

Características da solução drenada de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação

Hugo Alberto Ruiz ¹, Reginaldo Arruda Sampaio ²

RESUMO

Realizou-se um experimento em laboratório utilizando-se amostras de solos salino-sódicos. Tubos de PVC de 50 cm de altura e 15 cm de diâmetro foram preenchidos com amostras de dois Neossolos Flúvicos, um deles coletado em diferentes profundidades e um Vertissolo. O gesso foi incorporado até 15 cm de profundidade da coluna de solo, em uma quantidade equivalente a 100% da necessidade de gesso para substituição do sódio trocável. Posteriormente, realizaram-se lixiviações com uma solução de CaCl_2 e MgCl_2 . As aplicações da solução de lixiviação foram de uma só vez e parceladas em duas, quatro e seis vezes, com intervalos de 22 dias entre cada aplicação. Foram determinados o volume total percolado, a condutividade elétrica, o pH, as quantidades de sódio, potássio, cálcio, magnésio e sulfato e a razão de adsorção de sódio (RAS) das soluções drenadas. A aplicação parcelada da lâmina de lixiviação proporcionou redução do volume total de solução lixiviada da quantidade de sódio e de sulfato lixiviados e da RAS da solução lixiviada e aumento da quantidade de cálcio lixiviado. Por outro lado, o pH da solução lixiviada não teve comportamento consistente em relação às aplicações das lâminas de lixiviações total e parcelada.

Palavras-chave: Gesso, recuperação de solo, sais solúveis, solos de região semiárida.

ABSTRACT

Characteristics of the solution drained from saline sodic soils leached with parceled water depth

An experiment was carried out in laboratory using samples of saline sodic soils. PVC pipes (50 cm in height and 15 cm in diameter) were filled with soil samples of two Fluvents, one of them collected at different depths and a Vertisol. Gypsum was incorporated up to 15 cm of depth of the soil column, in an amount equivalent to 100% of the gypsum requirement for substitution of exchangeable sodium. Subsequently, soil columns were leached with a solution of CaCl_2 and MgCl_2 . Applications of the leaching solution were carried out at once and parceled out in two, four and six times, with intervals of 22 days between each application. The following parameters were determined in the leached solutions: total water volume; electrical conductivity; pH; amounts of sodium, potassium, calcium, magnesium and sulfates; and sodium-adsorption-ratio (SAR). Parceling out the water depth reduced the total volume of the leached solution, the amount of leached sodium and sulfate and SAR of the leached solution as well as increased the amount of leached calcium. On the other hand, the pH of the leached solution showed no consistent behavior related to the applications of both parceled out and total water depths.

Key words: Gypsum, soil reclamation, soluble salts, semi-arid soils.

Recebido para publicação em agosto de 2006 e aprovado em maio de 2009

¹ Bioquímico, Doutor. Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa. Av. P. H. Rolfs, s/n.36570-000 Viçosa, MG, Brasil. hruiz@ufv.br

² Engenheiro Agrônomo, Doutor. Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, C.P. 135, 39404-006 Montes Claros, MG, Brasil. rsampaio@ufmg.br

INTRODUÇÃO

As práticas de recuperação de solos salino-sódicos exigem a aplicação de corretivos, com vistas a reduzir a quantidade de sódio adsorvido (Qadir *et al.*, 2001; Vital *et al.*, 2005). Também requerem a aplicação de grandes quantidades de água, além de drenagem que condicione bom fluxo lixiviador dos sais (Sharma & Tyagi, 2004). Entretanto, o controle da salinidade e, principalmente, da sodicidade, por meio da lixiviação, pode ser pouco eficiente, quando a água se movimenta com velocidade relativamente elevada, através dos macroporos. Nesse aspecto, o escoamento rápido faz com que não haja tempo suficiente para difusão do interior para a periferia dos agregados (Pla Sentis, 1988). Chaudhry & Warkentin (1968) relatam que velocidades menores de lixiviação permitem melhor contato da solução com os colóides do solo e tornam a reação de troca mais eficiente.

Com o processo de lixiviação dos solos sódicos, o sódio é normalmente o cátion mais deslocado, e após a aplicação de gesso, o magnésio só é removido para a solução lixiviada após a eliminação quase completa do sódio (Chaudhry & Warkentin, 1968; De Jong, 1982; Jury *et al.*, 1979). Isso resulta da seletividade dos sítios de troca por cálcio aproximadamente maior que a do magnésio e superior à do sódio. No caso do potássio, a reduzida lixiviação deve-se à fixação pelos minerais de argila 2:1, característicos desses solos (De Jong, 1982; Corrêa *et al.*, 2003; Resende, 1983).

Objetivou-se neste trabalho avaliar a influência do parcelamento da lâmina de lixiviação sobre as características das soluções drenadas, num experimento com amostras de solos salino-sódicos do Estado de Rio Grande do Norte, que receberam gesso na camada superficial.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se amostras de um Neossolo Flúvico de Ipanguaçu (RN) coletadas até 20 cm (Ae1), de outro Neossolo Flúvico de Caicó (RN) coletadas a 0-20 cm (Ae2-s) e 20-50 cm (Ae2-i) e de um Vertissolo de Mossoró (RN) coletadas entre 15 e 45 cm de profundidade (V), cujas características químicas e físicas são apresentadas na Tabela 1.

No ensaio realizado em laboratório, as amostras dos solos, passadas em malhas de 4 mm, foram acondicionadas em tubos de PVC de 15 cm de diâmetro e 50 cm de altura. Os tubos foram preenchidos com as amostras, constituindo colunas de solo com 45 cm de altura, sendo os 5 cm restantes utilizados para aplicação da lâmina de lixiviação. Na seção inferior das colunas, colocaram-se telas de náilon para conter o solo e, sob essas, um recipiente para coletar a solução lixiviada (Figura 1).

Os tratamentos corresponderam a um arranjo fatorial 4 x 4, sendo os fatores as quatro amostras de solo indicadas

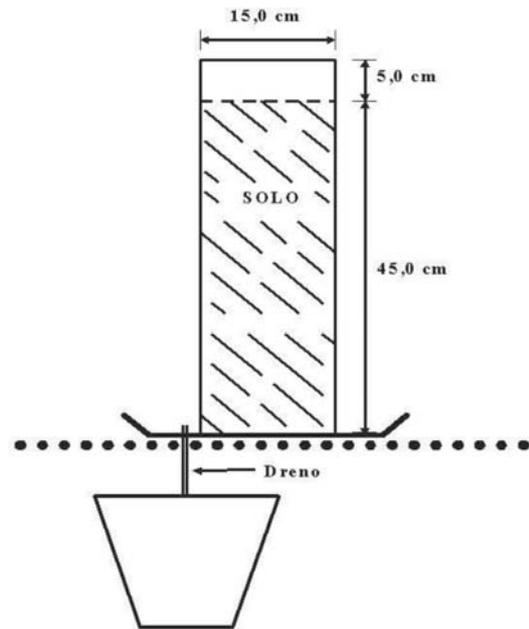


Figura 1. Esquema da unidade experimental.

e quatro modalidades de aplicação da lâmina de lixiviação. Estas foram equivalentes a três vezes o volume de poros da coluna de solo e foram aplicadas de uma única vez e parceladas em duas, quatro e seis vezes, respectivamente, com intervalos de 22 dias entre cada aplicação. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com quatro repetições dos tratamentos.

O corretivo utilizado foi o $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ p.a., numa quantidade equivalente a 100% da necessidade de gesso para a totalidade de solo na coluna (Richards, 1954). O gesso foi incorporado nos 15 cm superficiais e o conjunto, mantido sob incubação por 43 dias. Uma vez que no teste de velocidade de infiltração realizado por um período de 12 horas ficou constatada a dificuldade de infiltração com água destilada, utilizou-se na incubação e nas lixiviações uma solução de CaCl_2 $2,5 \text{ mmol L}^{-1}$ e de MgCl_2 $2,6 \text{ mmol L}^{-1}$, com pH de 7,4 e condutividade elétrica de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$ (Sampaio & Ruiz, 1996), com o intuito de garantir a infiltração de água no solo.

Na solução lixiviada foram determinados: o volume total lixiviado, a condutividade elétrica, o pH, as concentrações de sódio e de potássio por fotometria de emissão de chama (Richards, 1954), as de cálcio e de magnésio por espectrofotometria de absorção atômica (Alvarez V., 1985) e as de sulfatos por turbidimetria (Chesnin & Yien, 1950). Multiplicando o volume total pela concentração respectiva, determinaram-se as quantidades de sódio, potássio, cálcio, magnésio e sulfatos lixiviadas. Com os valores das concentrações de sódio, cálcio e magnésio, calcularam-se as razões de adsorção de sódio (Richards, 1954).

Nas análises de variância, a soma de quadrados para os tratamentos foi desdobrada de acordo com um esquema de contrastes ortogonais.

Tabela 1. Caracterização do extrato da pasta de saturação e das amostras de Neossolos Flúvicos (Ae1, Ae2-s e Ae2-i) e Vertissolo (V)

Característica	Ae1	Ae2-s	Ae2-i	V
<i>Extrato da pasta de saturação</i>				
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	10,1	11,9	4,3	4,5
pH	7,7	7,9	7,7	8,4
Na ⁺ (mmol L ⁻¹)	29,0	33,3	10,1	10,5
K ⁺ (mmol L ⁻¹)	0,2	0,6	0,1	0,2
Ca ²⁺ (mmol L ⁻¹)	3,8	8,2	4,8	4,5
Mg ²⁺ (mmol L ⁻¹)	3,4	8,5	3,8	5,1
SO ₄ ²⁻ (mmol L ⁻¹)	0,1	2,8	0,1	0,1
Razão de adsorção de sódio ((mmol L ⁻¹) ^{0,5})	10,8	8,2	3,5	3,4
<i>Solo</i>				
pH em água (1:2,5)	6,8	7,8	7,9	7,7
Na ⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	137	84	26	37
K ⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	5,0	4,5	2,6	4,6
Ca ²⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	42	28	45	59
Mg ²⁺ (mmol _c kg ⁻¹)	54	48	56	103
Porcentagem de sódio trocável (%)	57	51	20	18
Necessidade de gesso (g kg ⁻¹)	12,9	8,1	2,5	3,6
Areia grossa (kg kg ⁻¹)	0,01	0,20	0,18	0,15
Areia fina (kg kg ⁻¹)	0,09	0,49	0,52	0,20
Silte (kg kg ⁻¹)	0,53	0,06	0,08	0,25
Argila (kg kg ⁻¹)	0,37	0,25	0,22	0,40
Porosidade (m ³ m ⁻³)	0,53	0,50	0,47	0,47
Velocidade de infiltração (mm h ⁻¹)	0,0 ⁽¹⁾	0,4	26,0	0,9

⁽¹⁾ Ao longo de 12 horas do teste de infiltração, não houve infiltração de água destilada na amostra do solo Ae1, de forma que a taxa de infiltração foi considerada zero.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O volume total de solução lixiviada diminuiu com o parcelamento da lâmina para todas as amostras de solo estudadas (Tabela 2). Esse fato pode ser atribuído a maiores perdas por evaporação com o parcelamento, já que o tempo para aplicação da lâmina foi apreciavelmente maior. Porém, essa diferença não refletiu na condutividade elétrica da solução lixiviada (Tabela 2). Ocorre que uma lâmina pouco superior a um volume de poros já é suficiente para eliminar a maior parte dos sais no perfil de lixiviação dessas amostras (Sampaio & Ruiz, 1996; Ferreira *et al.*, 2006). Nesse caso, a aplicação total de três volumes de poros nos diferentes parcelamentos promoveu a lixiviação quase total de sais, produzindo resultados semelhantes de condutividade elétrica.

O pH (Tabela 2) não mostrou diferença entre os manejos de água para a amostra de solo Ae1. Nesse material, em razão da baixa velocidade de infiltração (Tabela 1), a lâmina total levou aproximadamente 120 dias para infiltrar, de forma que as condições para a solubilização do gesso na lâmina única e nas parceladas foram aproximadamente as mesmas. Para as outras amostras, em alguns casos ocorreu incremento do pH com o parcelamento. É importante destacar que nas lâminas mais fracionadas observou-se maior formação de crostas salinas na superfície do solo,

possivelmente em razão do movimento ascendente dos sais mais solúveis como consequência da difusão da água para a superfície do solo, exposta a maior perda por evaporação, conforme também verificado por Ferreira *et al.* (2006) ao estudar a movimentação de sais em lisímetro. Estes tratamentos mostraram também a precipitação de sais na solução efluente, quando as primeiras lixiviações foram coletadas. O precipitado, por meio de um teste qualitativo, apresentou predominância de sulfatos.

A diminuição da quantidade de sódio com o parcelamento da lâmina foi registrada para todas as amostras de solo (Tabela 2). É possível que, com o parcelamento do fracionamento, parte do sódio deslocado pelo cálcio tenha se difundido para o espaço intra-agregado, diminuindo a sua perda por lixiviação. Comportamento semelhante tem sido observado para outros íons como potássio, fósforo, amônio, nitrato e para moléculas orgânicas, conforme apontado por Araújo (1997), Coelho (2000), Miranda (2001) e Souza (2006). Também nessas amostras as crostas de sais verificadas na superfície do solo podem ter sido formadas principalmente por sais de sódio transportados pela água que evaporou. Conforme apontado por Szabolcs & Darab (1968), a variabilidade espacial do conteúdo de sais no solo correlaciona-se com a direção predominante do movimento de água, concentrando mais sais

Tabela 2. Valores médios e contrastes ortogonais do volume total lixiviado (VTL), da condutividade elétrica (CE), do pH, das quantidades de sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e sulfatos (SO_4^{2-}) e da razão de adsorção de sódio (RAS) da solução lixiviada, considerando o parcelamento da lâmina de lixiviação (P_i)

Solo	P_i	VTL	CE	pH	Na^+	K^+	$\text{Ca}^{2+(l)}$	$\text{Mg}^{2+(l)}$	SO_4^{2-}	RAS ⁽²⁾
		L	dS m ⁻¹							
Ae1	1	11,62	8,26	7,90	293,36	1,03	13,39	20,71	46,07	9,06
	2	11,06	8,05	7,70	280,66	0,95	17,89	18,30	43,30	9,21
	4	9,53	7,76	7,88	270,80	0,86	8,46	6,63	32,86	11,06
	6	9,62	7,21	7,75	241,86	0,91	9,66	5,61	31,43	9,82
Ae2-s	1	11,13	6,50	8,13	254,70	1,75	18,45	34,77	43,44	7,42
	2	10,76	6,50	8,13	215,09	1,76	11,24	36,43	38,05	6,49
	4	9,21	6,11	8,13	181,02	1,82	16,27	19,95	30,77	6,45
	6	9,15	6,71	8,28	210,44	2,10	11,61	24,14	36,56	7,75
Ae2-i	1	10,45	4,00	7,98	164,71	0,47	9,56	26,28	29,77	5,44
	2	10,02	4,52	7,93	125,14	0,42	21,22	25,37	25,31	4,02
	4	9,30	4,26	8,05	101,59	0,38	27,27	14,17	21,33	3,55
	6	8,23	4,57	8,05	97,60	0,44	30,98	19,11	22,58	3,56
V	1	10,07	4,88	8,20	177,47	0,37	6,85	23,15	29,35	6,50
	2	9,85	5,22	8,18	147,99	0,37	6,13	34,76	23,67	5,03
	4	9,22	5,03	8,20	134,05	0,38	6,52	36,67	22,09	4,66
	6	8,50	5,11	8,32	126,07	0,47	6,59	37,46	21,76	4,67
Contrastes ortogonais ⁽³⁾										
Ae1	$C_1^{(4)}$	4,66	ns	ns	ns	0,39	ns	31,60	ns	ns
	C_2	2,99	ns	ns	ns	ns	17,67	24,35	ns	ns
	C_3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ae2-s	C_1	4,27	ns	ns	ns	ns	ns	ns	24,94	ns
	C_2	3,15	ns	ns	ns	-0,40	ns	28,76	ns	ns
	C_3	ns	ns	-0,15	ns	-0,28	ns	ns	-5,80	-1,30
Ae2-i	C_1	3,79	-1,34	ns	169,79	0,16	-50,80	20,20	20,10	5,18
	C_2	2,51	ns	-0,25	51,09	ns	-15,81	17,46	ns	0,93
	C_3	1,07	-0,31	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
V	C_1	2,65	ns	ns	124,30	-0,12	ns	ns	20,53	5,15
	C_2	1,98	ns	ns	35,86	-0,11	ns	ns	ns	ns
	C_3	0,72	ns	ns	ns	-0,08	ns	ns	ns	ns

⁽¹⁾ Exclui os valores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} da solução de lixiviação.

⁽²⁾ Expressa em (mmol L⁻¹)^{0,5}. Inclui os valores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} da solução de lixiviação.

⁽³⁾ Valor numérico no contraste indica o valor do contraste significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

⁽⁴⁾ $C_1 = 3P_1 - P_2 - P_4 - P_6$; $C_2 = 2P_2 - P_4 - P_6$; $C_3 = P_4 - P_6$.

solúveis nos locais onde há perdas de água por evaporação. Fato também confirmado por Minashina *et al.* (1983) e Costa *et al.* (2004), os quais apontam que, devido à elevada capacidade de migração dos sais sódicos, estes se concentram, na forma de crostas, nos locais onde a água evapora. Embora exista estreita relação entre o sódio e a condutividade elétrica de soluções salinas (Richards, 1954), observa-se que, neste estudo, o sódio não teve relação com a condutividade elétrica da solução efluente, evidenciando que a magnitude de sua variação entre tratamentos não foi suficiente para influenciar o comportamento da condutividade elétrica. As amostras de solo Ae1 e Ae2-s, em virtude das maiores concentrações iniciais (Tabela 1), foram as que sofreram maior lixiviação de sódio.

A substituição do sódio adsorvido pelo cálcio ficou comprovada pela menor concentração de cálcio solúvel em relação ao sulfato (Tabela 2). Isso significa que parte do sulfato foi lixiviada com o sódio deslocado do complexo sortivo. É importante considerar que, estequiometricamente, o sódio lixiviado superou apreciavelmente a concentração de sulfatos (Tabela 1), pressupondo que elevada proporção de sódio deslocou-se na forma de cloreto. Exceto para o solo Ae1, menos permeável, as maiores perdas de sulfato ocorreram com a aplicação total da lâmina de lixiviação.

O cálcio (Tabelas 1 e 2) aumentou com o parcelamento da lâmina para a amostra de solo Ae2-i, enquanto nas demais amostras não houve diferença entre os tratamentos. Pelos valores de cálcio observados, supõe-se que na

amostra de solo Ae2-i o volume de solução utilizado foi suficiente para promover boa dissolução do gesso. É possível também que a maior velocidade de infiltração dessa amostra (Tabela 1) tenha favorecido a solubilização do gesso ao retirar mais rapidamente a fração dissolvida da coluna (Keren & O'connor, 1982).

A perda de magnésio foi apreciavelmente superior à de potássio (Tabela 2). Nesses solos, é muito comum o aumento da perda de magnésio por lixiviação em razão da sua substituição no complexo de troca pelo cálcio liberado do gesso (Vital *et al.*, 2005). Também pode haver ainda a contribuição de magnésio liberado a partir da lixiviação de esmectitas sódicas, conforme apontado por Bar-On & Shainberg (1970). Por outro lado, a menor lixiviação de potássio pode estar relacionada à fixação deste elemento por minerais secundários como a illita (Resende *et al.*, 2005).

A diminuição da razão de adsorção de sódio (RAS) com o parcelamento da lâmina nas amostras de solos Ae2-i e V (Tabela 2) evidencia que as amostras de solo com menos sódio inicial (Tabela 1) foram as que tiveram maior sensibilidade às modalidades de aplicação da água utilizadas. É importante destacar que, para a amostra de solo Ae2-i, o sódio na solução lixiviada diminuiu com o parcelamento da lâmina, caracterizando menores perdas desse elemento, possivelmente associadas à retenção desse elemento nos espaços intra-agregados, conforme discutido. Por outro lado, o cálcio na solução lixiviada aumentou com o parcelamento da lâmina, possivelmente relacionado à maior dissolução de gesso pelo maior tempo de contato desse corretivo com a solução de lixiviação. Tanto a redução do sódio quanto o aumento do cálcio na solução lixiviada são situações favoráveis para a diminuição da RAS. Na amostra de solo V, o cálcio manteve-se aproximadamente igual entre os manejos, e a menor perda de sódio com o parcelamento da lâmina influenciou o comportamento da RAS.

Convém destacar que existe uma relação de equilíbrio entre a RAS da água de irrigação ou da solução do solo com a percentagem de sódio trocável dos solos (PST) (Maia *et al.*, 1998; Oliveira & Maia, 1998; Freire *et al.*, 2003 (a e b); Costa *et al.*, 2004; Ruiz *et al.*, 2004). Quanto maior o valor da RAS maior a percentagem de sódio trocável. Isso significa que com o aumento da proporção de sódio em relação aos outros cátions, maiores serão os problemas de dispersão e de destruição dos agregados do solo, afetando a infiltração de água e as trocas gasosas do solo (Freire *et al.*, 2003a); Costa *et al.*, 2004), além dos problemas de fitotoxidez causados por este elemento (Chaves *et al.*, 1998; Melloni *et al.*, 2000). Pelo exposto neste estudo, fica evidente que o maior fracionamento da lâmina de lixiviação proporciona soluções de percolação com menor RAS, o que certamente evita maiores degradações de camadas mais profundas do solo.

CONCLUSÕES

A aplicação parcelada da lâmina de lixiviação proporcionou redução do volume total de solução lixiviada, da quantidade de sódio e sulfato lixiviados e da RAS da solução lixiviada.

A aplicação parcelada da lâmina de lixiviação aumentou a quantidade de cálcio perdida por lixiviação.

O pH da solução lixiviada não teve comportamento consistente em relação às aplicações das lâminas de lixiviações total e parcelada.

REFERÊNCIAS

- Alvarez V VH (1985) Caracterização química de solos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 77p. (mimeo.).
- Araújo CAS (1997) Movimento de fósforo e de macronutrientes catiônicos em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 124p.
- Bar-On P & Shainberg I (1970) Hydrolysis and decomposition of Na-montmorillonite in distilled water. *Soil Science*, 109:241-246.
- Chaudhry GH & Warkentin BP (1968) Studies on exchange of sodium from soils by leaching with calcium sulfate. *Soil Science*, 105:190-197.
- Chaves LHG, Menino IB, Araújo IA de & Chaves I de B (1998) Avaliação da fertilidade dos solos das várzeas do município de Sousa, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2: 262-267.
- Chesnin L & Yien CH (1950) Turbidimetric determination of available sulfates. *Proceedings of the Soil Science Society American*, 15:143-151.
- Coelho FC, Ruiz HA, Ferreira PA, França GE de, Araújo CA de S & Duarte MA (2000) Transporte do amônio em colunas com agregados de um latossolo vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4:362-367.
- Corrêa MM, Ker JC, Mendonça ES, Ruiz HA & Bastos RS (2003) Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das Várzeas de Sousa (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:311-324.
- Costa DMA da, Holanda JS de & Figueiredo Filho OA de (2004) Caracterização de solos quanto a afetação por sais na bacia do rio Cabugá - Afonso Bezerra-RN. *Holos*, 1:12-21.
- De Jong E (1982) Reclamation of soils contaminated by sodium chloride. *Canadian Journal Soil Science*, 62:351-364.
- Ferreira PA, Moura RF de, Santos DB dos, Fontes PCR & Melo RF de (2006) Efeitos da lixiviação e salinidade da água sobre um solo salinizado cultivado com beterraba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10:570-578.
- Freire MBG dos S, Ruiz HA, Ribeiro MR, Ferreira PA, Alvarez V VH & Freire FJ (2003a) Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17:45-52.
- Freire MBG dos S, Ruiz HA, Ribeiro MR, Ferreira PA, Alvarez V VH & Freire FJ (2003b) Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7:227-232.
- Jury WA, Jarrell WM & Devitt D (1979) Reclamation of saline-sodic soils by leaching. *Soil Science Society American Journal*, 43:1100-1106.

- Keren R & O'connor GA (1982) Gypsum dissolution and sodic soil reclamation as affected by water flow velocity. *Soil Science Society American Journal*, 46:726-732.
- Maia CE, Morais ERC de & Oliveira M de (1998) Classificação da água de irrigação utilizando quatro metodologias de cálculo para a razão de adsorção de sódio - II. Região do Baixo Açu, Rio Grande do Norte. *Caatinga*, 11:47-52.
- Melloni R, Silva FA de M & Carvalho JG de (2000) Cálcio, magnésio e potássio como amenizadores dos efeitos da salinidade sobre a nutrição mineral e o crescimento de mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*). *Cerne*, 6:35-40, 2000.
- Minashina NG, Kochetkova GN & Dokuchayev VV (1983) Salts in the soil solution and the wilting point of plants upon irrigation of sandy soils with chloride and sulfate water. *Soviet Soil Science*, 15:77-87.
- Miranda JH de (2001) Modelo para a simulação da dinâmica de nitrato em colunas verticais de solo não saturado. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Piracicaba, 79p.
- Oliveira M de & Maia CE (1998) 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*, 2:17-21.
- Pla Sentis M (1988) Riego y desarrollo de suelos afectados por sales en condiciones tropicales. *Soil Technology*, 1:13-35.
- Qadir M, Schubert S, Ghafoor A & Murtaza G (2001) Amelioration strategies for sodic soils: a review. *Land Degradation & Development*, 12:357-386.
- Resende M (1983) Bruno não cálcico: interpretação de um perfil. Mossoró, Fundação Guimarães Duque, 165p. (Coleção Mossoroense, 218p.)
- Resende M, Curi N, Ker JC & Rezende SB (2005) de. Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações. Lavras, Editora UFLA. 192p.
- Richards LA (1954) ed. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington, USDA. 160p. (Agriculture Handbook, 60).
- Ruiz HA, Sampaio RA, Oliveira M de & Alvarez V VH (2004) Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:1119-1126.
- Sampaio RA & Ruiz HA (1996) Características das soluções drenadas na recuperação de solos salino-sódicos com lixiviações parceladas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 20:13-20.
- Souza MLM de (2006) Transporte e sorção do agroquímico paclobutrazol em solos irrigados cultivados com manga. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 127p.
- Sharma DP & Tyagi NK (2004) On-farm management of saline drainage water in arid and semi-arid regions. 53:87-103.
- Szabolcs I & Darab K (1968) Salt balance and salt transport processes in irrigated soils. In: 9th International Congress of Soil Science, Adelaide. Proceedings, ISSC, p.491-502.
- Vital A de FM; Santos RV dos; Cavalcante LF & Souto JS (2005) Comportamento de atributos químicos de um solo salino-sódico tratado com gesso e fósforo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9:30-36.