee) em função da Condutividade Elétrica Aparente do Solo (Cea) medida com os equipamentos MARTEK-SCT-10 e EM-38 e % de argila, % de umidade estimadas no campo e dados medidos em laboratório.

Continuação...

Ponto N°	Prof. (cm)	Text.	Arg. (%)	Umid. (%)	Equip. MARTEK-SCT-10 (mmhos/cm)		Equip. ELETROMAG. (EM-38) (mmhos/cm - 25°C)				Cee com dados de laboratório % Argila e % Umidade				
					(CEa)	(CEe)	Emv	EM <sub>H</sub>	CEa	CEe	MARTEK	EM-38	Laboratório		
<b>ÁREA PILOTO DE DRENAGEM (CABROBÓ) (06.09.89)</b>															
31	00-30	A.Fr.	10	10	0.504	2.154	0.45	0.5	0.771	3.93	2.03	3.71	3.34		
	30-60	A.Fr.	12	15	0.562	1.383			0.825	3.52	1.70	3.87	1.74		
	60-90	Fr.A.	18	28	0.581	1.018			0.517	0.76	1.69	1.34	1.45		
32	00-30	A.Fr.	08	14	0.956	5.016	1.1	1.5	2.561	15.36	4.53	13.94	12.19		
	30-60	A.Fr.	10	26	1.031	4.387			2.233	11.30	4.62	11.65	5.14		
	60-90	Fr.Ar.A	25	35	1.004	1.986			1.348	3.43	4.62	5.34	5.28		
33	00-30	A.Fr.	08	08	0.196	0.354	0.4	0.3	0.191	0.32	0.19	0.17	1.56		
	30-60	A.Fr.	12	12	0.562	2.153			0.387	0.61	1.89	0.47	1.32		
	60-90	Fr.A.	20	20	0.722	1.813			0.461	0.61	1.95	0.70	1.35		
34A	00-30	A.Fr.	06	06	1.118	8.592	1.1	1.0	0.978	7.34	5.46	4.57	37.80		
	30-60	Fr.A	15	10	0.955	4.424			1.682	8.89	3.95	8.08	18.70		
	60-90	Fr.A	18	15	0.965	3.574			1.730	7.70	3.27	7.23	5.80		
3AB	00-30	A.Fr.	10	08	0.861	4.912	0.22	3.4	12.763	89.71	4.07	77.79	19.19		
	30-60	A.Fr.	12	12	0.849	3.921			1.809	9.85	2.65	7.61	7.42		
	60-90	Fr.A.	15	16	0.775	2.803			0.139	0.03	2.61	0.04	11.13		
35	00-30	A.Fr.	08	08	0.576	3.139	1.25	3.4	7.777	56.30	1.85	43.14	41.00		
	30-60	A.Fr.	08	09	0.752	4.246			3.642	24.81	2.72	19.00	10.60		
	60-90	A.Fr.	09	10	0.917	5.067			1.404	8.37	3.34	5.97	8.00		
36	00-30	A.Fr.	08	08	1.035	6.527	1.3	1.4	2.124	14.57	5.26	12.13	12.00		
	30-60	A.Fr.	12	15	0.962	4.331			2.349	12.56	3.93	11.77	5.80		
	60-90	Fr.Ar.A.	25	28	0.962	2.107			1.665	5.23	3.43	7.16	6.50		
37	00-30	A.Fr.	08	06	0.933	6.679	1.8	2.1	3.320	26.44	6.34	24.59	49.80		
	30-60	A.Fr.	08	08	0.956	5.944			3.382	23.85	5.49	22.35	16.40		
	60-90	A.Fr.	08	10	0.969	5.595			2.345	15.11	6.01	16.03	9.60		
38	00-30	A.Fr.	08	10	0.050	0.005	0.26	0.25	0.272	0.79	0.01	1.11	1.40		
	30-60	A.Fr.	08	12	0.257	0.610			0.330	1.08	0.58	1.04	1.19		
	60-90	A.Fr.	09	14	0.311	0.792			0.344	0.99	0.97	1.19	1.12		
39	00-30	A.Fr.	06	08	0.068	0.007	0.13	0.1	0.068	0.01	0.03	0.03	2.28		
	30-60	A.Fr.	10	20	0.078	0.021			0.074	0.02	0.03	0.02	1.35		
	60-90	A.Fr.	12	40	0.081	0.042			0.122	0.07	0.03	0.07	0.65		

Continua na próxima página

Tabela 6. Cálculo da Condutividade Elétrica do Extrato de Saturação (C<sub>ee</sub>) em função da Condutividade Elétrica Aparente do Solo (C<sub>ea</sub>) medida com os equipamentos MARTEK-SCT-10 e EM-38 e % de argila, % de umidade estimadas no campo e dados medidos em laboratório.

Continuação...

Ponto N°	Prof. (cm)	Text.	Arg. (%)	Umid. (%)	Equip. MARTEK-SCT-10 (mmhos/cm)		Equip. ELETROMAG. (EM-38) (mmhos/cm – 25°C)				C <sub>ee</sub> com dados de laboratório % Argila e % Umidade				
					(C <sub>ea</sub> )	(C <sub>ee</sub> )	Emv	EM <sub>H</sub>	C <sub>ea</sub>	C <sub>ee</sub>	MARTEK	EM-38	Laboratório		
<b>ÁREA PILOTO DE DRENAGEM (CABROBÔ) (06.09.89)</b>															
40	00 – 30	A.Fr.	08	18	0.059	0.014	0.1	0.16	0.294	0.65	0.02	1.13	1.09		
	30 – 60	A.Fr.	09	22	0.098	0.035			0.220	0.20	0.05	0.42	0.53		
	60 – 90	A.Fr.	09	40	0.121	0.078			0.088	0.05	0.11	0.05	0.66		
41	00 – 30	A.Fr.	08	10	0.932	5.340	0.05	2.35	10.804	73.60	5.11	70.15	38.70		
	30 – 60	A.Fr.	08	15	0.777	3.790			0.875	4.41	3.97	4.61	3.38		
	60 – 90	A.Fr.	06	36	1.110	5.211			0.016	0.01	6.07	0.01	3.63		
42	00 – 30	A.Fr.	07	09	0.953	5.861	1.65	3.0	5.837	41.27	4.97	36.23	29.70		
	30 – 60	A.Fr.	09	11	0.982	5.351			3.880	24.58	4.92	21.84	6.76		
	60 – 90	A.Fr.	10	40	0.974	3.478			2.014	9.24	3.86	9.71	6.54		
43	00 – 30	A.Fr.	05	06	0.921	7.113	1.65	1.65	1.938	16.06	5.67	12.84	43.60		
	30 – 60	A.Fr.	06	08	0.988	6.578			3.331	24.54	5.25	20.34	5.93		
	60 – 90	A.Fr.	06	30	0.968	4.582			2.944	16.72	4.38	16.13	5.27		
44	00 – 30	A.Fr.	06	08	0.936	6.179	2.0	5.0	11.076	83.91	5.14	72.22	41.60		
	30 – 60	A.Fr.	06	10	0.858	5.176			5.566	39.00	4.13	33.48	11.28		
	60 – 90	A.Fr.	06	35	0.905	4.011			2.367	12.89	4.66	14.02	8.82		
45	00 – 30	A.Fr.	05	08	0.188	0.547	0.66	0.4	0.146	0.23	0.58	0.27	3.24		
	30 – 60	A.Fr.	06	08	0.187	0.451			0.330	1.54	0.25	1.16	1.15		
	60 – 90	A.Fr.	05	09	0.181	0.453			0.689	4.27	0.20	3.47	0.80		
<b>PROJETO DE IRRIGAÇÃO DE BEBEDOURO (Sr. ANTONIO FERREIRA ALVES)</b>															
46	00 – 30	A.Fr.	04	06	1.172	9.596	1.3	1.0	0.676	5.15	6.96	3.55	8.38		
	30 – 60	A.Fr.	04	08	1.124	8.102			1.390	10.22	6.86	8.72	6.78		
	60 – 90	Fr.A	19	14	2.265	10.540			1.816	8.12	8.74	6.61	5.39		
47	00 – 30	A.Fr.	04	08	0.356	1.976	0.5	0.6	0.962	6.81	1.29	5.28	1.94		
	30 – 60	A.Fr.	04	10	0.353	1.784			0.953	6.27	1.33	5.31	2.72		
	60 – 90	Fr.A	18	16	0.413	0.625			0.675	1.44	0.42	1.14	1.08		
48	00 – 30	A.Fr.	04	08	0.139	0.261	0.7	0.6	0.516	3.25	0.03	2.39	5.29		
	30 – 60	Fr.A	15	12	0.983	4.327			0.855	3.57	3.28	2.62	3.04		
	60 – 90	Fr.A	20	15	0.970	3.370			0.986	3.46	2.14	2.20	2.32		
49	00 – 30	A.Fr.	03	10	0.262	1.215	0.3	0.3	0.352	1.90	0.83	1.45	4.13		
	30 – 60	A.Fr.	04	14	0.050	0.010			0.433	2.13	0.01	1.69	0.71		
	60 – 90	Fr.A	15	20	0.154	0.050			0.422	0.74	0.03	0.50	0.47		

Continua na próxima página

Tabela 6. Cálculo da Condutividade Elétrica do Extrato de Saturação (Cee) em função da Condutividade Elétrica Aparente do Solo (Cea) medida com os equipamentos MARTEK-SCT-10 e EM-38 e % de argila, % de umidade estimadas no campo e dados medidos em laboratório.

Continuação...

Ponto N°	Prof. (cm)	Text.	Arg. (%)	Umid. (%)	Equip. MARTEK-SCT-10 (mmhos/cm)		Equip. ELETROMAG. (EM-38) (mmhos/cm - 25°C)				Cee com dados de laboratório % Argila e % Umidade		
					(CEa)	(CEe)	Emv	EM <sub>H</sub>	CEa	CEe	MARTEK	EM-38	Laboratório
50	00 - 30	A.Fr.	04	08	0.295	1.490	0.35	0.35	0.411	2.41	0.79	1.52	2.88
	30 - 60	A.Fr.	04	10	0.231	0.875			0.525	3.07	0.34	2.16	1.64
	60 - 90	Fr.Ar.A	22	25	0.315	0.165			0.506	0.58	0.10	0.51	0.85
51	00 - 30	A.Fr.	06	08	0.299	1.300	0.4	0.4	0.470	2.61	0.71	1.76	2.35
	30 - 60	A.Fr.	12	15	0.270	0.328			0.619	2.30	0.11	1.54	0.65
	60 - 90	Fr.A	20	15	0.452	0.723			0.590	1.41	0.39	0.96	0.80
52	00 - 30	A.Fr.	04	08	0.341	1.856	0.6	0.5	0.405	2.37	1.22	1.65	4.30
	30 - 60	A.Fr.	10	12	0.305	0.747			0.662	3.01	0.85	3.17	1.27
	60 - 90	Fr.A	15	14	0.814	3.162			0.807	3.12	2.79	2.75	2.28

Analisando-se a tabela 7, que mostra a correlação existente entre a densidade aparente do solo, determinada em laboratório, com amostra deformada, utilizando o método da proveta e este mesmo parâmetro determinado através das fórmulas propostas por Rhoades (1989), os valores de  $r$  não foram significante para nenhuma das profundidades consideradas. Sabe-se, entretanto, que o método da proveta, para determinar a densidade aparente com amostra deformada, não proporciona alta confiabilidade. Todavia, para se ter uma idéia melhor sobre a confiabilidade do uso das fórmulas para determinação da densidade, teria-se que realizar estudos comparativos de resultados deste método com o método do anel de Kopeckey que é de alta confiabilidade.

Continuando a análise dos dados da tabela 7, no que se refere à correlação entre valores da umidade da pasta saturada determinada em laboratório e da pasta saturada determinada pelas fórmulas de Rhoades (1989), observamos que para todas as profundidades consideradas houve significância ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 7. Coeficiente de correlação entre parâmetros determinados em laboratórios e pelas fórmulas de RHOADES.

Profundidade (cm)	n	Densidade laboratório Densidade fórmulas	n	Pasta Sat. Laboratório Pasta Sat. fórmulas
00 - 30	53	- 0.00859 ns	53	0.68710**
30 - 60	53	- 0.16738 ns	53	0.44931**
60.- 90	53	- 0.08051 ns	53	0.85260**

Aproveitando a série de informações obtidas neste estudo e a inquietação gerada no sentido de explorá-las ao máximo e, também, aproveitando os recursos da informática disponíveis na Embrapa Semi-Árido, realizou-se um estudo de correlação entre dados de condutividade elétrica do extrato de saturação determinado em laboratório e os valores encontrados pelos equipamentos Martek e Eletromagnético em diferentes faixas de salinidade. As tabelas 8 e 9 mostram os resultados destas correlações. Verifica-se, através de análise dos dados, uma correlação significativa entre os métodos para as faixas de  $C_{ee} > 4$  dS/m, devido provavelmente ser a faixa de salinidade com o maior número de observações (M) encontradas.

Tabela 8. Coeficientes de correlação entre métodos e faixas de salinidade.

Profundidade (cm)	n	Cee < 4	n	Cee > 4 ≤ 10	n	Cee > 10
00 - 30	26	0.42101*	8	0.51736 ns	19	0.18482 ns
30 - 60	33	0.61977**	10	-0.27391 ns	10	0.51984 ns
60 - 90	31	0.84079**	18	0.41644 ns	4	0.59357 ns
00 - 90	90	0.60003**	36	0.35477*	33	0.08873 ns

Tabela 9. Coeficiente de correlação entre métodos e faixas de salinidade.

Profundidade (cm)	n	Cee < 4	n	Cee > 4 ≤ 10	n	Cee > 10
00 - 30	26	-0.0435 ns	8	0.58494 ns	19	0.29813 ns
30 - 60	33	0.53894**	10	0.34867 ns	10	0.01753 ns
60 - 90	31	0.08336**	18	0.54282*	4	0.00696 ns
00 - 90	90	0.30098**	36	0.44870*	33	0.46201 ns

Observou-se, também, que o instrumento Martek não funciona bem em solos com muito baixo conteúdo salino (tabela 6), pois os resultados indicam, na maioria dos casos, valores de Cee muito próximos de zero. O mesmo ocorre com valores extremos de salinidade na superfície do solo, haja vista que a célula é introduzida a 30cm de profundidade, não registrando os valores extremos concentrados na superfície do solo.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O diagnóstico da Cee através de medidas instrumentais da Cea e estimativas da % de argila e % de umidade no campo resulta em um método até certo ponto eficaz, particularmente pela rapidez em se obter os resultados "in situ". Com base nos resultados obtidos acredita-se que o método possa se adaptar perfeitamente para a realização de estudos preliminares de degradação de solos ao nível de pré- viabilidade econômica, no que diz respeito à salinidade.

A precisão do cálculo da Cee depende fundamentalmente da facilidade de treinamento que tenha o operador para estimar o conteúdo de argila e a umidade presente no solo nos pontos de medição instrumental da Cea. Todavia, erros de até 10%, por excesso ou por falta, nas estimativas não são significativos nos resultados da Cee.

Ao se efetuar outros estudos desta natureza e encontrar as mesmas diferenças, seria conveniente verificar a possibilidade de calibração dos equipamentos para os solos do Nordeste do Brasil e/ou encontrar novas fórmulas ou constantes para correção dos resultados.

Em geral, os dados de campo estimados para qualificar a quantidade de argila e umidade foram bastante satisfatórios, porquanto não há diferença significativa com os dados medidos em laboratório.

Observou-se também, preliminarmente, que o instrumento Martek não funciona bem em solos com muito baixo e muito alto conteúdo salino (Tabela 6), pois os resultados indicam, na maioria dos casos, valores de C<sub>ec</sub> muito próximos de zero.

## BIBLIOGRAFIA

CORDEIRO, G.G. Caracterização dos problemas de sais dos solos irrigados do Projeto São Gonçalo. 1977. 108p. il. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Campina Grande, PB.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979.

GOES, E. S. de. **O Problema de salinidade e drenagem em projetos de irrigação do Nordeste e ação da pesquisa com vistas a seu equacionamento**. Recife, PE: SUDENE, 1977. 20p. Trabalho apresentado na Reunião sobre Salinidade em Áreas Irrigadas, Fortaleza, CE, 1978.

HAYWARD, H. F., WADLEICH, C. E. Plant growth on saline and alkali soils. Advances in Agronomy, San Diego, v.1, p.1-38, 1949.

ISRAELSEN, O.W., HANSEN, V.E. Principios y aplicaciones del riego. 2.ed. Barcelona: Reverté, 1975. 164p.

LEWIS, G. C.; JUVE, R. L. Some effects of irrigation water quality on soil characteristics. Soil Science, v.81, p.125-137, 1956.

LYERLY, P. J.; LONGENECKER, D. E. **Salinity control in irrigation agriculture**. College Station: Agriculture Experimental Station, Agriculture Experimental Station, 1962. 18p. (Texas Agriculture Experimental Station. Bulletin; 876).

McNEAL, B. L. Managing salt-affected soil. **Crops Soil Magazine**, v.12, p.12-13, 1975.

MELLO, F. E. de S.; BEZERRA, G. E.; GURGEL, E. A. Estudo de solos nos vales do Nordeste para fins de irrigação. Boletim do DNOCS. Recife, v. 25, p. 7-54, mar. 1967.

PEREIRA, J. R. Solos salinos e sódicos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15., 1982, Campinas, SP. Acidez e calagem no Brasil: Anais. Campinas, SBSCS, 1983. p.127-143.

RHOADES, J. D.; MANTEGHI, N. A.; SHOUSE, P. J.; ALVES, W. J. Conductividad electrica y salinidad del suelo: nuevas formulaciones y calibraciones. [s.n.t.].

RHOADES, J. D.; MANTEGHI, N. A.; SHOUSE, P. J.; ALVES, W. J. Estimacion de la salinidad del suelo a partir de la medicion de la conductividad electrica de la pasta saturada. Santiago: FAO, 1989. [não paginado]. (GCP/RLA/084/JPN. Documento de Campo; 5).

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington, DC: USDA, 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook; 60).

THORNE, D. W.; THORNE, J. P. Changes in composition of irrigated soils as related to the quality of irrigation waters. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v.18, p.92, 1954.

KOVDA, V. A. El sistema de drenaje en la lucha contra la salinidad de tierras irrigadas. In: ACADEMIA DE CIÊNCIAS DE LA URSS. Instituto de Suelos V.V. Dukuchaev. **La aplicacion del drenaje en la recuperacion de suelos salinos**. Mexico, 1964. p.16-44.

**Embrapa**  

---

**Semi-Árido**



Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento



Trabalhando em todo o Brasil