

ANDRÉ SOUZA LIMA

**ALTERAÇÕES EM PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS DE DOIS SOLOS
SUBMETIDOS A LÂMINAS CRESCENTES DE IRRIGAÇÃO**

**MOSSORÓ - RN
2011**

ANDRÉ SOUZA LIMA

**ALTERAÇÕES EM PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS DE DOIS SOLOS
SUBMETIDOS A LÂMINAS CRESCENTES DE IRRIGAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-árido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Neyton de Oliveira Miranda

**MOSSORÓ – RN
2011**

**Ficha catalográfica preparada pelo setor de classificação e
catalogação da Biblioteca “Orlando Teixeira” da UFERSA**

L732a Lima, André Souza.

Alterações em propriedades químicas e físicas de dois solos submetidos a lâminas crescentes de irrigação / André Souza Lima -- Mossoró, 2011.

89f.: il.

Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem. Área de concentração: Impacto Ambiental da Agricultura Irrigada) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Orientador: Profº. D.Sc. Neyton de Oliveira Miranda

Co-orientador: Profº. D.Sc. José Francimar de Medeiros

1.Salinidade do solo. 2.Qualidade da água. 3.Degradação do Solo. I.Título.

CDD:631.45

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

ANDRÉ SOUZA LIMA

**ALTERAÇÕES EM PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS DE DOIS SOLOS
SUBMETIDOS A LÂMINAS CRESCENTES DE IRRIGAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-árido, como parte das
exigências para obtenção do título de Mestre
em Irrigação e Drenagem.

APROVADA EM: ____ / ____ / ____

Prof. D. Sc Neyton de Oliveira Miranda - UFERSA
Orientador

Prof. D.Sc José Francismar de Medeiros - UFERSA
Conselheiro

Prof. D.Sc José Geraldo Rodrigues dos Santos- UEPB
Conselheiro

*Dedico com muito amor e carinho a minha
esposa Morgana, como reconhecimento
ao carinho, atenção e paciência durante todo o
mestrado e toda a vida.*

DEDICO

*A meus pais e meus irmãos
que sempre me incentivaram a
estudar, contribuindo com minha formação
política, intelectual e humanista.*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me iluminado e guiado meus passos e por proporcionar todas as vitórias na minha vida, segundo o seu propósito.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido e ao Departamento de Ciências Ambientais e tecnológicas pela oportunidade em realizar este curso.

Ao INSTSAL/CNPQ e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo

Ao professor Neyton de Oliveira Miranda, pela orientação, confiança e amizade, durante esses 5 anos de orientação na graduação e mestrado

Ao professor José Francismar de Medeiros, pela orientação e autoria intelectual desse projeto.

Ao professor Hans Raj Gheyi, pela sua disponibilidade em participar desta banca.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem da UFERSA.

Aos companheiros de projeto, Herlon Bruno e Vital, pela ajuda e companheirismo.

Aos meus colegas de Pós-graduação da UFERSA, pelo companheirismo ao longo do curso.

A todas as pessoas que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, irmãos e sobrinhos, que sempre me apoiaram nesse projeto e em todos realizados na minha vida acadêmica.

Aos meus sogros pela acolhida nos momentos difíceis, em que meus pais não estiveram presentes.

Aos meus irmãos em Cristo e a Igreja Batista Missionária em Lagoinha, que me proporcionaram um encontro com Deus e uma vida restaurada.

Meus sinceros agradecimentos!

“Porque não me envergonho
do evangelho de Cristo,
pois é o poder de Deus
para salvação de todo
aquele que crê”

Rm 1:16a

RESUMO

LIMA, André Souza . Alterações em propriedades químicas e físicas de dois solos irrigados com águas com elevados teores de sais. 89 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2011.

O trabalho foi realizado para verificar o efeito de lâminas crescentes de irrigação sobre parâmetros de salinidade do solo, em duas condições de solo e água, na região de Mossoró-RN. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, em bandejas com dimensões de 0,235 x 0,365 m, contendo 0,00343 m³ de solo. Nelas foram testadas seis lâminas de irrigação (L1=500 mm, L2=1000 mm, L3=1500 mm, L4=2000 mm, L5=3000 mm e L6=5000 mm) e dois tipos de solos, um Latossolo (S1) e um Cambissolo (S2), irrigados com águas de poços próximos ao local da coleta do solo, mais o tratamento-testemunha, totalizando 56 parcelas experimentais. Foram analisados os parâmetros da equação de Van Genuchten (α , m, n, Θ_r e Θ_s), com relação aos atributos físicos, foram estudados a umidade no ponto de inflexão da curva (Θ_i), a tensão na capacidade de campo (hcc), índice S, água disponível total (ADT), macroporosidade, densidade, microporosidade e ponto de murcha permanente (PMP), os atributos químicos analisados foram o pH, a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e o índice de Razão de Adsorção de Sódio do extrato de saturação (RASes), além da soma cálcio e magnésio (Ca+Mg), Sódio (Na), Potássio (K) e carbonato de cálcio (CaCO₃). Os dados foram submetidos à análise de regressão, sendo testados os coeficientes dos modelos com base no quadrado médio do resíduo da análise de variância. O aumento da salinidade influenciou no aumento da densidade do solo, que influencia nos outros parâmetros físicos. Os parâmetros da equação de Van Genuchten tiveram pouca influência com o uso de lâminas crescentes de irrigação, mostrando serem fatores pouco limitantes. Os valores de umidade residual, tensão na capacidade de campo, microporosidade e ponto de murcha permanente, apresentaram tendências diferentes para os dois solos. O aumento da CE e RAS, sugere que esses solos terão problemas com salinização e o aumento do pH, tende a uma alcalinização dos solos estudados. Os valores de K e CaCO₃ tiveram comportamentos semelhantes, que sugerem uma relação de queda, relacionada a aplicação de água com CaCO₃, que tende a neutralizar o K presente no solo.

Palavras-chave: Salinidade do solo, qualidade da água, degradação do solo.

ABSTRACT

LIMA, André Souza. Alterations in chemical and physical properties of two soils irrigated subject to increasing water irrigation. 89 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2011.

This work was carried out with the purpose of verifying the effect of increasing water irrigation depths on soil salinity parameters, in two soil and water conditions at Mossoró, RN, Brazil. The trial was conducted in an entirely randomized design, with four replications, using 0.235 x 0.365 m trays, containing 0.00343 m³ of soil. In each soil, an Oxisol (S1) and an Inceptisol (S2), six irrigation depths were applied (L1=500 mm, L2=1000 mm, L3=1500 mm, L4=2000 mm, L5=3000 mm and L6=5000 mm), using water from wells of the same place of soil collection, plus a control treatment, totaling 56 plots. In both soils were determined parameters of Van Genuchten equation (α , m, n, Θ_r e Θ_s), moisture at curve inflection point (Θ_i), tension at field capacity (hcc), S index, total available water (ADT), bulk density, macroporosity, microporosity and permanent wilting point (PMP). Chemical soil determinations were pH, saturation paste electrical conductivity (CEes), saturation paste sodium absorption rate (RASes), contents of Sodium (Na), Potassium (K) and calcium carbonate (CaCO₃), besides the sum of calcium and magnesium contents (Ca+Mg). Data were submitted to regression analysis, when coefficients of the models were tested based on the error mean square of variance analysis. The increase on soil salinity caused an increase on bulk density, which influences the other physical parameters. Parameters of Van Genuchten equation received little influence of the increasing irrigation depths. Values of residual moisture, tension at field capacity, microporosity and permanent wilting point presented different trends for each soil. Increase on CEes and RASes indicate that those soils are prone to salinity problems, while pH increase indicate tendency to soil alcalinization. Values of K and CaCO₃ showed a decreasing behavior, indicating that application of salt rich water contributed to replace soil K.

Keywords: Soil salinity, water quality, soil degradation.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Análise química das águas utilizada no experimento. Mossoró, RN, 2010.....	31
TABELA 2	Resumo da análise de variância para os níveis de CEes para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	41
TABELA 3	Resumo da análise de variância para os níveis de pH para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	43
TABELA 4	Resumo da análise de variância para os níveis de (Ca+Mg)es para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	45
TABELA 5	Resumo da análise de variância para os níveis de Naes para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	47
TABELA 6	Resumo da análise de variância para os níveis de RASes para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	49
TABELA 7	Resumo da análise de variância para os níveis de Kes para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	50
TABELA 8	Resumo da análise de variância para os níveis de CaCO ₃ es para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	52
TABELA 9	Resumo da análise de variância para os níveis de ds para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	54
TABELA 10	Resumo da análise de variância para os níveis de ADT para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	56
TABELA 11	Resumo da análise de variância para os níveis de microporosidade para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	58
TABELA 12	Resumo da análise de variância para os níveis de macroporosidade para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	59
TABELA 13	Resumo da análise de variância para os níveis de PMP para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	61
TABELA 14	Resumo da análise de variância para os valores de α , m e n para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	67
TABELA 15	Resumo da análise de variância para os níveis de Θ_r para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	70

TABELA 16	Resumo da análise de variância para os níveis de Θ_s para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	72
TABELA 17	Resumo da análise de variância para os níveis de hcc para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	74
TABELA 18	Resumo da análise de variância para os níveis de Θ_i para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	76
TABELA 19	Resumo da análise de variância para o índice S para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	77

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Solo peneirado a 2mm (A); Bandejas com solo a 4 cm (B). Mossoró-RN, 2010.....	32
FIGURA 2	Mesa de tensão de placa porosa de areia (A e B); Mesa de tensão de placa porosa de argila (C); Câmara de pressão com placa porosa (D). Mossoró-RN, 2010.....	33
FIGURA 3	Relação entre a CE _{1:2,5} e CE _{es} para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	38
FIGURA 4	Relação entre a (Ca+Mg) _{1:2,5} e (Ca+Mg) _{es} para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	39
FIGURA 5	Relação entre a Na _{1:2,5} e Na _{es} para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	39
FIGURA 6	Relação entre a RAS _{1:2,5} e RAS _{es} para o Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	40
FIGURA 7	Relação entre a K _{1:2,5} e K _{es} para o Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	41
FIGURA 8	Valores de CE _{es} com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	42
FIGURA 9	Valores de pH com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	44
FIGURA 10	Valores de (Ca+Mg) _{es} com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	45
FIGURA 11	Valores de Na _{es} com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	48
FIGURA 12	Valores de RAS _{es} com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	49
FIGURA 13	Valores de K _{es} com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	51
FIGURA 14	Valores de CaCO ₃ com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	53
FIGURA 15	Valores de ds com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	55

FIGURA 16	Valores de ADT com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	57
FIGURA 17	Valores de microporosidade com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	58
FIGURA 18	Valores de macroporosidade com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	60
FIGURA 19	Valores de PMP com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	61
FIGURA 20	Curvas de retenção para o Latossolo. Mossoró-RN, 2010.....	64
FIGURA 21	Curvas de retenção para o Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.....	66
FIGURA 22	Valores de α com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	68
FIGURA 23	Valores de m com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	68
FIGURA 24	Valores de n com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	68
FIGURA 25	Valores de Θ_r com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	71
FIGURA 26	Valores de Θ_s com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	72
FIGURA 27	Valores de h_{cc} com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	75
FIGURA 28	Valores de Θ_i com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	76
FIGURA 29	Valores de índice S com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.....	78

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS.....	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3.1 QUALIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO.....	17
3.2 EFEITOS DOS SAIS NO SOLO.....	19
3.2.1 Alterações químicas	19
3.2.2 Alterações físicas	23
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
4.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	30
4.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	30
4.3 DESCRIÇÃO DOS SOLOS E ÁGUAS ESTUDADOS.....	30
4.4 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	31
4.5 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS.....	32
4.5.1 Curva de retenção e parâmetros físicos.....	32
4.5.2 Parâmetros químicos.....	36
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS.....	38
5.1.1 Relações entre medidas feitas no extrato de saturação e através de diluição 1:2,5.....	38
5.1.2 Efeitos da lâmina de irrigação nas propriedades químicas do solo	41
5.1.2.1 Efeito da lâmina de irrigação na CEes.....	41
5.1.2.2 Efeito da lâmina de irrigação no pH.....	43
5.1.2.3 Efeito da lâmina de irrigação nos teores de (Ca+Mg)es.....	44
5.1.2.4 Efeito da lâmina de irrigação nos teores de Naes.....	46
5.1.2.5 Efeito da lâmina de irrigação nos valores de RASes.....	48
5.1.2.6 Efeito da lâmina de irrigação nos teores de Kes.....	50
5.1.2.7 Efeito da lâmina de irrigação nos teores de CaCO ₃	52
5.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO.....	54
5.2.1 Efeito da lâmina de irrigação na densidade do solo (ds).....	54
5.2.2 Efeito da lâmina de irrigação na água disponível total (ADT).....	56
5.2.3 Efeito da lâmina de irrigação na microporosidade.....	57

5.2.4 Efeito da lâmina de irrigação na macroporosidade.....	59
5.2.5 Efeito da lâmina de irrigação no ponto de murcha permanente (PMP).....	60
5.3 CURVAS DE RETENÇÃO.....	63
5.3.1 Efeito da lâmina de irrigação nas curvas de retenção.....	63
5.3.2 Efeito da lâmina de irrigação nos parâmetros da equação de van Genuchten (α , m e n).....	67
5.3.3 Efeito da lâmina de irrigação no parâmetro Θ_r da equação de van Genuchten.....	70
5.3.4 Efeito da lâmina de irrigação no parâmetro Θ_s da equação de van Genuchten.....	71
5.4 ÍNDICES ESTIMADOS A PARTIR DAS CURVAS DE RETENÇÃO.....	74
5.4.1 Tensão na capacidade de campo (h_{cc}).....	74
5.4.2 Umidade no ponto de inflexão da curva de retenção (Θ_i).....	75
5.4.3 Índice S.....	77
6 CONCLUSÕES.....	80
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

No estado do Rio Grande do Norte existe água de baixa salinidade, de custo elevado e volume explorável limitado, e água de poços rasos, de custo menor e com maior potencial de uso, sendo que na região de Mossoró, com mais de 1.000 ha irrigados, tem como sua principal fonte de água para irrigação, água explorada de poços do aquífero calcário, no entanto, essas águas de poços rasos podem apresentar nível muito alto de carbonatos e bicarbonatos na água e de salinidade e, conseqüentemente, podem reduzir o rendimento das culturas. Medeiros, Lisboa e Oliveira (2003) caracterizando as águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi no estado do Rio Grande do Norte, verificaram que as águas daquela região apresentam baixa sodicidade e elevada alcalinidade.

Os solos irrigados têm duas origens: solos oriundos da formação do grupo Barreira, sedimentos de terciário e da formação do calcário Jandaíra. No primeiro caso, são solos mais arenosos e as águas de poços são mais salinas, enquanto no calcário são solos mais argilosos e seus poços têm água com menor concentração salina, com proporção menor em sua composição de Ca e HCO_3 (Medeiros et al., 2003).

O estudo das propriedades físico-hídricas de um solo é de grande importância, visto que afeta preponderadamente o seu uso. Assim sendo, a exploração racional e econômica de áreas irrigadas, seja em regiões áridas e/ou semi-áridas, requer a elaboração de um criterioso dimensionamento e manejo adequado dos sistemas de irrigação e drenagem levando-se, então, em consideração, as alterações das características físico-hídricas do solo, como forma de atender satisfatoriamente as necessidades hídricas das plantas. Devido à importância da água no desenvolvimento das plantas e suas implicações em várias propriedades do solo, a determinação do teor de água no solo sempre foi de grande interesse, tanto no aspecto científico como no econômico (CICHOTA; LIER, 2004).

Silva et al. (2006) avaliaram alterações nas características químicas de quatro solos do Rio Grande do Norte irrigados com águas de níveis crescentes de condutividade elétrica (CE) e dois valores de relação de adsorção de sódio (RAS), cultivados com melão e constatou que o incremento da salinidade da água ocasionam o aumento do pH, CE, teores de Ca, Mg, Na e K trocáveis, e a PST dos solos. O uso de águas salinas promoveu aumento na salinidade e sodicidade dos quatro solos estudados, fatores que contribuem para a degradação dos mesmos.

Um dos parâmetros que podem auxiliar ao produtor no manejo da irrigação é a determinação da curva de retenção de água do solo, que representa a relação entre o teor de

água e a energia com a qual ela está retida no solo; esse conhecimento é essencial no estudo das relações solo-água. No entanto, constitui uma propriedade de difícil caracterização tanto pelo tempo que se consome nas análises quanto pela intrínseca modificação da amostra devido à histerese. Sua determinação pode ser efetuada por meio de técnicas tradicionais de laboratório, tais como a da câmara de pressão (RICHARDS, 1965) e da centrífuga (SILVA; AZEVEDO, 2002).

A curva de retenção da água no solo é expressa pela relação entre o potencial matricial e a umidade do solo. A retenção de água na matriz do solo é governada por duas forças principais, as forças capilares e as forças de adsorção, as quais são denominadas de forças matriciais, dando origem ao termo potencial matricial da água no solo (VIEIRA, 2006). Libardi (2000) definiu de forma mais clara a curva de retenção como sendo a relação funcional entre a quantidade de solução em um volume do solo, em equilíbrio com a tensão aplicada. Esta relação parte do princípio de que a água ocupa os espaços porosos do solo sob determinada tensão, que é dependente da composição granulométrica e do arranjo estrutural do solo, sendo o conteúdo de umidade do solo inversamente proporcional ao seu potencial matricial.

A curva característica do solo é determinada apenas uma vez e, sempre que se precise de valores de seu potencial matricial, indica-se a umidade do solo e, através da curva, estima-se o valor do potencial matricial do solo, mas a curva de retenção tem suas limitações; ela varia bastante com pequenas variações de textura, de compactação e da estrutura (MELLO et al., 2005).

2 OBJETIVOS

Simular efeitos da aplicação de água salina a longo prazo sob condições de elevada evapotranspiração.

Estudar o comportamento das propriedades químicas e físicas dos solos em condições de irrigação com águas de elevados teores de sais existentes na região de Mossoró, simulando o tempo crescente de irrigação a partir da lâmina total de irrigação aplicada.

Determinar os parâmetros afetados e relacionar com o aumento da salinidade dos solos.

Verificar quais os tipos de solos são mais afetados pelo uso de irrigação com águas de elevados teores de sais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 QUALIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

O conceito de qualidade da água refere-se às características que podem afetar as necessidades do usuário, definidas por uma ou mais propriedades físicas, químicas e/ou biológicas. Assim, uma água pode ser considerada de melhor qualidade se produzir melhores resultados (FIGUEIREDO, 2008).

O termo salinidade se refere à presença, no solo, de sais solúveis; quando a concentração de sais se eleva ao ponto de prejudicar o rendimento econômico das culturas, diz-se que tal solo está salinizado. A salinização é um dos processos chave, que pode conduzir à desertificação. É um fenômeno crescente afetando milhões de hectares de solos em todo o Mundo. Esse fenômeno ocorre principalmente em regiões áreas áridas e semi-áridas, onde os sais solúveis se concentram à superfície ou no interior do solo. As águas de irrigação contêm mistura de sais de origem natural. Consequentemente, os solos irrigados com essas águas contêm mistura similar, mas geralmente com concentrações mais elevadas. A intensidade da acumulação de sais do solo depende da qualidade da água, do manejo de irrigação e da eficiência de drenagem. Para evitar as perdas de rendimentos das culturas, ocasionadas pela acumulação excessiva de sais, estes devem ser mantidos numa concentração inferior àquela que afetaria seus rendimentos (AYERS; WESTCOT, 1999).

A qualidade das águas para a irrigação pode variar no tempo e no espaço, sabendo-se que, na época de estiagem seus níveis de sais são mais elevados, quando também são mais altas as temperaturas e a evapotranspiração na região, além das culturas exigirem maior suprimento de água, a fim de atender às suas necessidades fisiológicas, sendo afetadas, portanto, com maior intensidade; assim, observa-se a importância do conhecimento de sua qualidade para evitar os problemas conseqüentes (COSTA, 1982; LARAQUE, 1989).

Na região semi-árida do Nordeste brasileiro, a qualidade da água de irrigação é de crucial importância principalmente devido a sua escassez, sendo o agricultor obrigado a utilizar águas de qualidade inferior. Assim a utilização de águas salinas na irrigação podem representar um risco para a produção agrícola das culturas. Em certos casos, essas águas promovem alterações nas condições físico-químicas que não existiam inicialmente no solo em proporções que desfavorecem o crescimento e o desenvolvimento da maioria das culturas (ALENCAR et al., 2003).

O uso intensivo de águas salobras e o mau uso das práticas de manejo como o uso em excesso de adubos com índice de salino elevado poderá acarretar acúmulo de sais na zona radicular, esses sais têm que ficar em nível compatível com o sistema de cultivo, e em alguns casos são necessário retirar parte dos sais através da lixiviação, para evitando a salinização do solo, que quando em excesso apresentam efeitos deletério ao crescimento das plantas, (HOLANDA, 2010). A utilização na irrigação de águas com elevadas concentrações de sais deve ser seguida de práticas que impeçam a acumulação excessiva de sais no solo em níveis prejudiciais ao desenvolvimento das culturas. A lixiviação, passagem de água através do perfil do solo, é uma alternativa prática e eficiente para reduzir o excesso de sais solúveis nos solos a uma taxa que permita manter a salinidade média na zona radicular em valores toleráveis às culturas (RHOADES; CHANDUVI; LESCH, 1999).

Segundo Rhoades, Kandiah e Mashall (1992), a utilização das águas para irrigação depende das condições de uso, incluindo-se cultura, clima, solo, métodos de irrigação e práticas de manejo, o que faz com que as classificações de água quanto à salinidade não sejam aconselhadas para avaliar a adequabilidade da água para irrigação. Os mesmos autores sugerem uma classificação da água dividida em classes baseada na condutividade elétrica. As águas seriam classificadas em não salina, quando a CE for menor que $0,7 \text{ dS m}^{-1}$; ligeiramente salina, quando a CE ficar entre $0,7$ e $2,0 \text{ dS m}^{-1}$; moderadamente salina, quando a CE ficar entre $2,0$ e $10,0 \text{ dS m}^{-1}$; altamente salina, quando a CE ficar entre 10 e 25 dS m^{-1} ; excessivamente salina quando a CE ficar entre 25 e 45 dS m^{-1} , sendo considerada como salmoura quando a CE for maior que 45 dS m^{-1} .

Analisando a qualidade das águas nos aquíferos da região da Chapada do Apodi, Oliveira e Maia (1998) verificaram que as águas de poços tubulares rasos (influenciados pelo calcário) e profundos (confinados no arenito) apresenta maiores valores de pH e concentrações de íons bicarbonatos. As águas da nossa região apresentam elevadas concentrações de sais, às vezes superando 2000 mg L^{-1} , aproximadamente $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ (MEDEIROS, 1992; OLIVEIRA; MAIA, 1998). Neste caso, sua utilização fica condicionada à tolerância das culturas à salinidade e ao manejo de práticas culturais como irrigação e adubação, com vistas ao controle da salinização das áreas (MEDEIROS; LISBOA; OLIVEIRA, 2003).

Maia (2001) desenvolveu uma metodologia para classificação da composição iônica da água de irrigação, através da regressão linear múltipla, tendo-se, como variável dependente, a condutividade elétrica e como variáveis independentes, as concentrações de cátions e ânions da água de irrigação, classificada de acordo com o peso de cada íon. Em função de critérios

preestabelecidos, águas provenientes de mananciais da região da Chapada do Apodi foram classificadas como cálcica-sódica, cálcica e cloretada, quando provinham de poço tubular, de poço amazonas e de rio, respectivamente.

Medeiros, Lisboa e Oliveira (2003), objetivando estudar a qualidade da água de irrigação, em especial do aquífero situado no calcário da formação Jandaíra, na região localizada na Chapada do Apodi, encontraram níveis elevados de salinidade com CEa variando de 1,25 a 3,00 dS m⁻¹. Oliveira e Maia (1998), estudando diferentes amostras de água em mananciais do semi-árido nordestino, através de análises físico-químicas, avaliaram a qualidade da água para irrigação, empregando-se índices clássicos, como Índice de Saturação de Langelier, CE, RAS, RASaj e RAScor. Observaram que mais de 30% das amostras apresentaram problemas devido ao risco de sodicidade (RAS elevada), sendo que maior parte foi proveniente de poços tubulares, que captam água de calcário ou aquíferos abastecidos diretamente pelo lençol freático.

3.2 EFEITOS DOS SAIS NO SOLO

3.2.1 Alterações químicas

A origem dos problemas de salinidade se confunde com a própria formação do solo, que é um produto da intemperização das rochas, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos, mediante a ação de fatores como clima, relevo, organismos vivos e o tempo. Durante a intemperização, os diversos constituintes das rochas são liberados na forma de compostos simples (RICHARDS, 1954).

Segundo Williams (1987) são identificados dois tipos de salinização: primária e secundária. A salinização primária é um processo natural onde ocorrem poucas chuvas, elevada evaporação e acumulação gradual de íons oriundos do intemperismo. Em contrapartida, a salinização secundária resulta de um evento antrópico causada por atividades humanas como práticas de irrigação inadequadas, normalmente com águas de elevado teor de sais e/ou acompanhadas de uma drenagem insuficiente. De acordo com Oliveira (1997), em alguns casos, a salinização secundária é responsável por perdas irreparáveis na capacidade produtiva dos solos, tornando estéreis grandes extensões de terras cultivadas. Assim, águas de qualidade duvidosa (com elevados riscos de salinidade e sodicidade), adubos com elevado índice salino (cloreto de potássio, nitrato de sódio e nitrato de amônio), drenagem ineficiente, dentre outros fatores, podem acelerar o processo de salinização secundária.

Os problemas de salinidade do solo são decorrentes principalmente das altas taxas de evaporação e da baixa precipitação pluviométrica, aliados ao manejo inadequado da água de irrigação (OLIVEIRA et al., 2002). De acordo com Silva et al. (2008), o problema da salinidade em áreas irrigadas se agrava quando o balanço de sais revela maior entrada que saída, promovendo acréscimo da concentração salina na área considerada. Segundo Ayers e Westcott (1999), o fato que mais agrava os problemas de salinidade dos solos pela água de irrigação é o uso indiscriminado das fontes de água, sem levar em consideração a qualidade da água que está sendo usada. O acúmulo de sais no solo está intimamente relacionado com o processo de evapotranspiração (SILVA et al., 2008). Conforme a água é absorvida pelas plantas ou evapora na superfície do solo, os sais se acumulam. A maneira pela qual os sais são transportados e acumulados no perfil do solo depende da quantidade e da qualidade da água de irrigação o que, em junção com os fatores ambientais, como evapotranspiração, seqüência de cultivos e intensidade e distribuição das chuvas, promovem o desenvolvimento de um perfil salino característico para diferentes tipos de solo.

De acordo com Silva filho et al (2000) e D'almeida et al (2005), a salinização do solo está ligada também às características físico-químicas do solo em seu estado natural e das técnicas de manejo a ele aplicado, visto que é comum o surgimento da salinidade em áreas irrigadas cujas técnicas de manejo não visam a conservação da capacidade produtiva dos solos, bem como onde há uso excessivo de fertilizantes. A quantidade de sais adicionados ao solo via irrigação é proporcional à quantidade de água aplicada, ou seja, a concentração de sais no solo cresce em função da lâmina de irrigação aplicada. Atualmente, a principal causa do aumento da salinização dos solos agrícolas tem sido o manejo da irrigação. O excesso de fertilização, o uso de água salina e a ausência de drenagem adequada, são fatores que resultam em situações desfavoráveis que podem favorecer a degradação de solos (SILVA et al., 2008).

Observa-se nas regiões áridas e semi-áridas, que, em áreas irrigadas, a solução do solo é frequentemente mais salina que a água de irrigação. Isto se deve à ocorrência de alto índice evaporativo, que proporciona um acúmulo de sais da água de irrigação no solo e a dissolução de alguns minerais existentes no solo (MEIRELES et al., 2003).

Ribeiro, Maia e Medeiros (2005), realizaram estudos para avaliar a influência da fonte, da época e do tipo de solo sobre a condutividade elétrica, em função dos íons da água de irrigação, utilizando-se a regressão linear, sendo que constataram que as equações lineares ajustadas com a condutividade elétrica em função dos teores de cálcio, magnésio, potássio, sódio, cloreto, bicarbonato, carbonato e sulfato variaram significativamente com a época de amostragem, a fonte de água e com o tipo de solo.

Garcia et al (2008), estudando alterações químicas em dois solos com objetivo de determinar os efeitos da irrigação com água salina verificou que a aplicação de água salina, bem como o aumento da salinidade da água de irrigação nos dois solos, aumentou a disponibilidade de cálcio e sódio trocáveis, bem como os valores da soma de bases, CTC total e efetiva, saturação por bases, porcentagens de cálcio e sódio trocáveis, salinidade do solo, razão de adsorção de sódio e as relações cálcio/magnésio e da porcentagem de sódio trocável com a razão de adsorção de sódio, sendo que outros fatores como as porcentagens de potássio e magnésio trocáveis diminuíram enquanto que a disponibilidade de potássio e magnésio trocáveis, os valores de alumínio, H^+Al e a saturação por alumínio não foram afetados. Silva et al. (2008) afirmam que em solos com irrigações mal manejadas, excesso de fertilização, uso de água salina e a ausência de drenagem adequada, a quantidade de sais adicionada ao solo via irrigação é proporcional à quantidade de água aplicada e que a concentração de sais no solo cresce em função da lâmina de irrigação adicionada.

Chaves et al (2009) avaliaram as águas do Distrito de Irrigação do Perímetro Araras Norte no Ceará comparando concentrações dos íons Na^+ , Cl^- , $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ e K^+ em solos irrigados com aquelas presentes em solos de mata nativa, bem como avaliar a ação da chuva na lixiviação deles, sendo que obtiveram resultados em que a concentração de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ apresentou maior incremento no solo da área irrigada em relação ao da mata nativa para a camada de 0,60-0,90 m. O Cl^- foi o íon que apresentou maior concentração nas camadas superiores e valores constantes nas camadas mais profundas. Os íons Na^+ e K^+ apresentaram concentrações baixas nas áreas estudadas. Constatou-se que a altura pluviométrica total de 2.882 mm ocorrida na região não foi suficiente para conduzir o *status* salino do solo às condições da mata nativa, havendo um incremento de íons na solução do solo, podendo, no futuro, levar à degradação das áreas irrigadas.

Nas regiões de baixa precipitação pluvial, a lavagem dos sais deve ser realizada como forma de manter a salinidade do solo em um nível aceitável. Já em regiões onde essa precipitação é relativamente alta, a sua ocorrência durante a estação chuvosa, pode assegurar a lavagem dos sais (ANDRADE et al., 2004; BEN-HUR, 2001). A salinização pode ser provocada tanto pela presença de sais na água usada para irrigação quanto por deficiência na drenagem da área. Em áreas onde o solo já está salinizado, a recuperação é um processo muito caro e raramente viável. Para aproveitamento dessas áreas se faz necessário o desenvolvimento de genótipos mais tolerantes à salinidade, viabilizando a exploração em solo salino (ARAÚJO, 1994).

O acúmulo de sais no solo também pode ser um processo natural, observado principalmente quando há deficiência de drenagem no solo. Assim, como outras propriedades químicas e físicas, a salinidade do solo e da água é um atributo bastante variável no espaço e no tempo. Os fatores mais diretamente responsáveis por esta salinidade são: a natureza química dos solos, as interações com outros fatores, aumentando na perda de permeabilidade e elevação do nível do lençol freático, e as variáveis climáticas, como pluviosidade, irregularidade de distribuição das chuvas, além das perdas hídricas por evaporação e evapotranspiração (GURGEL et al., 2003).

De acordo com Rhoades e Loveday (1990), para se manter a solução do solo num nível de salinidade compatível com o sistema de cultivo, a remoção de sais na zona radicular depende da manutenção do balanço de sais. Esta lixiviação é o fator mais importante para reduzir a intensidade da salinização de uma área irrigada.

Embora os solos afetados por sais apresentem diversos problemas para as plantas, estes podem ser aproveitados para várias finalidades, desde que se adote um manejo adequado do sistema solo-água-planta na área afetada (RHOADES et al., 1992); assim, é de grande importância que se estabeleçam a tolerância das culturas à salinidade e o controle eficiente da irrigação para cada cultura, a fim de promover a lavagem, mantendo a salinidade do solo na zona radicular até um nível tolerado pelas plantas.

Freitas, et al (2007), testou dois solos em Pernambuco, em casa de vegetação, e constatou alteração nas características químicas dos dois solos sendo afetadas pela salinidade da água de modo similar, com aumento nos teores de sódio, na razão de adsorção de sódio e na percentagem de sódio trocável provocados pelos crescentes níveis de salinidade da água de irrigação. Dias et al (2007), desenvolveu curvas de salinização artificial de solos em ambiente protegido através de excesso de adubação para o auxílio de experimentos com manejo de fertirrigação e tolerância das plantas a salinidade, pelos resultados constataram que se podem desenvolver curvas para que sejam adicionadas ao solo adubos suficientes para conseguir níveis de condutividade elétrica no extrato de saturação do solo pré-estabelecido.

Silva et al (2006) avaliou alterações nas características químicas de quatro solos do Rio Grande do Norte irrigados com águas de níveis crescentes de condutividade elétrica (CE) e dois valores de relação de adsorção de sódio (RAS), cultivados com melão e constatou incremento da salinidade da água ocasionando o aumento do pH, CE, teores de Ca, Mg, Na e K trocáveis, e a PST dos solos. O uso de águas salinas promoveu aumento na salinidade e sodicidade dos quatro solos estudados, fatores que contribuem para a degradação dos mesmos. Faria et al (2009), estudando águas subterrâneas da região norte de Minas Gerais,

visando diminuir os problemas de salinização, alcalinização e sodificação constataram que o uso de águas salinas causa redução da sua infiltração no solo.

Estudos realizados por Freire et al (2003) tiveram como objetivo avaliar o risco de sodificação em solos irrigados com águas de diferentes condutividades elétricas (CE) e relações de adsorção de sódio (RAS). Os resultados demonstram que a correta avaliação dos riscos de sodificação deve levar em consideração as propriedades do solo e a qualidade da água. Dias et al. (2004), avaliando a evolução da salinidade do solo em diferentes camadas, durante o ciclo do melão para diferentes salinidades de água de irrigação, verificaram que os maiores valores de salinidades foram observados para as camadas superficiais do solo, ao longo do ciclo, e que a salinidade média do solo, para todos os níveis de salinidade de água diminui com a profundidade.

Carmo (2009), avaliando o efeito da salinidade aos 16, 38 e 51 DAT, encontrou valores de condutividade elétrica significativamente superiores na época intermediária que decresceram ao final, devido à lixiviação dos sais para camadas mais profundas por consequência do aumento da lâmina de irrigação na época intermediária para atender às necessidades hídricas da cultura estudada.

A aplicação de água com elevados teores de carbonato e bicarbonato pela irrigação, pode contribuir para o aumento do pH dos solos após alguns anos de cultivo (MAIA; MORAIS; OLIVEIRA, 2001a) avaliou a água de irrigação quanto a seu teor de carbonato e bicarbonato, baseado no conceito do equivalente carbonato de cálcio (ECaCO_3) da água de irrigação nas regiões da Chapada do Apodi e Baixo Açu no Estado do Rio Grande do Norte. A região da Chapada do Apodi apresentaram maiores valores de ECaCO_3 quando comparadas com as águas da região do Baixo Açu. Na região da Chapada do Apodi os maiores valores de ECaCO_3 independente da origem foram para as águas da região de Mossoró, com média de 765 kg ha⁻¹ e o menor valor foi para a região de Grossos e Upanema com 626 kg ha⁻¹. Para a região do Baixo Açu, verifica-se que, independente da origem das águas, a região de Ipanguassu apresentou os maiores valores de ECaCO_3 com média de 654 kg ha⁻¹, e o menor valor foi para a região de Carnaubais com 580 kg ha⁻¹.

3.2.2 Alterações físicas

Andrade e Stone, (2011) estimaram a umidade na capacidade de campo a partir de equação baseada na curva de retenção de água do solo (CRA) e de correlações com atributos físico-hídricos e dados de textura e matéria orgânica, para solos muito-argilosos, argilosos,

médios e arenosos. Verificou-se, então, ser possível estimar a umidade na capacidade de campo a partir de equação baseada na CRA, considerando-se como sendo 1% do valor de condutividade hidráulica. A umidade na capacidade de campo também pode ser estimada em função da umidade no ponto de inflexão da CRA e da porosidade total para cada horizonte do solo. Para uma taxa de drenagem equivalente a 1% do valor de condutividade hidráulica, a tensão de água no solo correspondente à umidade da capacidade de campo.

Dexter (2004a, 2004b, 2004c) propõe, em uma série de artigos, um novo parâmetro para avaliação da qualidade física do solo, denominado índice S (S de “slope” = declividade), e definido como a declividade da curva característica de retenção da água do solo em seu ponto de inflexão; o autor sugere, ainda, que o índice S é de cálculo fácil e representa a distribuição do tamanho de poros de maior frequência e torna possível a comparação direta de diferentes solos e dos efeitos de diferentes práticas de manejo na qualidade física do solo.

A maior parte da declividade S da curva de retenção da água do solo no ponto de inflexão é devida, principalmente, à porosidade microestrutural (poros estruturais compreendendo microfendas, fendas, bioporos e macroestruturas produzidas pelo preparo do solo) e, portanto, S governa diretamente muito dos principais atributos físicos do solo. Solos só com porosidade textural (ocorre entre as partículas dos minerais primários) têm pouca qualidade física. Exceto para algumas areias, tais solos geralmente são pouco trabalháveis e apresentam baixas taxas de infiltração de água, dentre outros; portanto, a presença de poros estruturais e um correspondente alto valor de S são essenciais para boa qualidade do solo (DEXTER, 2004a). Segundo Dexter (2004a), o limite entre solos com boa e pouca qualidade estrutural ocorre no valor aproximado de $S = 0,035$. Nenhuma mudança brusca nos atributos do solo se dá neste valor, mas ele é consistente com a experiência de campo com solos bem diferentes. Valores de $S < 0,020$ estão claramente associados às más condições físicas do solo.

O índice S é definido como sendo a declividade da curva característica de retenção da água do solo em seu ponto de inflexão. No diagnóstico da qualidade física de solos de cerrado (ANDRADE; STONE, 2009) obtiveram valores de índice S obtidos correlacionando com a densidade do solo, macroporosidade e porosidade total, este índice se correlacionou altamente com os atributos físicos considerados mostrando ser um indicador adequado da qualidade física de solos de cerrado.

Estudos realizados por Sá et al (2010), afirmam que o índice S, se torna pouco confiável aplicados a parâmetros como CC, PMP e ADT, sendo que observaram uma correlação negativa para esses fatores, sendo que estes autores recomendam a utilização de outro índice, área sob a curva de retenção (ASC), que apresentou correlação positiva para esses fatores.

De maneira similar à densidade, outro atributo físico do solo que sofre alterações com a degradação da sua estrutura é a porosidade; em geral, a degradação da estrutura do solo resulta na sua compactação o que ocasiona redução do volume de macroporos e mudanças na continuidade e distribuição de poros (DEXTER, 2004a).

Stone, Guimarães e Moreira (2002) verificaram que a compactação do solo aumentou sua resistência à penetração e reduziu a porosidade total e a macroporosidade. Houve ainda, redução no tamanho dos poros para o fluxo de água, reduzindo a condutividade hidráulica do solo. O conhecimento do potencial de água no solo é decisivo no estabelecimento das necessidades de irrigação para a cultura, permitindo definir o potencial de variação da água no solo no intervalo de água disponível as plantas (MARCIANO, 1998).

A curva de retenção da água no solo é expressa pela relação entre o potencial matricial e a umidade do solo. A retenção de água na matriz do solo é governada por duas forças principais, as forças capilares e as forças de adsorção, as quais são denominadas de forças mátricas, dando origem ao termo potencial matricial da água no solo (VIEIRA, 2006). Libardi (2000) definiu de forma mais clara a curva de retenção como sendo a relação funcional entre a quantidade de solução em um volume do solo, em equilíbrio com a tensão aplicada. Esta relação parte do princípio de que a água ocupa os espaços porosos do solo sob determinada tensão, que é dependente da composição granulométrica e do arranjo estrutural do solo, sendo o conteúdo de umidade do solo inversamente proporcional ao seu potencial matricial.

A curva característica do solo é determinada apenas uma vez e, sempre que se precise de valores de seu potencial matricial, indica-se a umidade do solo e, através da curva, estima-se o valor do potencial matricial do solo, mas a curva de retenção tem suas limitações; ela varia bastante com pequenas variações de textura, de compactação e da estrutura (MELLO et al., 2005).

A curva característica de água no solo apresenta como principal vantagem o fato de mostrar o aspecto dinâmico de água no solo. Por outro lado, como até o momento não existe nenhuma teoria satisfatória para sua previsão, a mesma é determinada experimentalmente e constitui uma característica específica de cada solo ou mesmo de cada horizonte ou camada do seu perfil (REICHARDT, 1985).

Alguns fatores têm relevante importância na retenção de água por um solo, porém, a textura merece uma atenção especial, sendo o seu conhecimento de fundamental importância para a determinação da área de contato entre as partículas sólidas e a água, determinando assim, uma grande quantidade da distribuição do diâmetro dos poros (REICHARDT; TIMM, 2004).

Em elevados teores de água (baixas sucções) onde os fenômenos de capilaridade assumem grande importância na determinação do potencial matricial, a curva de retenção de água fica na dependência da disposição e do tamanho dos poros, ou seja, a curva é função da estrutura do solo; em situações de baixos teores de água (altas sucções), o potencial matricial praticamente independe dos fatores geométricos, sendo a estrutura de pouca importância em sua determinação (REICHARDT, 1985).

A curva de retenção de água no solo tem uma aplicabilidade muito ampla tanto nos meios científicos como no cotidiano dos produtores, já que simultâneo ao seu conhecimento é possível estimar outros atributos do solo como a porosidade drenável, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível, condutividade hidráulica não-saturada, além do balanço hídrico, determinando-se a variabilidade do armazenamento de água no solo (CENTURION; ANDRIOLI, 2000; MELLO et al., 2005).

A compactação do solo afeta a curva de retenção de água, normalmente provocando redução na porosidade total do solo em decorrência da diminuição dos poros maiores interagregados. Isso significa que o conteúdo de água de saturação e os teores de água retidos a baixos potenciais são reduzidos. Já o volume de poros médios, é provavelmente maior em solos compactados, pois muitos poros grandes são reduzidos. Por sua vez, os microporos não sofrem alterações. Assim, a curva para solos compactados pode ser quase idêntica à curva de solos não compactados na faixa de altas sucções (VASCONCELOS, 1993).

A curva de retenção de água é afetada pela textura do solo, de forma que quanto maior for o conteúdo de argila, maior será, em geral, o teor de água retida sob um dado potencial matricial e mais suave será a inclinação da curva devido a uma distribuição mais uniforme de tamanho dos poros. Em solos arenosos, normalmente os poros são maiores, sendo mais rapidamente esvaziados a baixas tensões, restando pequenas quantidades de água retida a potenciais menores, o que explica a inclinação acentuada da curva de retenção de água (HILLEL, 1982).

Existem atributos físico-hídricos cuja determinação é feita em laboratório por meio da determinação do conteúdo de água do solo, onde é realizado o equilíbrio do solo úmido com uma sucessão de potenciais ou sucções conhecidas e se determina o conteúdo de água do solo a cada vez em que se aplica um potencial matricial diferente (LIBARDI, 2000 e GUERRA, 2002).

A curva de retenção, em geral, é determinada em laboratório com amostras deformadas, muitas vezes peneiradas com estruturas bem diferentes das que se encontram em campo. Variações de densidade global e de textura de um horizonte para outro dentro do mesmo perfil

de solo, podem determinar a necessidade do uso de distintas curvas de retenção de água para cada horizonte, razão por que as curvas de retenção devem ser usadas com muito critério (REICHARDT; TIMM, 2004).

A curva de retenção de água no solo é um indicador físico bastante valioso da qualidade do solo. Sua obtenção pode ser realizada de forma tradicional em laboratório utilizando amostras indeformadas ou deformadas de solo (EMBRAPA, 1997), fazendo uso de diferentes metodologias, dentre as quais o método da centrífuga (SILVA; AZEVEDO, 2002) e a clássica metodologia da mesa de tensão ou câmaras de pressão (RICHARDS, 1965).

Tais métodos consistem no levantamento de certo número de pontos, normalmente selecionados de forma arbitrária, com os quais é traçada uma curva que relaciona a umidade volumétrica retida no solo em uma determinada tensão. Entretanto, tais métodos apresentam algumas limitações quanto à dificuldade no controle do ponto de equilíbrio entre a pressão aplicada e a água retida no solo; não possibilitam a distribuição detalhada e contínua (curvas) dos diâmetros das partículas do solo; a porcentagem de areia é determinada à parte, por peneiramento (CRESTANA, 1994; VAZ; NAIME; MACEDO, 1996; VAZ et al., 1997).

Outras limitações inerentes aos métodos convencionais são a elevada ocupação de espaço físico nos laboratórios, forte dependência da habilidade da pessoa responsável por operar os equipamentos e o grande prazo necessário para realizar as determinações, que podem durar até meses para a determinação da curva de retenção (VAZ; NAIME; MACEDO, 1999; NAIME; VAZ; MACEDO, 2001).

Na metodologia descrita por Richards a extração de água ocorre por diferença de potencial entre a placa porosa e a amostra de solo; o fluxo de água é exponencialmente reduzido quando o potencial matricial torna-se mais negativo, especialmente quando se aproxima de $-1,5$ MPa, necessitando de muito tempo para atingir o equilíbrio da umidade na amostra.

Em função das dificuldades experimentais e do longo tempo envolvido nessas determinações, têm-se observado um crescente interesse por métodos indiretos de estimativa da capacidade de retenção da água nos solos (ARYA et al. 1999), os quais utilizam dados taxonômicos simples.

Em estudos sobre parâmetros da curva de retenção para Latossolo, realizados por Costa, Oliveira e Maia (2008), Verificaram haver diferenças entre amostra deformada e indeformada e entre os métodos utilizados na obtenção da curva de retenção.

Moraes, Libardi e Dourado Neto (1993), apontaram problemas metodológicos para a obtenção da curva de retenção, tendo obtidos que podem levar a interpretações errôneas,

comprometendo a qualidade de experimentos ou mesmo a comparabilidade de resultados provenientes de laboratórios diversos.

Alguns modelos empíricos têm sido propostos e utilizados para descrever a curva de retenção de água no solo a partir de um determinado número de pontos medidos (VAN GENUCHTEN, 1980).

De acordo com Kastanek e Nielsen (2001), a prevalência do uso de funções empíricas para ajustar as curvas de retenção de água do solo se mantém como uma prática corriqueira pelo fato de ainda não existirem expressões matemáticas teóricas capazes de representar adequadamente essa relação físico-hídrica.

A análise da distribuição estatística da soma de quadrados dos erros padronizados, entre as curvas geradas e as respectivas curvas de referência, permite definir um modelo de probabilidade que serve como instrumento para a escolha das melhores combinações de pontos de tensão. A combinação definida pelos oito valores de tensão de 1, 3, 6, 10, 35, 84, 611 e 1.515 kPa é a recomendada para o levantamento das curvas de retenção de água de solos do Cerrado (SILVA et al, 2006).

Estudos confirmam alterações significativas na física do solo, proporcionados pelo aumento da densidade do solo, este fator foi evidenciado por Portela, Libardi e Lier (2001), que observaram que um aumento da densidade do solo, proporcionou uma diminuição da água disponível total e que houve perda de porosidade, devido à redução da macroporosidade.

Os valores de umidade do solo na capacidade de campo variam com o método utilizado em sua determinação, o que implica na estimativa da lâmina de irrigação. Os valores de umidade na capacidade de campo pelo método direto e de laboratório na tensão de 0,006 MPa, são os mais indicados para a obtenção desse fator e a importância da fração argila na retenção de água pelo solo deve ser observada na análise de dados de retenção de água nos solos (DARDENGO et al, 2007).

Segundo Carducci et al, (2011), o bom ajuste do modelo e alto poder de predição, sendo observada correlação do conteúdo de argila do solo com os parâmetros da equação (U_{sat} , U_{pmp} , U_{res}), assim como, com a inclinação do segundo ponto de inflexão (I_{tex}). A textura dos Latossolos influenciou o comportamento das curvas de retenção de água. As curvas de retenção de água dos Latossolos em estudo apresentaram comportamento bimodal no intervalo de potencial matricial estudado.

O ponto de inflexão calculado a partir do polinômio cúbico obtido por regressão pode ser considerado como um bom estimador da capacidade de campo para o Latossolo Vermelho

Distrófico típico, o que pode facilitar e agilizar o cálculo da disponibilidade de água retida pelo solo. (MELLO et al, 2002)

O teor de argila e a densidade do solo apresentam efeitos positivos e mais pronunciados na retenção de água, em todas as tensões, em relação à matéria orgânica. A densidade do solo é o atributo que tem maior influência na retenção de água nos solos (BEUTLER et al, 2002). Em estudos realizados por Tormena e Silva (2002), determinaram que a D_s foi responsável por 85 % da variação da retenção de água no solo e que o parâmetros n da função de VG foi sensível à variação na D_s e a sua incorporação nestas funções proporcionou uma redução nos erros das estimativas de tensão. A incorporação da D_s nos modelos utilizados permitiu a redução no número de parâmetros empíricos dos modelos, uma vez que q_s , n e a foram descritos em termos de D_s .

O teor de água do solo na capacidade de campo determinada diretamente no campo após 48 h de drenagem foi semelhante àquele no potencial matricial de -0,01 MPa em amostras equilibradas no laboratório usando-se funis de placa porosa e o ponto de murcha permanente obtido pelo método fisiológico é menor que o determinado nas câmaras de Richards, o que leva a uma superestimação desse fator (KLEIN; REICHERT; REINERT, 2006).

Segundo Mello et al (2005), a equação de van Genuchten ajustada com parâmetros estimados pelos modelos propostos, demonstram que as curvas características estão próximas da realidade física, permitindo aplicações dos modelos para Cambissolo, sendo que O modelo para o parâmetro alfa (α) foi o que gerou menor coeficiente de determinação, no entanto, produziu precisão considerável, com erro médio aceitável para modelos dessa natureza.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi conduzida na região de Mossoró - RN, localizada na latitude 5° 20'S, longitude 37°31' W com altitude entre 20 e 120 m e, segundo a classificação de Köppen, com clima BSw^h, isto é, seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono e se concentrando nos primeiros meses do ano. De acordo com Carmo Filho e Oliveira (1989) as características climáticas do município de Mossoró são: temperatura média de 27,4°C, a precipitação pluviométrica média de 673,9 mm, e umidade relativa média de 68,9%.

O experimento foi desenvolvido em estufa agrícola, sendo que a área do experimento foi composta por bancadas no qual estavam dispostas as bandejas de tamanho 0,235 m x 0,365 m, totalizando uma área de bandeja de 0.085 m², com uma camada de solo de 4 cm, totalizando um volume de solo de 0,0034 m³ no qual o calculo da irrigação diária foi feito em proporção para uma profundidade de 50 cm, que é a profundidade considerada normalmente dos sistemas radiculares das culturas cultivadas na região de Mossoró.

4.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foram realizados dois experimentos, um com cada solo e o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado composto de dois tipos de solos (S1 e S2), irrigado com água coletada de poços da mesma área de onde foram coletados os solos. Utilizou-se diferentes lâminas simuladas de irrigação (L1=500 mm, L2=1000 mm, L3=1500 mm, L4=2000 mm, L5=3000 mm e L6=5000 mm), e um tratamento que não foi utilizado água salina (T1 e T2), que serviu como testemunha. totalizando 28 parcelas experimentais por experimento, num total de 56 parcelas experimentais.

4.3 DESCRIÇÃO DOS SOLOS E ÁGUAS ESTUDADOS

Os experimentos foram conduzidos utilizando-se dois tipos de solo: Cambissolo, com boa fertilidade natural e apresentando textura média, coletados na comunidade Juremal, Baraúnas/RN e Latossolo Vermelho Amarelo distrófico argissólico, de textura franco-arenosa, (EMBRAPA, 1999). Coletados em Alagoinha, Mossoró/RN

A água para a irrigação foram coletadas na comunidade Juremal, Baraúnas e Alagoinha, Mossoró/RN, locais onde foram coletados os solos, em poços que se caracterizam por possuírem águas salinas, que é um fator limitante para a agricultura da região (Tabela 1). As águas coletadas foram acondicionadas em tambores plásticas e trazidas para o local do experimento.

Tabela 1. Análise química das águas utilizada no experimento. Mossoró, RN, 2010

Análise de água	Unidades	Alagoinha	Baraúna
pH		7,60	7,85
CE	dS m ⁻¹	2,39	1,10
K	mmolc L ⁻¹	0,40	2,40
Na	mmolc L ⁻¹	8,90	2,90
Ca	mmolc L ⁻¹	7,70	5,40
Mg	mmolc L ⁻¹	7,20	3,80
Cl	mmolc L ⁻¹	11,80	4,40
CO ₃	mmolc L ⁻¹	0,50	0,40
HCO ₃	mmolc L ⁻¹	3,60	4,50
RAS	(mmol L ⁻¹) ^{0,5}	3,30	1,40
Dureza	Mg L ⁻¹	745	460
Cátions	mmolc L ⁻¹	24,20	14,50
Ânions	mmolc L ⁻¹	15,90	9,30

4.4 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido de 01/09/2010 a 13/01/2011. Os solos foram coletados da camada superficial e foram homogeneizados, destorroados e peneirados com peneira de 2mm (Figura 1 A) e logo em seguida foram preenchidos nas bandejas e compactados até uma altura de 4 cm (Figura 1 B). O peso total do solo por bandeja foi de 4,5 Kg para S1e de 4,0 Kg para S2.



Figura 1 – Solo peneirado a 2mm (A); Bandejas com solo a 4 cm (B). Mossoró-RN, 2010.

As lâminas de irrigação foram determinadas como sendo 15% do peso total dos solos (estimativa da capacidade de campo) por bandeja, sendo assim, para S1, a lâmina de irrigação inicial foi de 0,675 L, enquanto que para S2, a lâmina de irrigação inicial foi de 0,600 L. A água era repostada diariamente, após a pesagem das bandejas por balança de precisão, simulando um “mini-lisímetro”. A média de reposição diária foi de 50% de água, visando manter o solo sempre na umidade de capacidade de campo.

4.5 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS

4.5.1 Curva de retenção e parâmetros físicos

Após completadas as lâminas de irrigação de cada tratamento, foram coletados quatro anéis volumétricos por bandeja, totalizando 16 anéis por tratamento, para se obter a curva de retenção de cada solo. As amostras foram submetidas às tensões de 10, 30 e 60 cm.c.a. em mesa de tensão de placa porosa de areia (Figura 2 A e Figura 2 B), à tensão de 100 cm.c.a. em mesa de tensão de placa porosa de argila (Figura 2 C) e às tensões de 300 e 800 cm.c.a. em câmara de pressão com placa porosa (Figura 2 D). Após atingir o equilíbrio para cada tensão, as amostras foram pesadas para determinação da sua massa úmida, e após foram ressaturadas na sua base apenas para restabelecer o contato hidráulico para serem submetidas à próxima tensão. Depois de aplicadas todas as tensões, as amostras foram secas em estufas a 105 °C, por 48 h, para determinação da sua massa de sólidos. Com estas informações realizaram-se, os cálculos da umidade volumétrica e da densidade do solo. O ajuste dos dados ao modelo de Van Genuchten (1980) foi realizado por meio do programa computacional Soil Water Retention Curve SWRC versão 3.0 beta (DOURADO NETO et al., 2001) aplicando-se a

teoria de Mualem (1976), método no qual os valores extremos de umidade foram fixados: $\theta_r = \min$ e θ_s pelo método proposto por Lier e Dourado Neto (1993), com n dependente de m . Os parâmetros da equação de van Genuchten obtidos para cada parcela foram α , m , n , θ_s e θ_r .



Figura 2 – Mesa de tensão de placa porosa de areia (A e B); Mesa de tensão de placa porosa de argila (C); Câmara de pressão com placa porosa (D). Mossoró-RN, 2010.

Determinou-se a umidade no ponto de inflexão da curva de retenção da água do solo (θ_i), pela equação (1) de acordo com Dexter e Bird (2001). Este fator é utilizado para se determinar a capacidade de campo através da equação de Van Genuchten :

$$\theta_i = \theta_s - \theta_r \left[1 + \frac{1}{m} \right]^{-n} + \theta_r \quad (1)$$

Sendo:

θ_i = Umidade na capacidade de campo ou umidade inicial ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_s = Umidade de saturação do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_r = Umidade residual, ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

m e n = Parâmetros ajustados pelo modelo que dependem da forma da curva de retenção.

Obteve-se, através dos parâmetros obtidos, a tensão na capacidade de campo (hcc), através da equação (2), proposta por Andrade e Stone (2011), sendo que este parâmetro é utilizado para estimar a capacidade de campo através da sua tensão.

$$hcc = \frac{\left\{ \frac{[\theta_s - \theta_r]^{\frac{1}{m}}}{[\theta_i - \theta_r]} \right\}}{\alpha} \quad (2)$$

Em que:

hcc = Tensão na capacidade de campo (cm.c.a.)

θ_i = Umidade na capacidade de campo ou umidade inicial ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_s = Umidade de saturação do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_r = Umidade residual, ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

α , m e n = Parâmetros ajustados pelo modelo que dependem da forma da curva de retenção.

O índice S, que é a declividade da curva de retenção da água do solo em seu ponto de inflexão, foi calculado, segundo Dexter (2004a), pela equação (3):

$$S = -n(\theta_s - \theta_r) \left[1 + \frac{1}{m} \right]^{-(1+m)} \quad (3)$$

Sendo:

S = Índice de degradação física do solo

θ_s = Umidade de saturação do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_r = Umidade residual, ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

m e n = Parâmetros ajustados pelo modelo que dependem da forma da curva de retenção.

A água disponível total foi determinada pela diferença da umidade de saturação e umidade residual, pela equação (4):

$$ADT = \theta_s - \theta_r \quad (4)$$

Em que:

ADT = Água disponível total ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_s = Umidade de saturação do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_r = Umidade residual, ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

A Macroporosidade foi determinada pela diferença entre a umidade de saturação, obtida pela equação de Van Genuchten e a umidade no ponto de inflexão na curva, que é considerado ser a capacidade de campo (equação 5):

$$MACRO = \theta_s - \theta_i \quad (5)$$

Sendo:

Macro: Macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_s = Umidade de saturação do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_i = Umidade na capacidade de campo ou umidade inicial ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

A microporosidade foi obtida pela tensão de 60 cm.c.a., em placa porosa de areia, recomendada Por diversos autores, como Ferreira e Marcos (1983), no qual estimaram que esse valor se aproxima dos valores da capacidade de campo, apesar de identificarem uma subestimação.

O ponto de murcha permanente foi obtida pela tensão de 15000 cm.c.a. valor estimado através dos valores de umidade de 300 e 800 cm.c.a., obtidos na câmara de pressão de placa porosa, pela seguinte equação (6) de ajuste:

$$\theta_{pmp} = \theta_{800} - 0,01(\theta_{300} - \theta_{800})^5 \quad (6)$$

Em que:

θ_{pmp} = Umidade no ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_{800} = Umidade a 800 ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_{300} = Umidade a 300 ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)

4.5.2 PARAMETROS QUÍMICOS

Após serem coletados os anéis para a obtenção das curvas de retenção, o restante do solo foi retirado das bandejas e colocado para secar ao ar (TFSA), em seguida, foi destorroado e peneirado em malha de 0,002 m. A condutividade elétrica (CE1:2,5) foi determinada no sobrenadante a partir da mistura, base peso, de uma parte de solo para duas e meia de água destilada, conforme metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). O sobrenadante foi obtido pesando amostras de 30 g de solo, o qual foi colocado em um erlenmeyer de 125 mL, em seguida, foram adicionados 75 mL de água destilada, e agitados a uma rotação de 350 rpm durante 10 minutos. Após a agitação as amostras ficaram em repouso por uma hora antes da medição da CE1:2,5. Posteriormente a amostra foi agitada novamente com bastão de vidro e medido o valor do pH1:2,5.

A determinação da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), estimou-se a partir de equação de regressão, desenvolvida pela metodologia do eixo principal reduzido, conforme Menk e Igue (1992), a partir da CE1:2,5 versus CEes de dez amostras de cada tratamento experimental.

Os parâmetros utilizados na avaliação da salinidade do solo foram: o pH, a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e a razão de adsorção de sódio (RAS), obtida pela equação (7) (RICHARDS, 1954; AYERS; WESTCOT, 1999).

$$RAS = \frac{Na^{+}}{\sqrt{(Ca^{2+}+Mg^{2+})/2}} \quad (7)$$

Em que:

RAS = Razão de adsorção de Sódio

Na⁺ = Valor de sódio trocável

Ca²⁺ = Valor de cálcio trocável

Mg²⁺ = Valor de Magnésio trocável

Após a obtenção da CE1:2,5 e pH1:2,5, as amostras ficaram em repouso por 12 horas, em seguida foi coletada alíquota para determinação dos cátions trocáveis (Ca+Mg), que foram extraídos com solução de KCl e quantificados por titulação com EDTA; e Na e K foram determinados por espectrofotometria de chama (EMBRAPA, 1997); para determinação do equivalente de carbonato de cálcio, foram usados 5 g de solo aos quais adicionou-se HCl e

água destilada e se aqueceu em banho-maria por 15 minutos para retirar alíquota, a extração foi realizada com solução de HCl e a quantificação foi realizada com solução de NaOH (EMBRAPA, 1997).

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados qualitativos obtidos no experimento foram submetidos a análise de variância simples, utilizando o teste F com auxílio do software SAEG v. 9.0 (RIBEIRO JUNIOR, 2001). Por se tratar de fatores quantitativos procedeu-se a análise de regressão, onde se testou os coeficientes dos modelos com base no quadrado médio do resíduo da análise de variância, conforme Ribeiro Junior (2001).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS

5.1.1 Relações entre medidas feitas no extrato de saturação e através de diluição 1:2,5

A relação entre a CE1:2,5 e a CEes para os solos estudados esta apresentado na Figura 3, onde pode-se verificar relação linear com alto grau de correlação para os dois solos, com coeficiente angular de 7,979 para o Latossolo e 4,231 para o Cambissolo. Como os coeficientes de determinação foram elevados para os dois solos, foram utilizados as respectivas equações para transformar os valores de CE1:2,5 para a CEes, para todas as parcelas experimentais. Os valores dos coeficientes angulares refletem a razão entre a umidade das suspensões (250%) e a umidade de saturação dos solos.

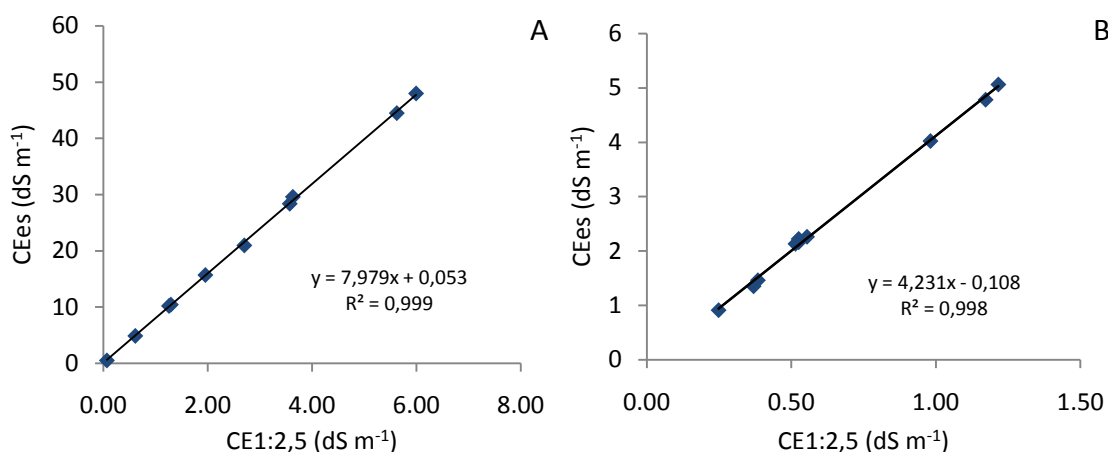


Figura 3 – Relação entre a CE1:2,5 e CEes para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

Os valores para as concentrações de (Ca+Mg)es dos extratos de saturação foram correlacionados com as concentrações de Ca+Mg medidas nos sobrenadantes (Figura 4), verificando relação linear com alto grau de correlação para os dois solos, obtendo-se valores de coeficiente angular de 2,887 para o Latossolo e 2,942 para o Cambissolo. Como os resultados foram satisfatório para os dois solos, foram utilizados as respectivas equações para transformar os valores de (Ca+Mg)1:2,5 para o (Ca+Mg)es, para todas as parcelas experimentais analisadas.

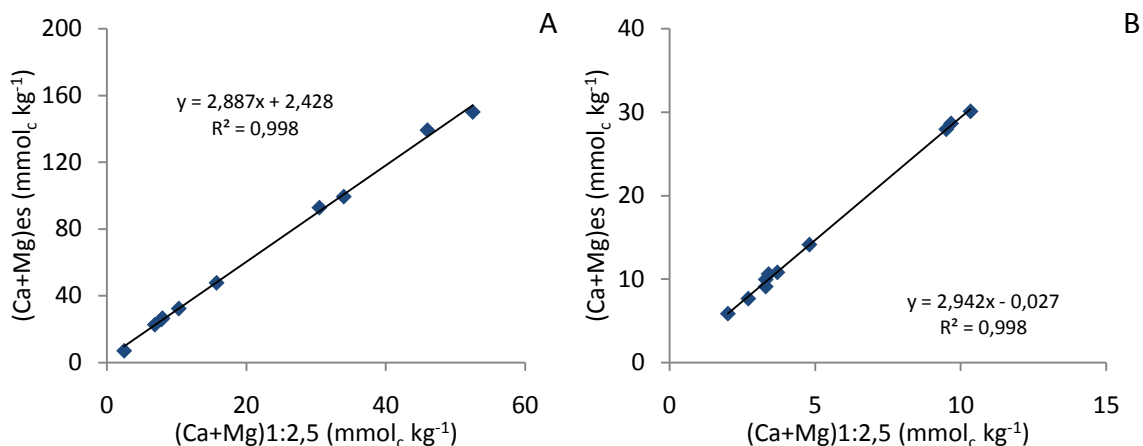


Figura 4 – Relação entre a (Ca+Mg)1:2,5 e (Ca+Mg)es para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

Os valores para as concentrações de Na determinadas no extrato de saturação (Naes) foram correlacionadas com as concentrações de Na medidas na suspensão (Na1:2,5) (Figura 5), verificando relação linear com alto grau de correlação para os dois solos, obtendo-se valores de coeficiente angular de 9,581 para o Latossolo e 3,069 para o Cambissolo. Como os resultados foram satisfatório para os dois solos, foram utilizados as respectivas equações para transformar os valores de Na1:2,5 para o Naes, para todas as parcelas experimentais analisadas.

Verifica-se, nesse caso, coeficiente angular mais próximos dos CEes x CE1:2,5. Os mesmos valores para as relações do Cálcio pode ser explicado, porque o Cálcio solubiliza mais na suspensão, pois o Cálcio se encontra no solo na forma de sais de baixa solubilidade, diferente do Sódio.

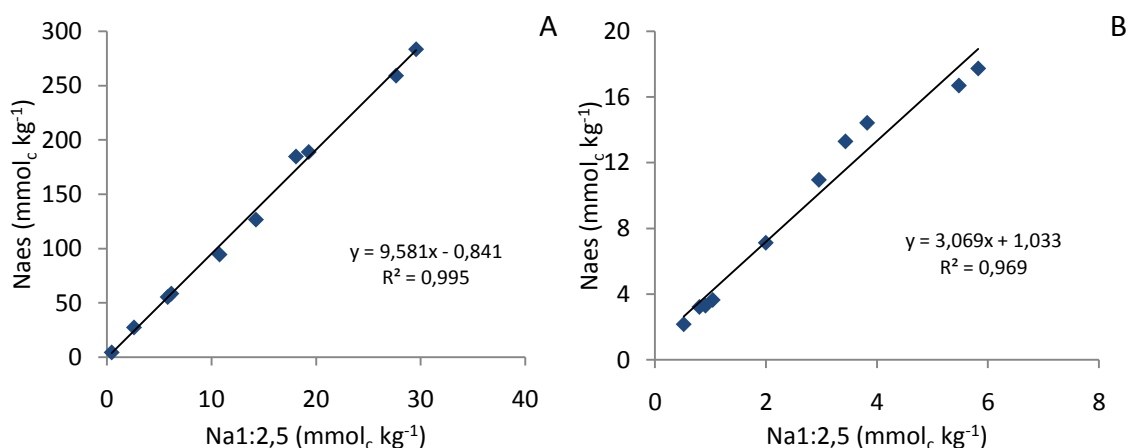


Figura 5 – Relação entre a Na1:2,5 e Naes para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

Da mesma forma foram obtidas relações da RASes através da relação com a RAS 1:2,5 (Figura 6), verificando relação linear com alto grau de correlação para os dois solos, obtendo-se valores de coeficiente angular de 5,496 para o Latossolo e 1,9269 para o Cambissolo. Como os resultados foram satisfatório para os dois solos, foram utilizados as respectivas equações para transformar os valores de RAS1:2,5 para a RASes, para todas as parcelas experimentais analisadas.

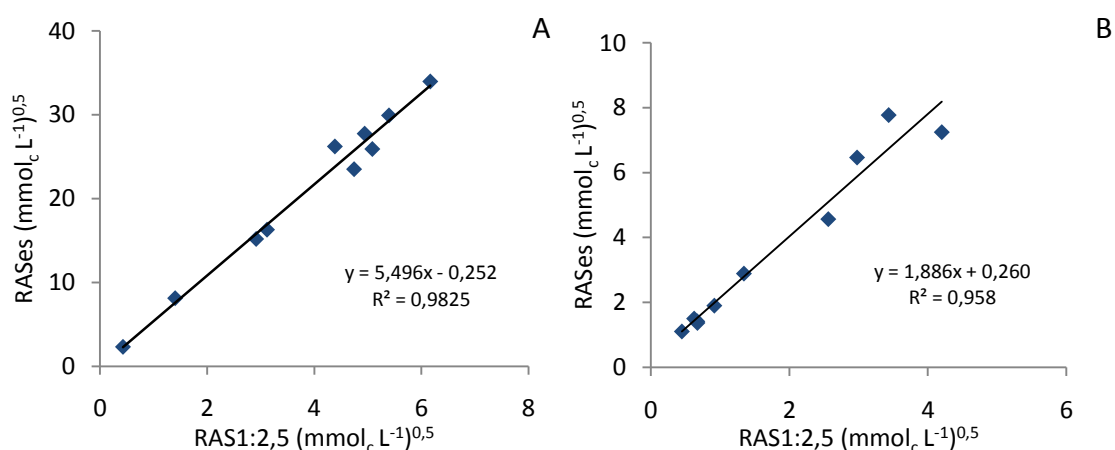


Figura 6 – Relação entre a RAS1:2,5 e RASes para o Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

Os valores das concentrações de K determinadas no extrato de saturação (Kes) foram correlacionados com as concentrações de K medidas na suspensão (K1:2,5) (Figura 7), verificando relação linear com alto grau de correlação para os dois solos, obtendo-se valores de coeficiente angular de 0,953 para o Latossolo e 0,993 para o Cambissolo. Como os resultados foram satisfatório para os dois solos, foram utilizados as respectivas equações para transformar os valores de K1:2,5 para o Kes, para todas as parcelas experimentais.

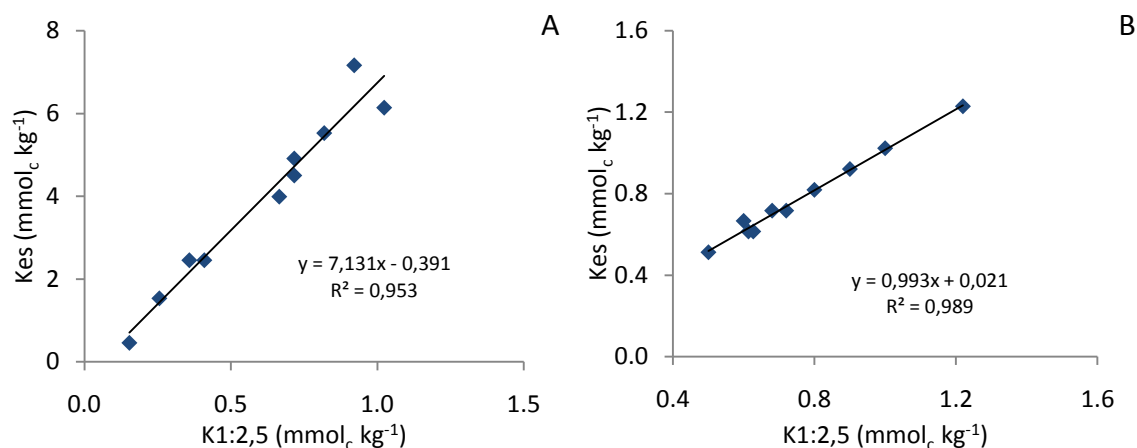


Figura 7 – Relação entre a K1:2,5 e Kes para o Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

5.1.2 Efeitos da lâmina de irrigação nas propriedades químicas do solo

5.1.2.1 Efeito da lâmina de irrigação na CEes

O resumo da análise de variância referente a CEes está apresentado na Tabela 2. Observa-se que houve efeito significativo a 0,01 de probabilidade da lâmina de irrigação com o efeito quadrático significativo para os dois solos no nível de 1% probabilidade.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para os níveis de CEes para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

Fonte de variação	G.L.	Solo	
		Latossolo	Cambissolo
		Estatística F	
Lâminas	6	1108,99**	18,966**
Linear	1	6602,16**	95,863**
Quadrático	1	35,029**	8,533**
Cúbico	1	1,564 ^{ns}	1,844 ^{ns}
Resíduo	21		
Média		18,3546	3,03488
C.V. (%)		5,088	26,341

(**) Significativo a 0,01 de probabilidade, (*) Significativo a 0,05 de probabilidade, (ns) não significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste F.

A salinidade do solo, expressa em condutividade elétrica do extrato de saturação apresentou tendência de crescimento com o aumento da lâmina de irrigação aplicada para ambos os solos, ajustando ao modelo quadrático, com coeficiente de determinação para Latossolo, em torno de 0,997 e 0,917 para o Cambissolo (Figura 8), mas com o Cambissolo tendo uma menor taxa de crescimento da salinidade com o aumento da lâmina de irrigação aplicada.

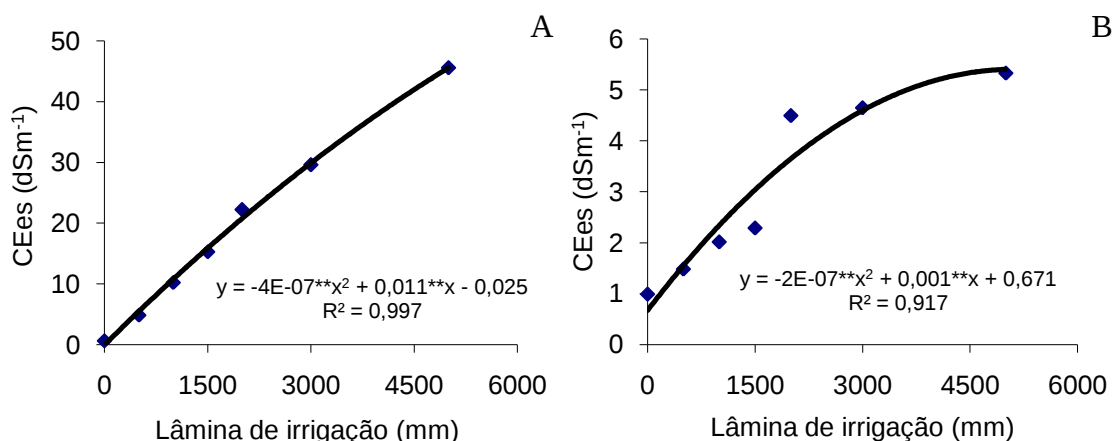


Figura 8 – Valores de CEes com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

Para o Latossolo há valores muito mais elevados para CEes. Isso ocorreu devido a água utilizada para este solo ter CE e os teores de NaCl mais elevados, em comparação a água utilizada para Cambissolo, além do fato de haver uma baixa CTC, fazendo que quase todo NaCl da água fique em solução e não seja adsorvido, ocasionando maior acúmulo de sais no Latossolo, concordando com Santos (1997), que estudando os efeitos de níveis de salinidade de água e de lâminas de irrigação na evolução da salinidade do solo, concluiu que houve acúmulo de sais no solo, sendo diretamente proporcionais aos níveis de CE da água de irrigação utilizada, o mesmo obtido por Garcia et al (2008), ao estudar alterações químicas em dois solos, e Alencar et al. (2003) permitindo estimar essas variáveis em função da CE. Os resultados também concordam com os obtidos por Silva et al. (2006) que estudou os riscos de salinização em solos do Rio Grande do Norte, com o comportamento do incremento de salinidade semelhante em relação aos dois solos estudados (Latossolo e Cambissolo).

5.1.2.2 Efeito da lâmina de irrigação no pH

O resumo da análise de variância referente ao pH está presente na Tabela 3. Observa-se que houve efeito significativo da lâmina de irrigação para ambos os solos, com efeito quadrático significativo a 1% de probabilidade para o Latossolo e para o Cambissolo indica efeito linear significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para os níveis de pH para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

Fonte de variação	G.L.	Solo	
		Latossolo	Cambissolo
		Estatística F	
Lâminas	6	144,185**	31,318**
Linear	1	788,140**	171,271**
Quadrático	1	71,487**	1,300 ^{ns}
Cúbico	1	1,423 ^{ns}	2,519 ^{ns}
Resíduo	21		
Média		5,97821	7,23286
C.V. (%)		3,346	1,1319

(**) Significativo a 0,01 de probabilidade, (*) Significativo a 0,05 de probabilidade, (ns) não significativo a 0,05 de probabilidade teste F.

No início do experimento, o pH do solo arenoso é mais baixo, pois por ser um Latossolo é bastante intemperizado, fato diferente para o Cambissolo, que tem menor grau evolutivo, tendendo a neutralidade. Com a irrigação com as águas salinas, observa-se um aumento no pH em ambos os solos, com incremento maior para o Latossolo, sobretudo para o incremento das menores lâminas, tendendo a uma estabilização, sendo que o melhor ajuste dos dados foi para o modelo quadrático, com coeficiente de determinação para o Latossolo de 0,993, enquanto no Cambissolo, o pH tende a crescer linearmente com o incremento de lâmina de irrigação, ajustando-se ao modelo linear, com coeficiente de determinação de 0,911 (Figura 9).

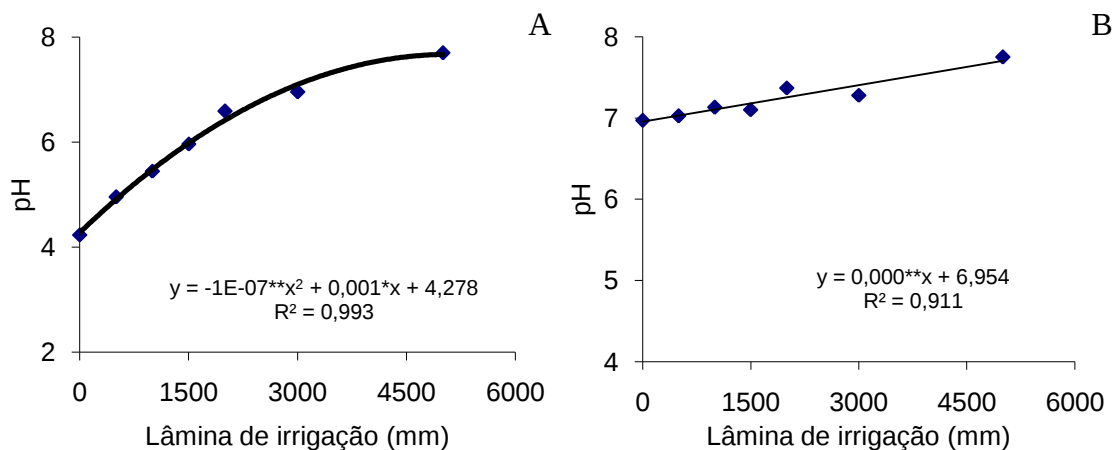


Figura 9 – Valores de pH com o aumento da lâmina de irrigação aplicada para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

Na última lâmina aplicada, o valor do pH para o Latossolo chega a ser semelhante ao Cambissolo, isso ocorre devido a água utilizada ter maior salinidade, no qual resulta em um incremento maior e também pelo tipo de solo, já que o Latossolo tem tendência a aumentar o pH, em comparação ao Cambissolo, como verificado por Silva et al (2006), pois este solo tem menor poder tampão.

Paiva et al. (2004) constataram aumentos no pH do solo, quando o mesmo foi irrigado com águas mais salinas. Nesses casos, a elevação do pH se deve à utilização de águas da região, que apresentam concentração elevada de Ca^{2+} e HCO_3^- , levando à formação de $CaCO_3$ no solo, aumentando o seu pH. O mesmo também foi verificado por Porto Filho (2003) em área cultivada com melão irrigado com águas salinas da região, em um Latossolo Vermelho, similar a um dos solos deste estudo.

5.1.2.3 Efeito da lâmina de irrigação nos teores de (Ca+Mg)es

O resumo da análise de variância referente aos teores de (Ca+Mg)es está na Tabela 4. Observa-se que houve efeito significativo da lâmina a 1% de probabilidade para ambos os solos, sendo significativo o efeito cúbico e quadrático a 1% de probabilidade. Como o modelo quadrático explica mais de 88% as variações de (Ca+Mg)es, será discutido o modelo quadrático.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para os níveis de (Ca+Mg)es para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

Fonte de variação	G.L.	Solo	
		Latossolo	Cambissolo
		Estatística F	
Lâminas	6	462,025**	110,99**
Linear	1	2689,269**	518,491**
Quadrático	1	9,477**	68,924**
Cúbico	1	50,553**	21,426**
Resíduo	21		
Média		53,39386	18,39903
C.V. (%)		8,309	9,761

(**) Significativo a 0,01 de probabilidade, (*) Significativo a 0,05 de probabilidade, (ns) não significativo a 0,05 de probabilidade teste F.

O aumento da lâmina de irrigação com água salina proporcionam crescimento da concentração de Ca+Mg na solução do solo segundo modelo quadrático em ambos os solos estudados, embora os comportamentos das curvas sejam diferentes. No Latossolo, os teores desses elementos aumentaram em função do aumento das lâminas de irrigação, com coeficiente de determinação de 0,973, resultado semelhante foi encontrado por Garcia et al (2008), que também estudou os efeitos de água salina em um Latossolo no Espírito Santo, porém, no Cambissolo, os teores de Ca+Mg diminuí sua taxa de crescimento com o aumento da lâmina, apresentando uma concentração máxima com uma lâmina de aproximadamente 4000 mm (Figura 10).

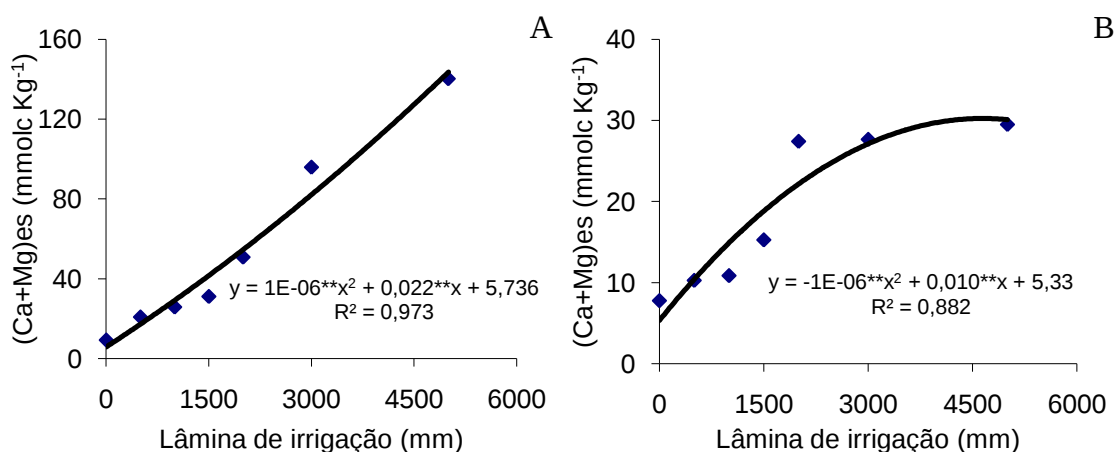


Figura 10 – Valores de (Ca+Mg)es com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

Considerando o Cálcio, é importante, pois anula o efeito do Na^+ , mas pode ser prejudicial por causar desbalanceamento com o K^+ , pois o Ca^{2+} é um elemento floculante, e ter força eletrostática superior aos cátions monovalentes, força esta superior à força de hidratação, que causa o distanciamento das placas de argilas ou expansão da dupla camada difusa (DCD) por íons superiores em raio iônico hidratado (LIMA, 1997). É importante conhecer os valores das relações do íon Ca^{2+} com os íons Mg^{2+} e Na^+ da água de irrigação para que se preveja a provável condição de dispersão ou floculação dos solos.

Por isso, para os tipos de solos estudados é grande a probabilidade de ocorrer alcalinização e não sodificação dos solos irrigados com estas águas. A alcalinização dos solos pode induzir a dispersão das argilas por precipitar Al^{3+} e assim permitir que cátions com menor valência em relação ao Al^{3+} passem a dominar o complexo de troca do solo, favorecendo a expansão da DCD (JUCKSCH, 1987). Como conseqüências têm-se indisponibilidade dos nutrientes Fe, B, Cu, Zn, N, S e P, elevação de densidade global, redução da macroporosidade, porosidade total, armazenamento de água, aeração, condutividade hidráulica e permeabilidade do solo. Esses problemas se intensificam com a baixa pluviometria da região semi-árida que dificulta a lixiviação natural de parte dos sais.

5.1.2.4 Efeito da lâmina de irrigação nos teores de Naes

O resumo da análise de variância para os teores de Naes está presentes na Tabela 5. Observa-se que houve efeito altamente significativo da lâmina de irrigação para ambos os solos. Para o Latossolo o efeito cúbico ainda foi significativo a 5% de probabilidade, embora o efeito quadrático já explique 99% as variações das concentrações de Naes, enquanto no Cambissolo houve efeito linear.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para os níveis de Naes para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

Fonte de variação	G.L.	Solo	
		Latossolo	Cambissolo
		Estatística F	
Lâminas	6	414,736**	38,917**
Linear	1	2436,549**	226,445**
Quadrático	1	30,045**	1,426 ^{ns}
Cúbico	1	6,959*	2,191 ^{ns}
Resíduo	21		
Média		111,05171	6,94571
C.V. (%)		8,466	22,553

(**) Significativo a 0,01 de probabilidade, (*) Significativo a 0,05 de probabilidade, (ns) não significativo a 0,05 de probabilidade teste F.

Observando os teores de Na para os dois solos, observa-se que o aumento da lâmina de irrigação e, conseqüentemente, da salinidade do solo, aumentou linearmente a concentração desse íon no solo, sendo assim, o aumento pode ser atribuído à característica das águas salinas utilizadas nas irrigações, pois as mesmas possuíam íons de Na⁺ na sua composição e este elemento ter alta solubilidade e ser menos adsorvido fica mais presente na solução do solo. Para o Latossolo, observa-se um coeficiente de determinação de 0,991 e para o Cambissolo de 0,969 (Figura 11). Resultados semelhantes a essas tendências foram encontrados por Garcia et al (2008), que estudou alterações químicas em dois solos irrigados com água salina e Almeida e Gisbert (2003), estudando o efeito da utilização de água de drenagem em diferentes frações de lixiviação em um solo de textura argilosa, encontraram resultados semelhantes.

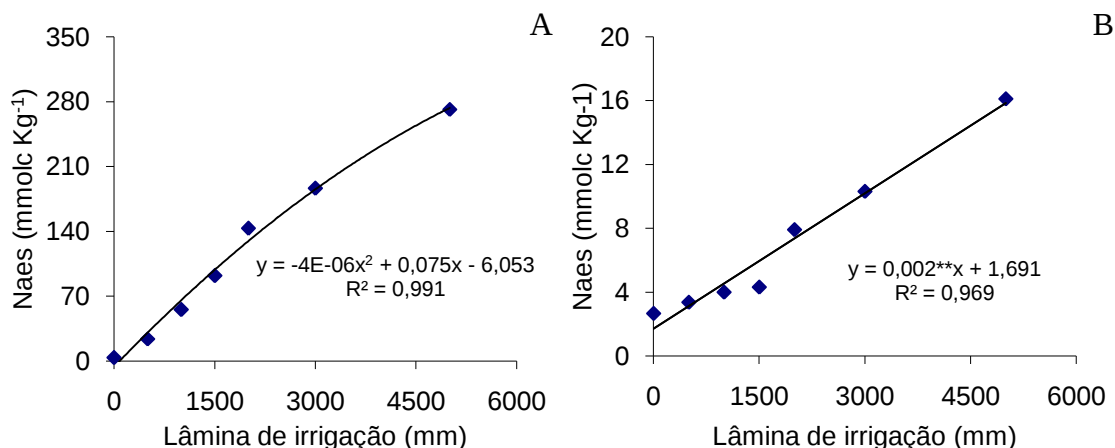


Figura 11 – Valores de Naes com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

A tendência de maior salinidade da água de irrigação para o Latossolo, diminui o efeito dispersante do sódio, segundo Andrade Júnior et al, (2006) que observou a atuação dos sais no solo de maneira oposta ao sódio, ou seja, os sais presentes na solução do solo têm efeito flocculante, aumentando a infiltração e reduzindo o risco de sodificação, mesmo com um crescimento linear dos teores de Na, evidenciado para os dois solos.

Na região deste estudo, há predominância de águas cloretadas-sódicas com valores superiores de CE, sendo assim, Maia, Morais e Oliveira (1998a,b) observam tendências na classificação das águas e avaliação do risco de sodificação dos solos na Chapada do Apodi e Baixo Açu (RN), utilizando as metodologias de cálculo da RAS. Segundo os autores, quanto maior a CE da água menor o número de águas que passavam de uma classe de menor para maior risco de sodicidade. Verifica-se, portanto, que os maiores riscos do uso dessas águas estão relacionados à salinidade e alcalinidade e não à sodicidade.

5.1.2.5 Efeito da lâmina de irrigação nos valores de RASes

O resumo da análise de variância referente aos teores de RASes estão na Tabela 6. Observa-se que houve efeito altamente significativo da lâmina de irrigação para ambos os solos. Para o Latossolo o efeito cúbico ainda foi significativo a 1% de probabilidade, embora o efeito quadrático já explique 95% as variações das concentrações de RASes, enquanto no Cambissolo houve efeito linear a 1% de probabilidade.

Tabela 6. Resumo da análise de variância para os níveis de RASes para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

Fonte de variação	G.L.	Solo	
		Latossolo	Cambissolo
		Estatística F	
Lâminas	6	121,458**	38,161**
Linear	1	535,622**	222,222**
Quadrático	1	152,862**	3,086 ^{ns}
Cúbico	1	15,792**	0,795 ^{ns}
Resíduo	21		
Média		19,4799	2,11933
C.V. (%)		10,375	17,897

(**) Significativo a 0,01 de probabilidade, (*) Significativo a 0,05 de probabilidade, (ns) não significativo a 0,05 de probabilidade teste F.

Observaram-se valores crescentes da RAS com a aplicação das águas de irrigação nos dois os solos, com diferenças entre os dois solos estudados. Observa-se que para o Latossolo, a RAS cresce com a lâmina de irrigação aplicada, mais significativa até 2000 mm, atingindo o máximo, com coeficiente de determinação de 0,944, enquanto no solo argiloso, a RAS cresce de forma linear, ou seja, seu incremento aumenta, conforme o aumento da lâmina, com coeficiente de determinação de 0,970 (Figura 12), discordando de Silva et al. (2006), que encontrou um crescimento semelhante para os dois solos.

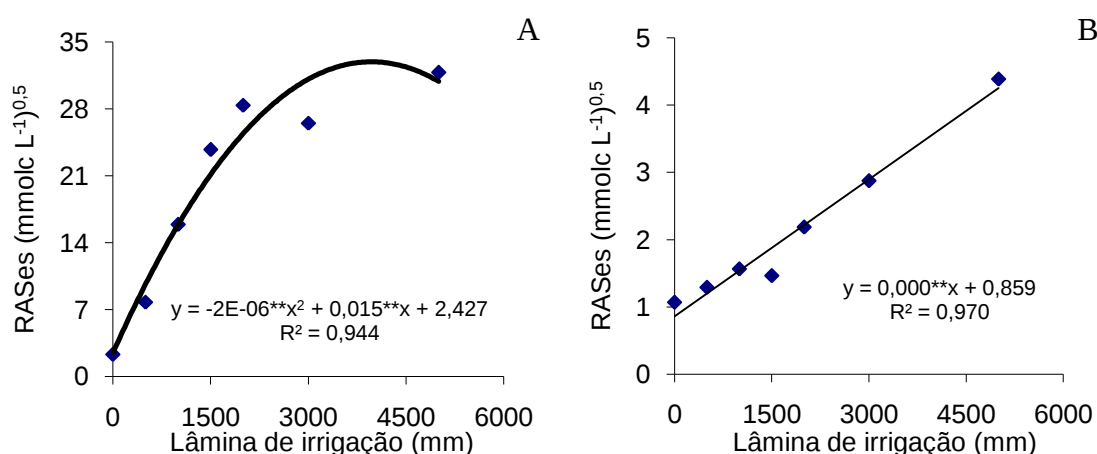


Figura 12 – Valores de RASes com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

O uso de água de alta CE promoveu elevação na relação de adsorção de sódio (RAS) em ambos os solos, sendo o crescimento mais acentuado no Latossolo que no Cambissolo, devido maior RAS e concentração total de íons. Ressalta, ainda, que este aumento da RAS ocorre em função dos elevados teores de Na^+ na solução desses solos em relação aos outros cátions. A presença de Na^+ pode promover dispersão dos colóides presentes nos solos e sua conseqüente movimentação no perfil, obstruindo poros e dificultando a condução de ar e água e degradação das propriedades físicas dos solos (FREIRE et al., 2003), além dos efeitos tóxicos no desenvolvimento de plantas, limitando o aproveitamento agrícola de áreas afetadas por sais de Na^+ .

5.1.2.6 Efeito da lâmina de irrigação nos teores de Kes

O resumo dos resultados da análise de variância referente aos teores de Kes estão presentes na Tabela 7. Observa-se efeitos significativos da lâmina de irrigação para ambos os solos, apresentando efeito quadrático para o Latossolo e cúbico para o Cambissolo.

Tabela 7. Resumo da análise de variância para os níveis de Kes para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

Fonte de variação	G.L.	Solo	
		Latossolo	Cambissolo
		Estatística F	
Lâminas	6	76,204**	12,227**
Linear	1	412,471**	0,527 ^{ns}
Quadrático	1	36,649**	28,792**
Cúbico	1	1,569 ^{ns}	24,637**
Resíduo	21		
Média		3,58876	0,47086
C.V. (%)		14,363	16,254

(**) Significativo a 0,01 de probabilidade, (*) Significativo a 0,05 de probabilidade, (ns) não significativo a 0,05 de probabilidade teste F.

Observa-se, para o Latossolo, que o K cresce com a lâmina de irrigação aplicada, estabilizando seus valores a partir de 4500 mm apresentando um coeficiente de determinação de 0,982, enquanto para o Cambissolo, os teores de K apresentaram uma relação cúbica com o aumento da lâmina de irrigação, apresentando uma queda na lâmina de 500 mm e uma

tendência de crescimento a partir dessa lâmina, com coeficiente de determinação de 0,735 (Figura 13).

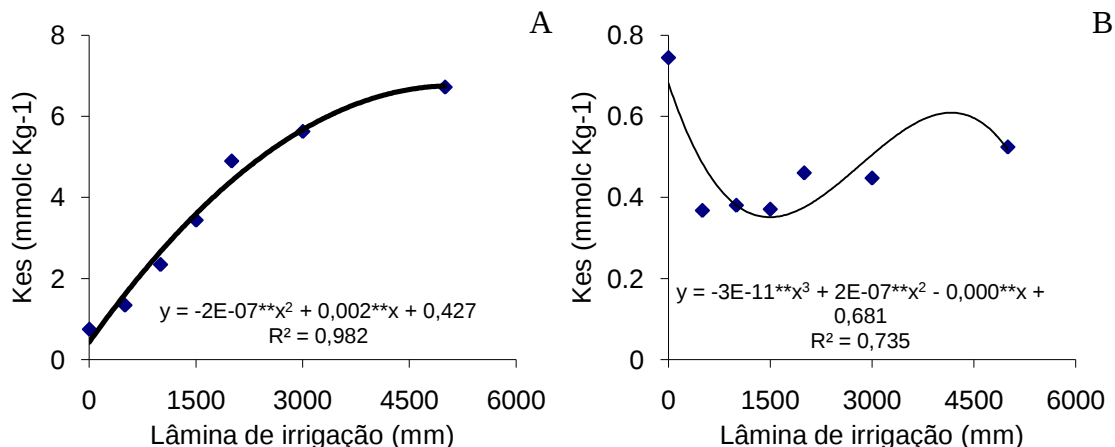


Figura 13 – Valores de Kes com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

Os teores de K causam acumulação e conseqüentemente maior disponibilidade para o solo, esses resultados divergem dos obtidos por Garcia et al (2008) e Freitas et al (2007), que estudaram as alterações químicas de dois solos com água salina, entre eles um Latossolo, semelhante ao utilizado nesse experimento, e observaram que os níveis de K não foram afetados com o aumento dos níveis de salinidade no solo.

Para o Cambissolo observa-se uma decréscimo acentuado nas concentrações de K na lâmina de irrigação mais baixa, essa situação pode ser explicada por Hansel et al, (2009) que evidenciou a capacidade do K de fixar-se nas partículas do solo, que desta forma explicaria em parte o comportamento inesperado observado, e também devido a sua capacidade de ser deslocado por outros cátions bivalentes ou monovalentes. Muitos minerais em meio argiloso, têm uma grande capacidade de fixar o potássio por substituição isomórfica. Esse fenômeno é importante ao longo do tempo, com a incorporação do potássio na formação de minerais secundários.

Outro acontecimento que pode explicar essa queda nos teores de K no Cambissolo, após as primeiras irrigações, é a lixiviação do potássio, segundo Wadt e Wadt (1999), variações nas características eletroquímicas dos colóides do solo, como aquela decorrente da nuvem de prótons em torno das substâncias húmicas, poderiam diminuir a aproximação do cátion com o solo e facilitar sua lixiviação, e também poderiam lixiviar mesmo na presença de ânions que formem ligações fracas, como cloretos e sulfatos.

5.1.2.7 Efeito da lâmina de irrigação nos teores de CaCO_3

O resumo dos resultados da análise de variância referente a CaCO_3 estão presentes na Tabela 8. Observa-se efeitos significativos das lâminas para ambos os solos, com efeito quadrático no nível de 5% de probabilidade e 1% de probabilidade, respectivamente, para o Latossolo e Cambissolo.

Tabela 8. Resumo da análise de variância para os níveis de CaCO_3 para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

Fonte de variação	G.L.	Solo	
		Latossolo	Cambissolo
		Estatística F	
Lâminas	6	26,068**	18,865**
Linear	1	130,838**	57,786**
Quadrático	1	6,295*	26,790**
Cúbico	1	1,329 ^{ns}	3,219 ^{ns}
Resíduo	21		
Média		0,9248	0,91127
C.V. (%)		10,663	26,087

(**) Significativo a 0,01 de probabilidade, (*) Significativo a 0,05 de probabilidade, (ns) não significativo a 0,05 de probabilidade teste F.

Os teores de CaCO_3 apresentaram uma relação quadrática nos solos estudados, sendo que para o Latossolo, observa-se um aumento até a maior lâmina estudada, com coeficiente de determinação de 0,876; para o Cambissolo, observa-se um crescimento até a lâmina de 3500 mm, a partir do qual tende a ser um valor acumulado de CaCO_3 .

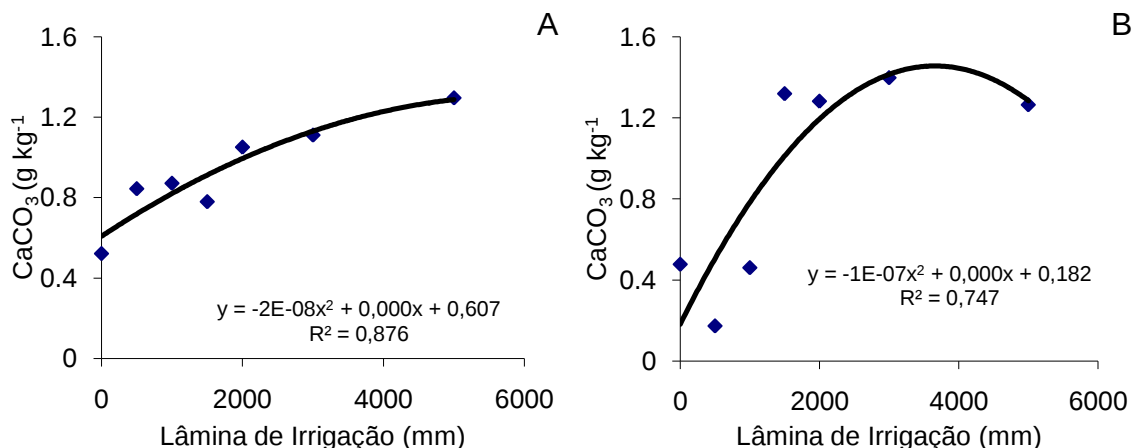


Figura 14 – Valores de CaCO₃ com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

Os teores relativamente mais elevados de CaCO₃ no Latossolo, podem ser explicados por ter sido irrigados anteriormente com água rica em Ca e HCO₃. A principal implicação dessa quantidade de carbonato e bicarbonato aplicado no solo pode ser, por exemplo, uma precipitação de micronutrientes pelo aumento do pH do solo, sendo que, é difícil prever a elevação do pH dos solos com base na quantidade de Ca²⁺ adicionado, pois a reação depende do poder tampão de cada solo. Pode-se, entretanto, construir curvas de incubação de cada solo com doses crescentes da água subterrânea. Esta simulação da alteração do pH do solo devido ao uso contínuo de diferentes níveis de água de irrigação ainda é dificultada devido ao manejo diferenciados que influenciam as variações de umidade do solo e o balanço de nutrientes em função da diversificação dos cultivos. Ao estabelecer-se a relação entre HCO₃³⁻ e Ca²⁺ pode-se analisar empiricamente a disponibilidade do cátion para a formação do carbonato de cálcio e conseqüente precipitação, bem como a disponibilidade do ânion para se associar a outros cátions, como por exemplo o sódio.

Observou-se um efeito diretamente proporcional dos teores de carbonato de cálcio e K, estabelecendo-se, provavelmente, uma relação, contrariando os resultados de Wadt e Wadt (1999), que observaram que a aplicação das fontes de cálcio apresentou efeito pequeno sobre os teores de K⁺ trocável.

5.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO

5.2.1 Efeito da lâmina de irrigação na densidade do solo (ds)

O resumo dos resultados da análise de variância referente a densidade do solo estão presentes na Tabela 9. Observa-se que os resultados do teste F para Latossolo e Cambissolo, indicam um modelo quadrático para ambos os solos a 1% de probabilidade.

Tabela 9. Resumo da análise de variância para os níveis de ds para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

Fonte de variação	G.L.	Solo	
		Latossolo	Cambissolo
		Estatística F	
Lâminas	6	2,92*	30,68**
Linear	1	0,135 ^{ns}	127,731**
Quadrático	1	9,649**	42,141**
Cúbico	1	1,217 ^{ns}	0,010 ^{ns}
Resíduo	21		
Média		1,52854	1,01654
C.V. (%)		2,004	2,771

(**) Significativo a 0,01 de probabilidade, (*) Significativo a 0,05 de probabilidade, (ns) não significativo a 0,05 de probabilidade teste F.

A densidade do solo apresentou comportamento quadrático, para a lâmina de irrigação aplicada, para ambos os solos, mas de maneira distinta. Enquanto no Latossolo houve uma maior taxa de crescimento para o incremento inicial da lâmina de irrigação atingindo a máxima densidade com a aplicação de 3000 mm de água, no Cambissolo houve aumento da densidade apenas a partir da aplicação de 2000 mm de água, onde a densidade passou de cerca de 0,97 para 1,20 na lâmina de 5000 mm. Considerando o modelo ajustado no Latossolo a densidade cresceu de 1,50 para um máximo de 1,56, enquanto no Cambissolo, cresceu de 0,97 para 1,20 (Figura 15).

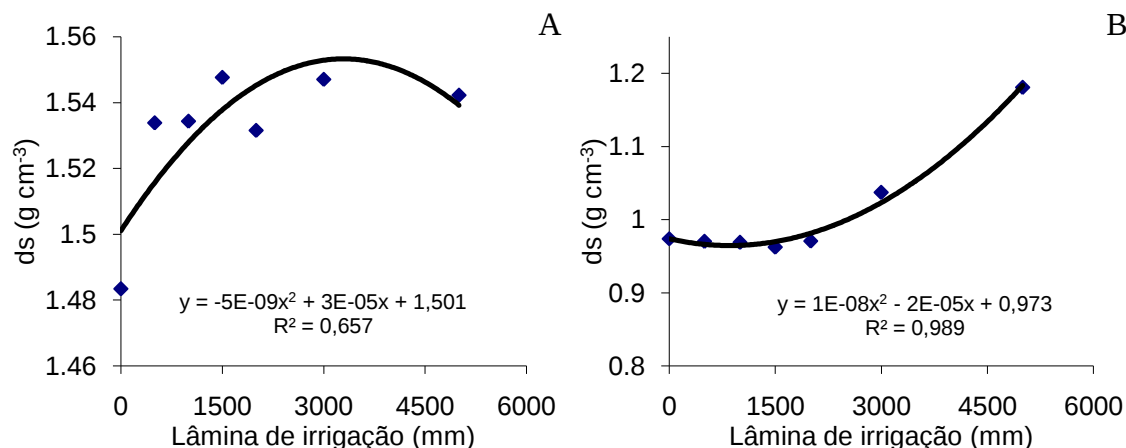


Figura 15 – Valores de ds com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

No caso do Cambissolo, pode ser devido a sua textura mais argilosa e expansiva, que embora o solo inicialmente tenha sido depositado nas bandejas para ficar na densidade como coletado no campo, ao ser umedecido sofreu expansão diminuindo sua densidade. Com a infiltração da água de irrigação foi compactando o solo, associado aos sais adicionados através da água que pelo efeito flocculante agregou as partículas menores do solo, adensando também mais o solo. Vale salientar também, que esses solos, quando cultivados por muito tempo sob mecanização pode compactar atingindo densidade de 1,35.

A densidade do solo tem grande importância na determinação dos atributos físicos do solo, com relação ao aumento da salinidade, segundo Beutler et al (2002), a densidade do solo é o atributo que tem maior influência na retenção de água, principalmente para o Latossolo, no qual esses autores estudaram. Isso explica a correlação positiva do crescimento da densidade do solo com o decréscimo da água disponível total. E também o aumento da densidade evidenciado nesse trabalho afeta os parâmetros da curva de retenção de Van Genuchten. Segundo Tormena e Silva (2002), a inserção da densidade do solo nos parâmetros das funções utilizadas para ajustar os dados de tensão permitiu explicar acima de 85% da variabilidade das tensões, que podemos observar na grande variabilidade dos parâmetros da equação de Van Genuchten, principalmente no valor de n. Esta abordagem também pode ser utilizada com outras propriedades do solo, por meio de relações funcionais destas com os parâmetros dos modelos utilizados para descrever a curva de retenção.

5.2.2 Efeito da lâmina de irrigação na água disponível total (ADT)

O resumo da análise de variância referente a ADT está na Tabela 6. Observa-se que houve efeito altamente significativo da lâmina de irrigação para ambos os solos. Para o Latossolo o efeito linear foi significativo a 1% de probabilidade, enquanto no Cambissolo houve efeito quadrático a 1% de probabilidade.

Tabela 10. Resumo da análise de variância para os níveis de ADT para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

Fonte de variação	G.L.	Solo	
		Latossolo	Cambissolo
		Estatística F	
Lâminas	6	11,918**	20,944**
Linear	1	54,360**	45,512**
Quadrático	1	2,097 ^{ns}	13,242**
Cúbico	1	0,006 ^{ns}	1,661 ^{ns}
Resíduo	21		
Média		0.32873	0,467329
C.V. (%)		5,668	2,111

(**) Significativo a 0,01 de probabilidade, (*) Significativo a 0,05 de probabilidade, (ns) não significativo a 0,05 de probabilidade teste F.

A água disponível dos solos estudados apresentaram um decréscimo com o uso de lâminas crescentes de irrigação. Para o Latossolo, observa-se um decréscimo linear com coeficiente de determinação de 0,760, enquanto para o Cambissolo, a tendência é quadrática, chegando a um mínimo na lâmina de 4000 mm, tendendo a uma estabilização até 5000 mm, com coeficiente de determinação de 0,886 (Figura 16).

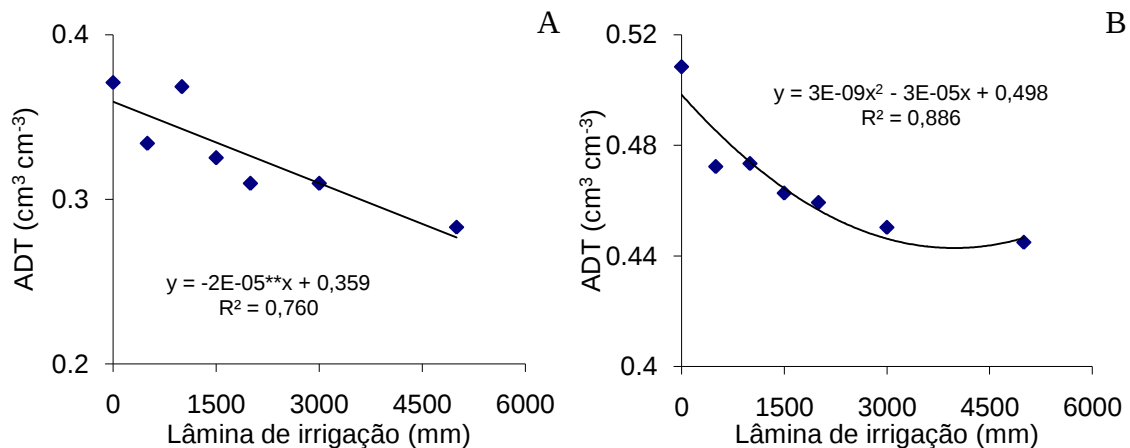


Figura 16 – Valores de ADT com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

Os valores encontrados são superiores aos normalmente encontrados para esse parâmetro para os dois solos estudados, que comparando os valores com Barreto e Medeiros (2011) que trabalhou com um Argissolo, que apresenta classificação intermediária aos dois solos estudados, apresentou valores inferiores aos apresentados, mesmo trabalhando com solos cultivados por plantio direto, mostrando que a metodologia desse experimento deve ser considerada para o estudo, devido ser uma simulação. Utilizando também outras metodologias para a obtenção da curva de retenção, Klein, Reichert e Reinert (2006), também encontraram valores inferiores, utilizando Latossolo.

Para os dois solos, ficou evidente a diminuição da água disponível total, esse fato pode ser explicado por Portela, Libardi e Lier (2001), que estudou a retenção da água no ecossistema tabuleiros costeiros, que afirmaram que esse fato pode ter relação com o aumento da densidade do solo, evidenciados também nesse trabalho. Os conteúdos de água encontrados no Cambissolo superaram aos do Latossolo, realçando a importância da fração argila na retenção de água pelo solo, evidenciado por Arruda, Zullo e Oliveira (1987).

5.2.3 Efeito da lâmina de irrigação na microporosidade

O resumo da análise de variância referente a microporosidade está na Tabela 11. Observa-se que os resultados foram altamente significativos. Para Latossolo e Cambissolo, indicam um modelo quadrático a um nível de 1% probabilidade.

Tabela 11. Resumo da análise de variância para os níveis de microporosidade para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

Fonte de variação	G.L.	Solo	
		Latossolo	Cambissolo
		Estatística F	
Lâminas	6	38,406**	14,074**
Linear	1	95,576**	18,877**
Quadrático	1	77,134**	20,352**
Cúbico	1	1,888 ^{ns}	0,558 ^{ns}
Resíduo	21		
Média		0,24272	0,459714
C.V. (%)		3,471	3,246

(**) Significativo a 0,01 de probabilidade, (*) Significativo a 0,05 de probabilidade, (ns) não significativo a 0,05 de probabilidade teste F.

A microporosidade do solo apresentou comportamentos diferentes em relação aos dois solos estudados. O aumento da lâmina de irrigação, para o Latossolo, a microporosidade teve uma queda de tendência quadrática, apresentando um mínimo na lâmina de 4000 mm e tendendo a uma estabilização até a lâmina de 5000 mm, com coeficiente de determinação de 0,888; para o Cambissolo, observa-se um crescimento até a lâmina de 4000 mm e tende a uma estabilização até a lâmina de 5000 mm, apresentando coeficiente de determinação de 0,839 (Figura 17).

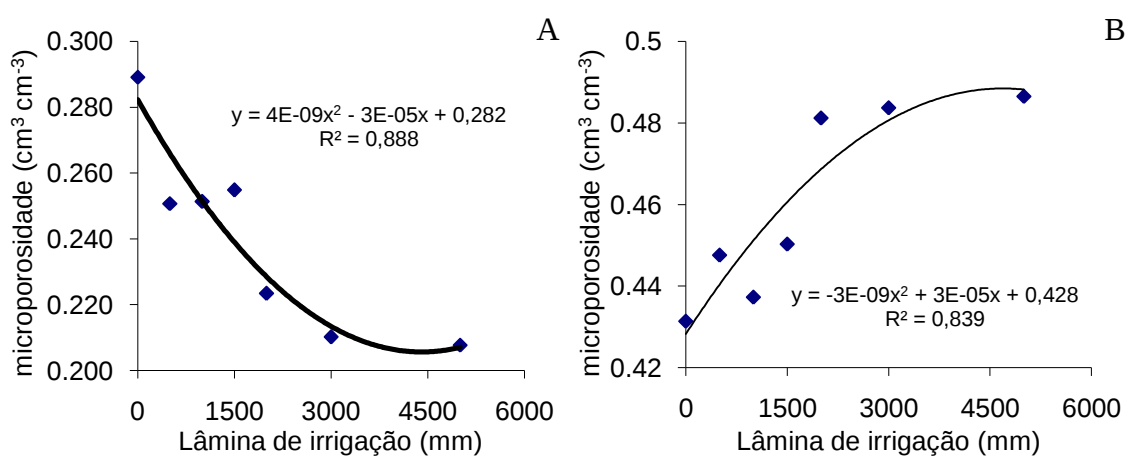


Figura 17 – Valores de microporosidade com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

Os valores de microporosidade se assemelham aos valores obtidos pela umidade no ponto de inflexão da curva de retenção, principalmente para o Latossolo, enquanto no Cambissolo, esse comportamento é diferente, sendo que o mais indicado de se adotar como valor da umidade na capacidade de campo são os obtidos pelo método direto e de laboratório na tensão de 60 cm.c.a., segundo o proposto por Dardengo et al (2003).

5.2.4 Efeito da lâmina de irrigação na macroporosidade

O resumo da análise de variância referente a macroporosidade está na Tabela 12. Observa-se que os resultados foram altamente significativos. Para Latossolo, o modelo linear é indicado a 1% de probabilidade. E para o Cambissolo, indicam um modelo quadrático a 1% probabilidade.

Tabela 12. Resumo da análise de variância para os níveis de macroporosidade para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

Fonte de variação	G.L.	Solo	
		Latossolo	Cambissolo
		Estatística F	
Lâminas	6	10,1**	14,074**
Linear	1	44,183**	18,877**
Quadrático	1	2,510 ^{ns}	20,352**
Cúbico	1	0,473 ^{ns}	0,558 ^{ns}
Resíduo	21		
Média		0,13736	0,459714
C.V. (%)		5,703	3,246

(**) Significativo a 0,01 de probabilidade, (*) Significativo a 0,05 de probabilidade, (ns) não significativo a 0,05 de probabilidade teste F.

O comportamento da macroporosidade apresentou uma tendência linear decrescente para o Latossolo, com coeficiente de determinação de 0,728 e para o Cambissolo, observa-se uma tendência quadrática, chegando a um mínimo na lâmina de 4000 mm e tendendo a uma estabilização até a lâmina de 5000 mm, com coeficiente de determinação de 0,961 (Figura 18).

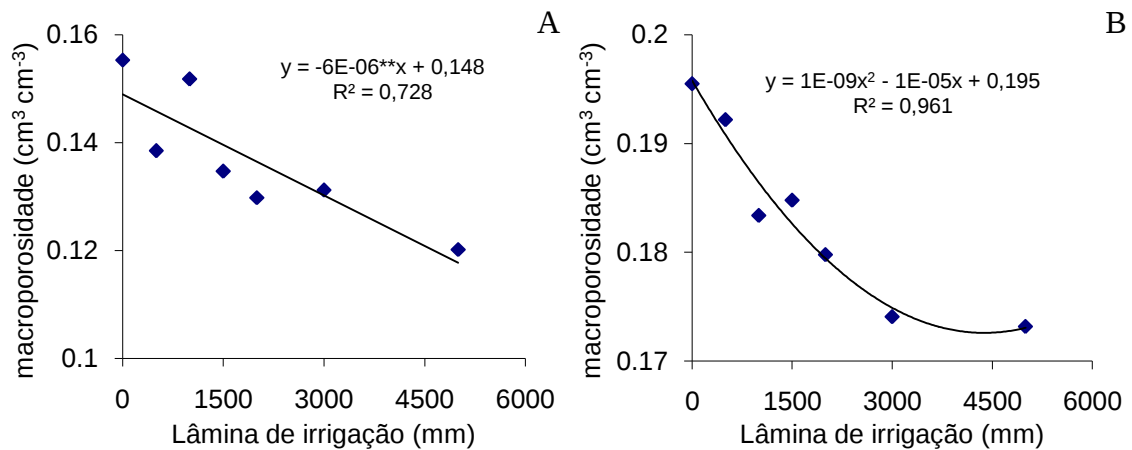


Figura 18 – Valores de macroporosidade com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

A diminuição da macroporosidade tem relação com o aumento da densidade do solo, esse fato é explicado por Portela, Libardi e Lier (2001), que estudaram a retenção da água em solo sob diferentes usos no ecossistema tabuleiros costeiros. Esses autores mostraram a relação entre o aumento da densidade com a diminuição da porosidade total, evidenciado pela redução da macroporosidade.

5.2.5 Efeito da lâmina de irrigação no ponto de murcha permanente (pmp)

O resumo da análise de variância referente ao ponto de murcha permanente são observados na Tabela 13. Os resultados foram altamente significativos. Para Latossolo indicam um modelo quadrático a 1% de probabilidade, enquanto para o Cambissolo, indicam um modelo quadrático a 5% probabilidade.

Tabela 13. Resumo da análise de variância para os níveis de PMP para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

Fonte de variação	G.L.	Solo	
		Latossolo	Cambissolo
		Estatística F	
Lâminas	6	6,0514**	4,418**
Linear	1	3,246 ^{ns}	17,308**
Quadrático	1	11,097**	5,252*
Cúbico	1	0,232 ^{ns}	0,192 ^{ns}
Resíduo	21		
Média		0,08127	0,15607
C.V. (%)		11,693	4,628

(**) Significativo a 0,01 de probabilidade, (*) Significativo a 0,05 de probabilidade, (ns) não significativo a 0,05 de probabilidade teste F.

Os valores de ponto de murcha permanente se apresentaram de maneira distinta para cada solo estudado. Para o Latossolo, observa-se um crescimento, com um aumento da lâmina, tendendo a crescer com o uso de lâminas superiores a 5000 mm, enquanto para o Cambissolo, observa-se um decréscimo até a lâmina de 4000 mm e tendência de estabilização até a lâmina de 5000 mm. Os resultados apresentaram coeficiente de determinação de 0,973 e 0,852 para Latossolo e Cambissolo, respectivamente (Figura 19).

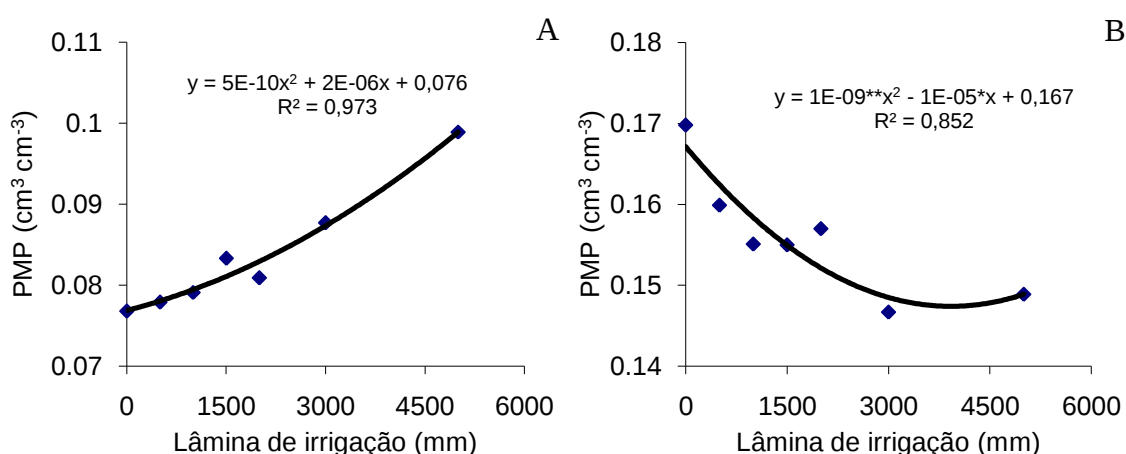


Figura 19 – Valores de PMP com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

Os valores de PMP se assemelham ao valor de θ_r , pois este valor é uma comparação ao teor de água em equilíbrio com a tensão de 15.000 cm.c.a., conforme indicado por Assouline, Tessier e Bruand (1998). Nesse processo de otimização, os resultados de θ_r ficaram relativamente próximos de 15.000 cm.c.a., inclusive sua tendência de crescimento quadrático para o Latossolo e decréscimo quadrático para o Cambissolo, esses resultados são semelhantes aos obtidos por Silva et al (2006), que estudaram valores de tensão na determinação da curva de retenção em Latossolos do Cerrado.

Aparentemente há superestimação dos dados obtidos, isso é reflexo da dificuldade em se obter valores de tensão em laboratório, pois geralmente as amostras não estão expostas as condições climáticas reais e no meio vegetal natural em que está inserido o solo. Quanto a esses fatores Klein, Reichert e Reinert (2006), utilizando o método WP4, para estimativa da água disponível no solo permitiu adequada estimativa do ponto de murcha permanente e disponibilidade hídrica às plantas, em solo argiloso, sendo que esses autores determinaram que a estimativa do PMP e CC foi significativamente menor no método fisiológico que o determinado nas câmaras de Richards.

5.3 CURVAS DE RETENÇÃO

5.3.1 Efeito da lâmina de irrigação nas curvas de retenção

As curvas de retenção obtidas para o Latossolo estão presentes na Figura 20, para as diferentes lâminas de irrigação aplicadas.

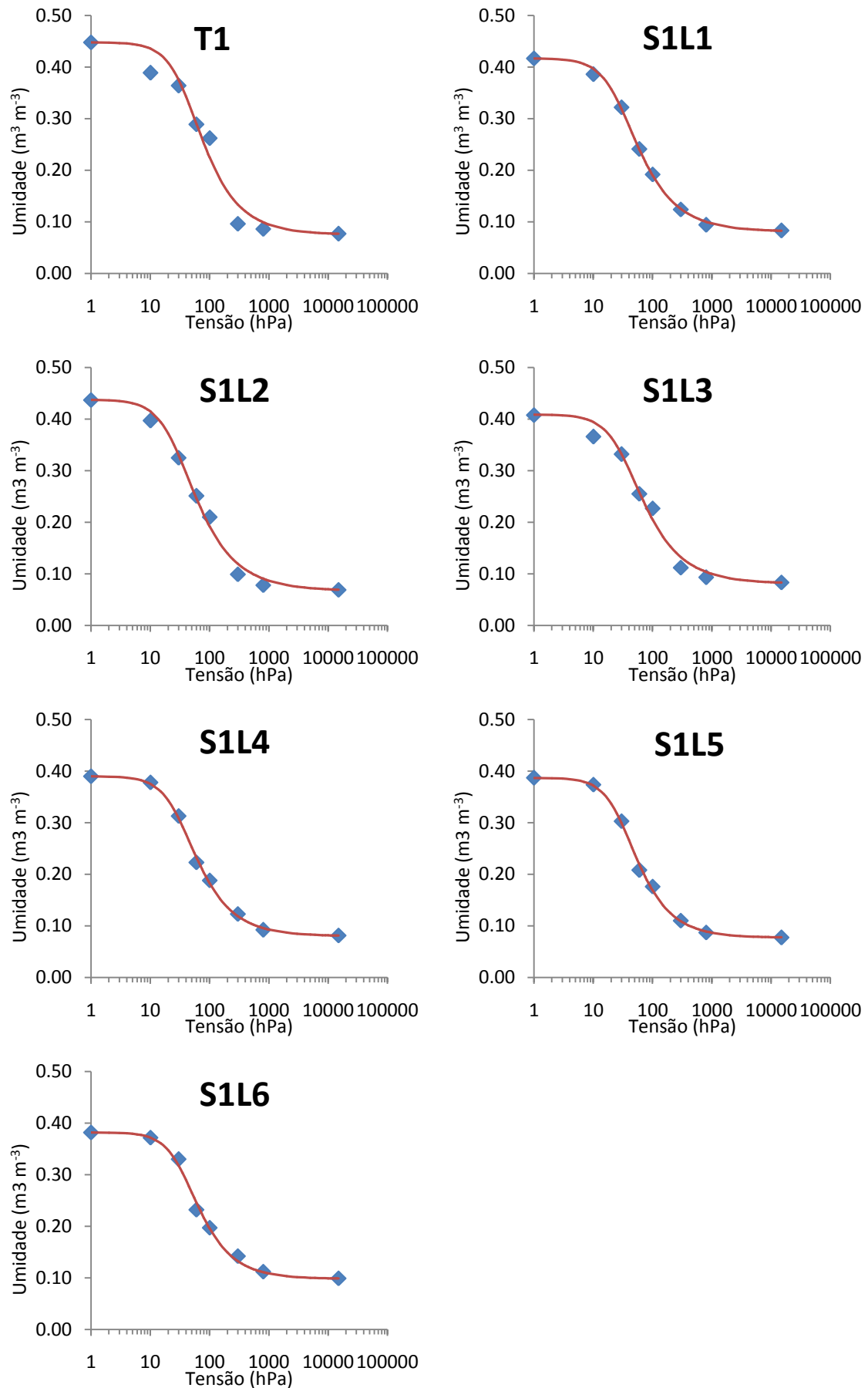


Figura 20 – Curvas de retenção para o Latossolo. Mossoró-RN, 2010.

As curvas de retenção obtidas para o Cambissolo estão presentes na Figura 21, para as diferentes lâminas de irrigação aplicadas.

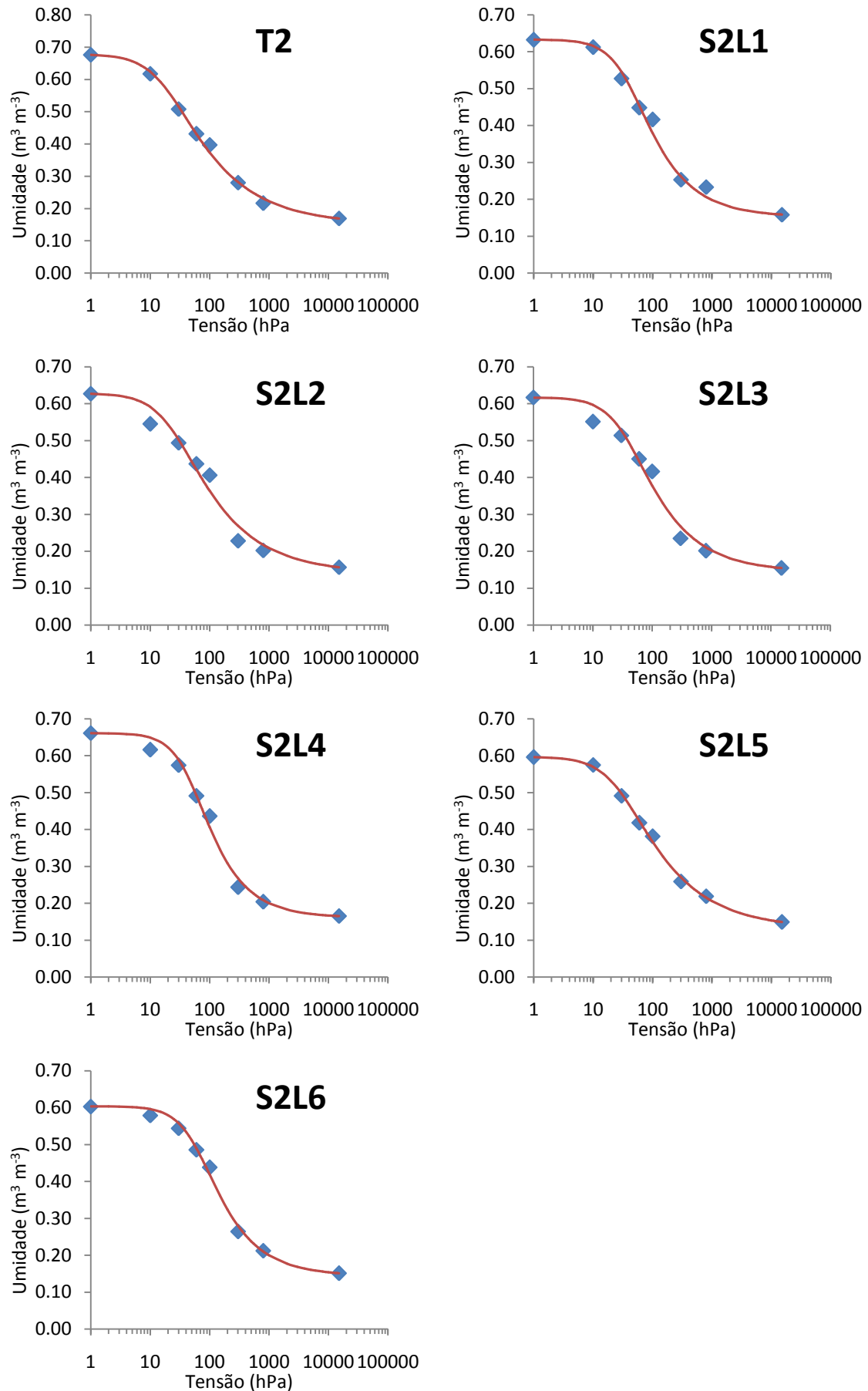


Figura 21 – Curvas de retenção para o Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

5.3.2 Efeito da lâmina de irrigação nos parâmetros da equação de van Genuchten (α , m e n)

O resumo da análise de variância referente ao parâmetro α , m e n da equação de Van Genuchten está na Tabela 14. Observa-se que os resultados não foram significativos para os parâmetros estudados em ambos os solos.

Tabela 14. Resumo da análise de variância para os valores de α , m e n para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

Fonte de variação	G.L.	α		m		n	
		Solo		Solo		Solo	
		Latossolo	Cambissolo	Latossolo	Cambissolo	Latossolo	Cambissolo
		Estatística F		Estatística F		Estatística F	
Lâminas	6	2,535 ^{ns}	1,896 ^{ns}	0,775 ^{ns}	4,597 ^{ns}	0,86 ^{ns}	4,406 ^{ns}
Linear	1	1,146 ^{ns}	4,798 ^{ns}	3,057 ^{ns}	3,594 ^{ns}	3,709 ^{ns}	3,634 ^{ns}
Quadrático	1	3,209 ^{ns}	2,634 ^{ns}	0,106 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,164 ^{ns}	0,002 ^{ns}
Cúbico	1	1,736 ^{ns}	3,681 ^{ns}	1,286 ^{ns}	4,017 ^{ns}	1,021 ^{ns}	4,846 ^{ns}
Resíduo	21						
Média		0,0314	0,0318	0,4777	0,38729	1,92982	1,64842
C.V. (%)		17,599	23,971	10,195	11,776	9,19	7,841

(**) Significativo a 0,01 de probabilidade, (*) Significativo a 0,05 de probabilidade, (ns) não significativo a 0,05 de probabilidade teste F.

Os parâmetros da equação de Van Genuchten (α , m e n), não apresentaram diferenças estatísticas para o Latossolo e para o Cambissolo, ou seja, o aumento da lamina de irrigação não influenciou nos parâmetros α (Figura 22), m (Figura 23) e n (figura 24) da equação de Van Genuchten.

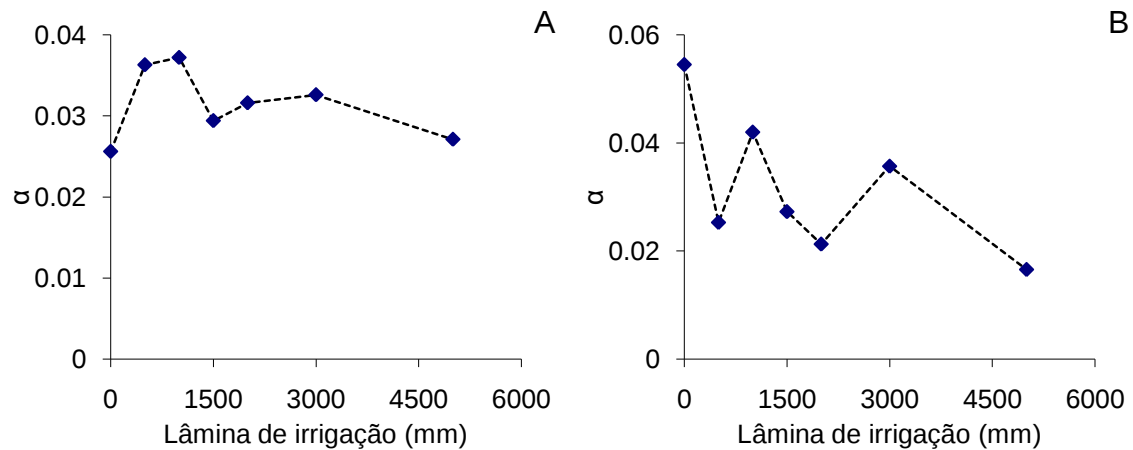


Figura 22 – Valores de α com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

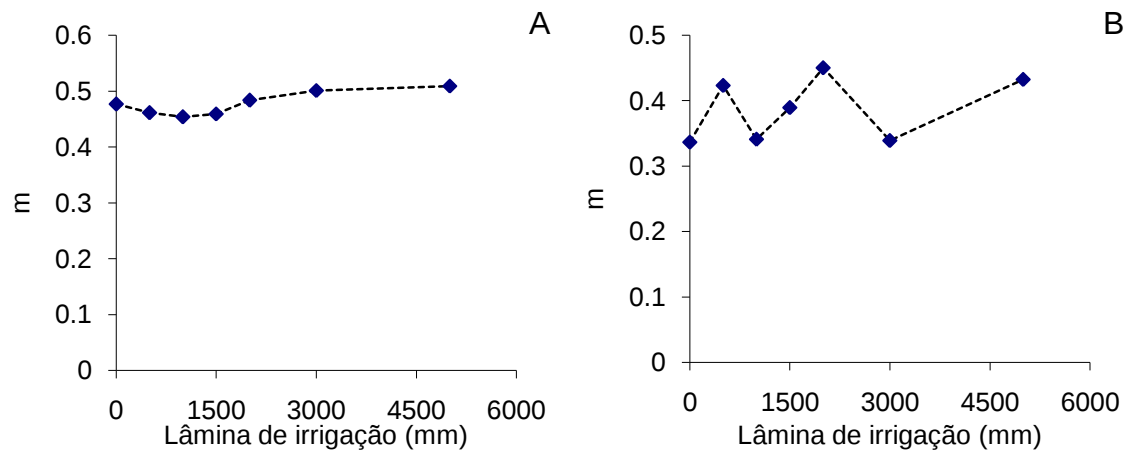


Figura 23 – Valores de m com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

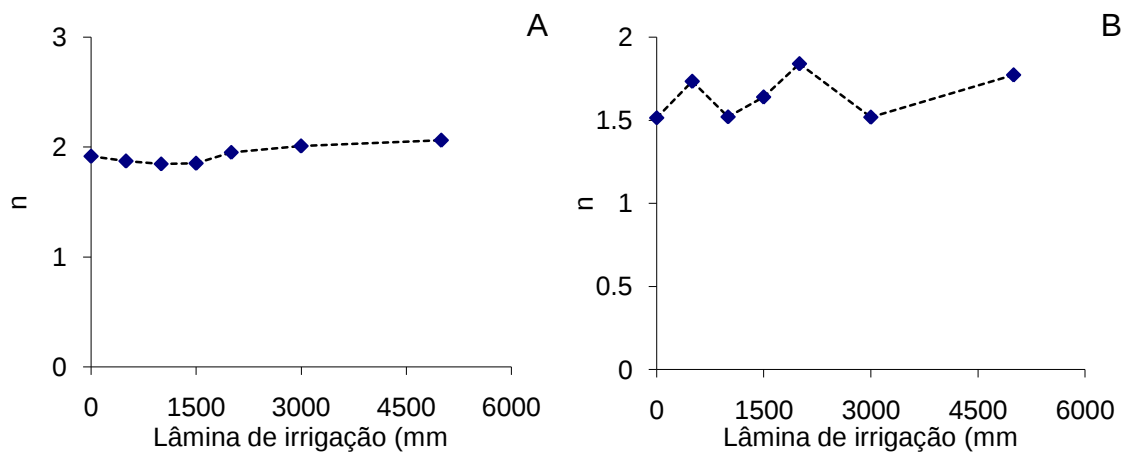


Figura 24 – Valores de n com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

Para o Latossolo, o valor de α , variando entre 0,0256 e 0,0372, concordando com os valores obtidos por Costa, Oliveira e Kato (2008), que estudou esses parâmetros em um mesmo tipo de solo em vários modelos, seus resultados ficaram em torno de 0,026. Para os parâmetros m e n , mostrou-se uma variação de 0,4536 a 0,509 e 1,8474 a 2,0611, respectivamente. Comparando esses valores com os obtidos no trabalho de Costa, Oliveira e Kato (2008), mostrou-se diferentes, sendo que os valores obtidos por esses pesquisadores, ficaram em torno de 0,11 e 1,12, para m e n , respectivamente.

Para o Cambissolo, o uso de laminas crescentes de irrigação para os parâmetros da equação de Van Genuchten, mostraram-se variáveis, devido principalmente as características do solo estudado, para o parâmetro α , houve uma variação de 0,0545 a 0,0116, semelhantes aos obtidos por Mello et al (2005) que estudou os parâmetros da curva em um Cambissolo. Observa-se que o parâmetro α apresentou grande variação, devido as características do Cambissolo, enquanto aos parâmetros m e n , com valores variando entre 0,3364 a 0,4501 e 1,5152 a 1,8398, respectivamente, apresentaram erros muito inferiores ao do modelo para α , podendo-se caracterizá-lo como de melhor precisão. Esses resultados discordam dos obtidos por Tavares et al (2007), que usando metodologia semelhante e também utilizando Cambissolo, testando profundidades diferentes, mostrou pouca variação no parâmetro α , em compensação, os valores de m e n se mostraram semelhantes aos obtidos neste estudo.

O parâmetro n não apresentou uma tendência de crescimento, para ambos os solos, esse fato pode ser explicado por Tormena e Silva (2002), que estudaram a interferência da densidade do solo nos parâmetros da equação de Van Genuchten e constatou que o parâmetro n foi sensível à variação da D_s , sendo que esses autores trabalharam com valores inferiores de n , que não chegavam a 1, e os resultados obtidos variam de 1,5152 a 2,0611, para os dois solos o que não atende ao critério proposto por Genuchten e Nielsen (1985). De acordo com Vereecken et al. (1989), os solos argilosos foram mais sensíveis às variações neste parâmetro e valores de $n < 1$ poderiam indicar problemas metodológicos na obtenção da curva de retenção. Esse fato se explica, porque o aumento da densidade do solo refletiu no número de grandes poros decorrente da compactação do solo (ASSOULINE; TAVARES-FILHO; TESSIER, 1997).

5.3.3 Efeito da lâmina de irrigação no parâmetro Θ_r da equação de Van Genuchten

O resumo da análise de variância referente ao parâmetro Θ_r da equação de Van Genuchten está na Tabela 15. Observa-se que os resultados obtidos são altamente significativos para ambos os solos, sendo que o modelo quadrático é indicado para ambos os solos a 1% de probabilidade.

Tabela 15. Resumo da análise de variância para os níveis de Θ_r para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

Fonte de variação	G.L.	Solo	
		Latossolo	Cambissolo
		Estatística F	
Lâminas	6	9,114**	8,713**
Linear	1	13,590**	12,602**
Quadrático	1	10,044**	11,346**
Cúbico	1	0,127 ^{ns}	2,547 ^{ns}
Resíduo	21		
Média		0,07954	0,14414
C.V. (%)		22,553	7,274

(**) Significativo a 0,01 de probabilidade, (*) Significativo a 0,05 de probabilidade, (ns) não significativo a 0,05 de probabilidade teste F.

Os valores de umidade residual (Θ_r) da equação de Van Genuchten, apresentaram comportamento diferenciado para os dois solos. Enquanto para o Latossolo houve um aumento nos valores, sobretudo a partir da lâmina de 3000 mm, com coeficiente de determinação de 0,692, para o Cambissolo, observa-se uma diminuição do valor, com o aumento da lâmina de irrigação, com coeficiente de determinação de 0,657 (Figura 25).

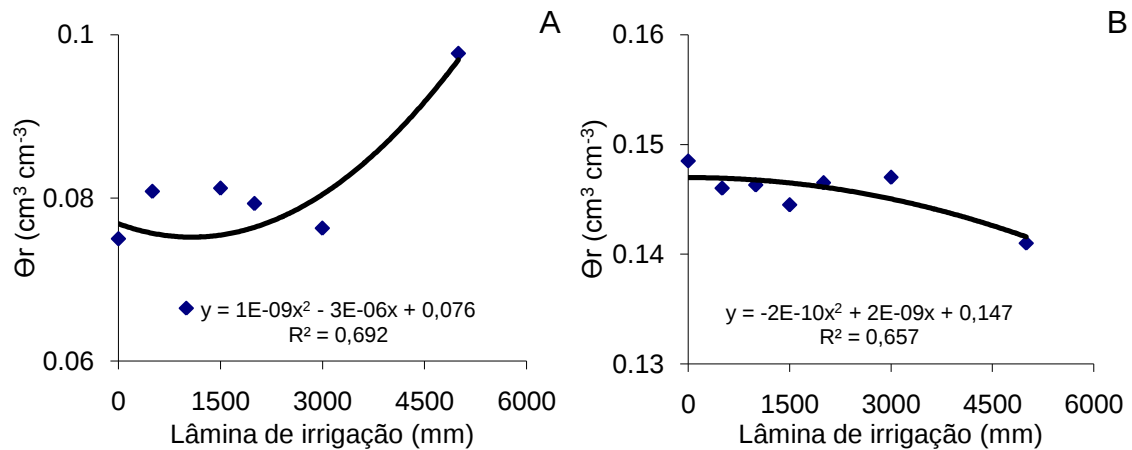


Figura 25 – Valores de Θ_r com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

Para o Latossolo ocorreu uma variação de 0,0665 a 0,0977, numericamente esses resultados são semelhantes aos obtidos por Costa, Oliveira e Kato (2008), que estudou diferentes metodologias para obtenção de curvas de retenção em Latossolo, semelhante ao deste estudo. Para o Cambissolo os resultados obtidos são um pouco inferiores aos obtidos por Mello et al (2005), que também estudou os parâmetros da equação de Van Genuchten em Cambissolos.

5.3.4 Efeito da lâmina de irrigação no parâmetro Θ_s da equação de Van Genuchten

O resumo da análise de variância referente ao parâmetro Θ_s da equação de Van Genuchten é observado na Tabela 16. Os resultados apresentados são altamente significativos para ambos os solos e o modelo indicado é o quadrático a 1% de probabilidade para o Latossolo e 5% de probabilidade para o Cambissolo.

Tabela 16. Resumo da análise de variância para os níveis de Θ_s para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

Fonte de variação	G.L.	Solo	
		Latossolo	Cambissolo
		Estatística F	
Lâminas	6	13,602**	18,932**
Linear	1	57,800**	51,712**
Quadrático	1	10,706**	6,494*
Cúbico	1	0,249 ^{ns}	1,397 ^{ns}
Resíduo	21		
Média		0,41	0,63121
C.V. (%)		3,388	2,153

(**) Significativo a 0,01 de probabilidade, (*) Significativo a 0,05 de probabilidade, (ns) não significativo a 0,05 de probabilidade teste F.

Os valores de umidade de saturação (Θ_s) para ambos os solos tiveram comportamento semelhante, observa-se uma de redução maior com o aumento das menores lâminas, tendendo a ficar estável para as lâminas a partir de 3000 mm (Figura 26).

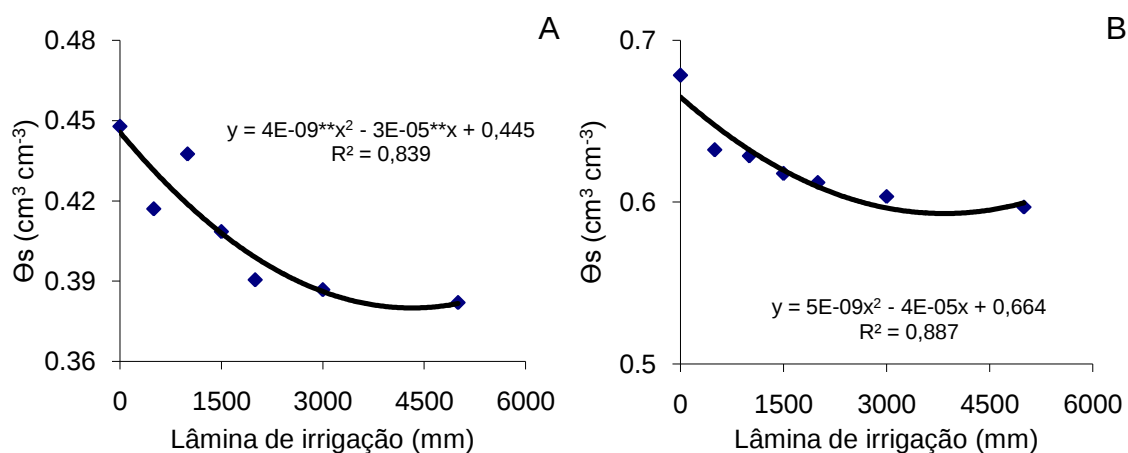


Figura 26 – Valores de Θ_s com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

Os valores de Θ_s para o Latossolo apresentaram-se variando entre os valores 0,447 a 0,382, esses dados são semelhantes aos obtidos por Barreto e Medeiros (2011), que estudou

curvas de retenção em um Argissolo, utilizando plantios direto e convencional na mesma região deste estudo e com Silva et al. (2006), que sobre os parâmetros da equação de Van Genuchten em Latossolos na região do cerrado.

Para o Cambissolo, o coeficiente de determinação concorda com o obtido por Tomasella, Hodnett e Rossato (2000) trabalhando com vários solos brasileiros geraram um coeficiente de determinação máximo para θ_S um valor de 0,84, concluindo sobre a boa qualidade de seus ajustes. É conveniente se destacar, também, que esses autores trabalharam com mais variáveis, considerando-se especialmente dados de textura fracionada. Enquanto Mello et al. (2005), também encontrou resultados semelhantes, testando modelos matemáticos para obtenção dos parâmetros da equação de Van Genuchten. A diminuição deste parâmetro para o Cambissolo foi significativa, ou seja, houve efeito no uso de laminas crescentes de irrigação no solo estudado, esses resultados são semelhantes aos obtidos por Mello et al. (2005). O adensamento do solo com o aumento da lâmina de irrigação pode ser a principal justificativa para a diminuição da θ_S .

5.4 ÍNDICES ESTIMADOS A PARTIR DAS CURVAS DE RETENÇÃO

5.4.1 Tensão na capacidade de campo (hcc)

O resumo da análise de variância referente ao índice hcc está na Tabela 17. Observa-se que os resultados foram significativos para ambos os solos. Os resultados indicam para o Latossolo um modelo quadrático a 5% de probabilidade e para o Cambissolo, o modelo linear é o mais indicado a 1% de probabilidade, mesmo o modelo cúbico sendo significativo, pois o modelo linear explica 78% das interações.

Tabela 17. Resumo da análise de variância para os níveis de hcc para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

Fonte de variação	G.L.	Solo	
		Latossolo	Cambissolo
		Estatística F	
Lâminas	6	4,998*	39,441**
Linear	1	2,075 ^{ns}	185,464**
Quadrático	1	7,350*	0,861 ^{ns}
Cúbico	1	0,209 ^{ns}	24,235**
Resíduo	21		
Média		61,48543	92,17842
C.V. (%)		10,973	8,194

(**) Significativo a 0,01 de probabilidade, (*) Significativo a 0,05 de probabilidade, (ns) não significativo a 0,05 de probabilidade teste F.

Os valores de tensão na capacidade de campo (hcc), apresentaram variações distintas para os dois solos estudados, sendo que para o Latossolo, apresentou uma diminuição até a lâmina de 3000 mm e posteriormente crescimento até a lâmina de 5000 mm, com coeficiente de determinação de 0,314, e para o Cambissolo, observa-se um aumento linear, com coeficiente de determinação de 0,783 (Figura 27).

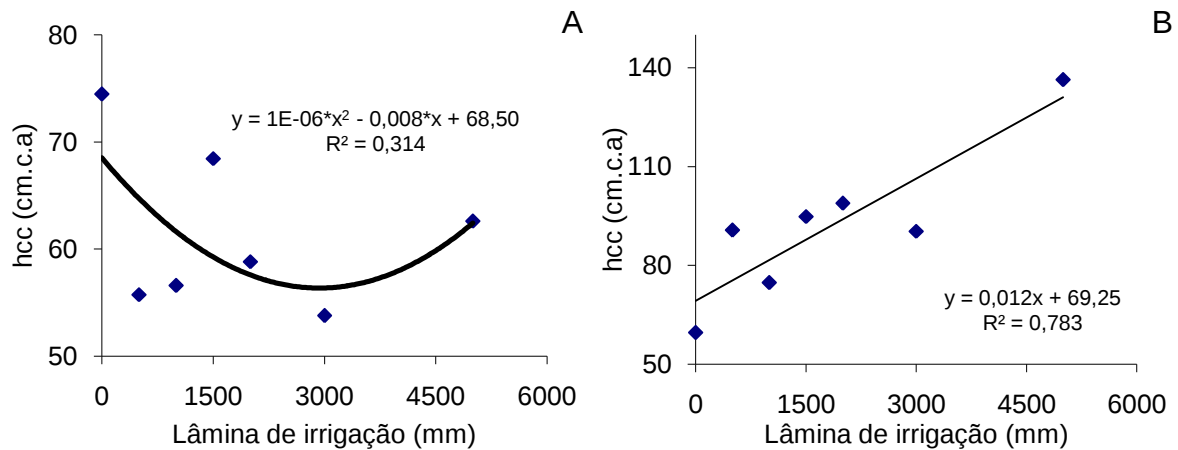


Figura 27 – Valores de hcc com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

A tensão na capacidade de campo apresentou valores para Latossolo, variando entre 53,78 e 74,45 cm.c.a., esses resultados expressam bem os valores de tensão na capacidade de campo e mostra a instabilidade desse fator, concordando com Barreto e Medeiros (2011), que encontram resultados semelhantes trabalhando com Argissolo em plantio direto e convencional.

Para o Cambissolo, esse parâmetro, demonstrou um comportamento crescente e linear, iniciando em um valor de 59,55 cm.c.a., no tratamento testemunha, atingindo um valor de 136,32 cm.c.a. na lâmina de 5000 mm, esse valor encontrado discorda dos valores obtidos por Andrade e Stone (2011), que encontrou valores máximos de 75, trabalhando com solos de textura muito argilosa. O adensamento do Cambissolo pode explicar o aumento da tensão na capacidade de campo.

5.4.2 Umidade no ponto de inflexão da curva de retenção (Θ_i)

O resumo da análise de variância referente ao índice Θ_i está na Tabela 18. Observa-se que os resultados foram altamente significativos e indicam o modelo quadrático a 5% de probabilidade para o Latossolo e o modelo quadrático a 1% de probabilidade para o Cambissolo.

Tabela 18. Resumo da análise de variância para os níveis de Θ_i para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

Fonte de variação	G.L.	Solo	
		Latossolo	Cambissolo
		Estatística F	
Lâminas	6	4,432**	17,416**
Linear	1	16,255**	59,283**
Quadrático	1	6,197*	7,022**
Cúbico	1	0,856 ^{ns}	5,317*
Resíduo	21		
Média		0,27264	0,44241
C.V. (%)		3,388	2,373

(**) Significativo a 0,01 de probabilidade, (*) Significativo a 0,05 de probabilidade, (ns) não significativo a 0,05 de probabilidade teste F.

No Latossolo, o valor da umidade no ponto de inflexão, apresentou uma queda até a lâmina de 3000 mm, tendendo a crescer a partir deste ponto, com coeficiente de determinação de 0,862. No Cambissolo, a umidade representada pelo ponto de inflexão diminuiu, tendendo a uma estabilização na lâmina de 5000 mm, com coeficiente de determinação de 0,634 (Figura 28).

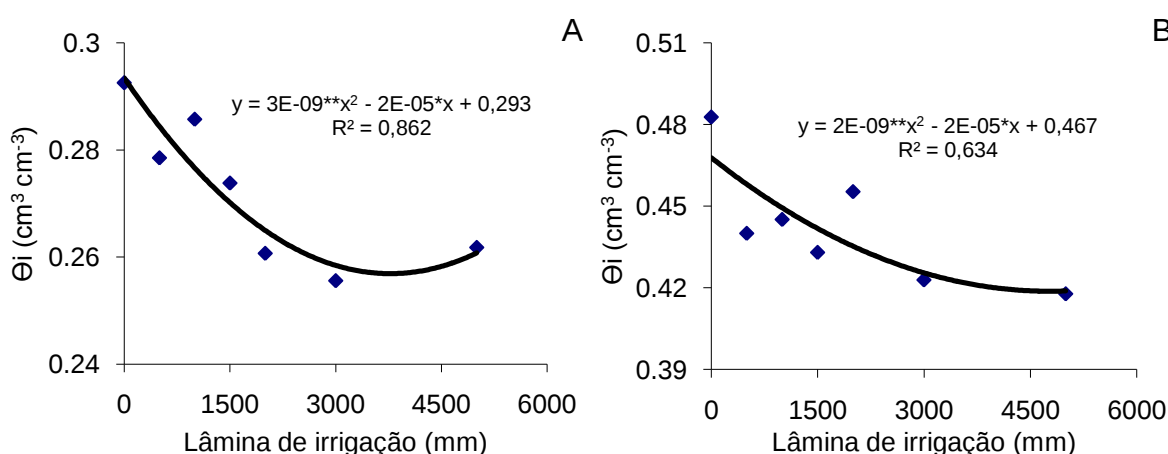


Figura 28 – Valores de Θ_i com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

O valores obtidos de Θ_i mostraram ser semelhantes aos dados de microporosidade, no qual tem tensão de 60 cm.c.a. Pode-se considerar o Θ_i uma alternativa viável para estimação da umidade na capacidade de campo, quando se tem a curva característica de retenção de água dos solos (FERREIRA; MARCOS, 1983; ANDRADE; FREITAS; LUZ, 1991). Mello et al. (2002) verificaram que o limite superior da água disponível correspondeu a 60 cm.c.a., sendo estatisticamente igual ao ponto de inflexão da curva característica de retenção, quando o modelo de ajuste da curva de retenção de água do solo se tratar de uma polinomial cúbica. Em um solo de textura argilosa, Dardengo et al. (2005) determinaram o valor de 0,396 para a capacidade de campo, pelo método direto em vasos, valor um pouco inferior a média obtida de 0,4424. Enquanto Souza et al. (2002) determinaram a capacidade de campo de um solo arenoso pelo método direto em casa de vegetação e encontraram o valor de 0,254, mais próximo da média de capacidade de campo obtida, que foi 0,2726.

5.4.3 Índice S

O resumo dos resultados da análise de variância referente ao índice S estão presentes na Tabela 19. Não verificou-se efeito significativo da lâmina de irrigação aplicada para nenhum dos solos estudados.

Tabela 19. Resumo de análise de variância para o índice S para Latossolo e Cambissolo. Mossoró-RN, 2010.

Fonte de variação	G.L.	Solo	
		Latossolo	Cambissolo
		Estatística F	
Lâminas	6	1,162 ^{ns}	2,974 ^{ns}
Linear	1	2,546 ^{ns}	0,641 ^{ns}
Quadrático	1	0,978 ^{ns}	0,003 ^{ns}
Cúbico	1	1,439 ^{ns}	4,005 ^{ns}
Resíduo	21		
Média		0,11965	0,13664
C.V. (%)		12,734	13,027

(**) Significativo a 0,01 de probabilidade, (*) Significativo a 0,05 de probabilidade, (ns) não significativo a 0,05 de probabilidade teste F.

O índice S não apresentou diferença estatística para o Latossolo e para o Cambissolo, ou seja, o aumento da lâmina de irrigação não influenciou no índice S (Figura 29).

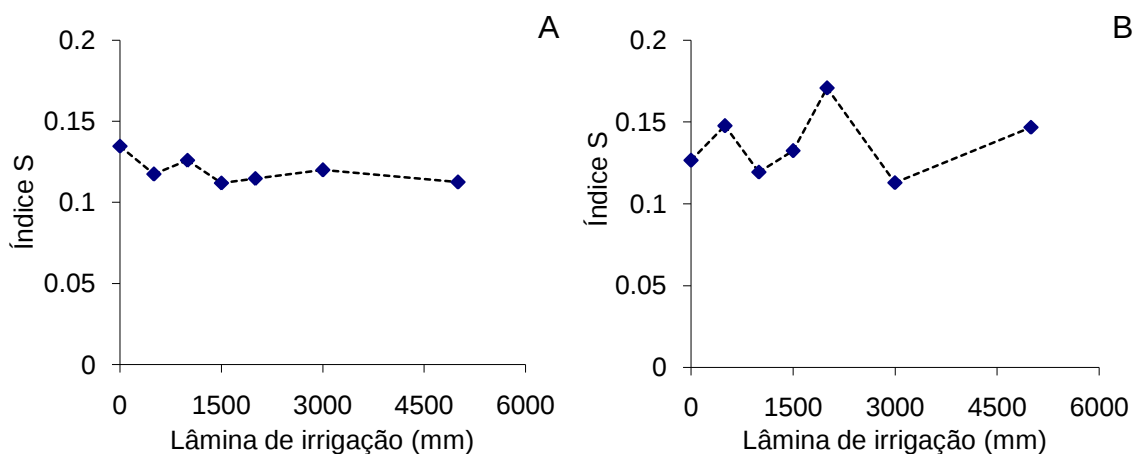


Figura 29 – Valores de índice S com o aumento da lâmina de irrigação para Latossolo (A) e Cambissolo (B). Mossoró-RN, 2010.

Os valores do índice S para o Latossolo apresentaram-se semelhantes, sendo que o aumento da salinidade não afetou estatisticamente este fator, enquanto para o Cambissolo, os valores foram muito instáveis, com o índice variando entre 0,11 e 0,17, mas sem nenhuma tendência em função da lâmina de água aplicada.

Analisando os valores do índice S verifica-se que estes foram superiores a 0,035, proposto por Dexter (2004a) em todas as lâminas de irrigação avaliadas, indicando qualidade favorável para o crescimento das raízes das plantas. Os valores de S variaram no perfil do solo de 0,112 a 0,1347 para o Latossolo e de 0,1129 a 0,1707 para o Cambissolo.

Para o Latossolo, o índice S se correlacionou de maneira positiva para os níveis de CC, representados pelo Θ_i e microporosidade, ou seja, houve uma diminuição simultânea pelos três fatores, ou seja uma diminuição do índice S, tende a uma diminuição da CC e ADT, enquanto ao ponto de murcha permanente, houve um aumento. Esse resultado discorda do obtido por Sá et al (2010), no qual estudando o índice S para verificar seu efeito nas características físicas em um Latossolo, verificou uma correlação negativa com CC e ADT. Segundo Reynolds (2009), apesar do S ser um índice promissor para avaliar a qualidade física do solo, ainda não foi bem avaliado com relação a fatores como capacidade de campo relativa, água disponível para as plantas, capacidade de aeração.

Com relação a densidade há uma correlação negativa, sendo que o aumento da densidade é conhecidamente um fator degradante, e com a diminuição da macroporosidade, esses resultados se assemelham aos obtidos por Andrade e Stone (2009), que estudaram o índice S em solos do cerrado, sendo que esses solos eram de várias texturas, dos mais

arenosos aos, mais argilosos. Esses autores constataram que, o índice S é altamente correlacionado com a densidade do solo, porosidade total e macroporosidade, mostrando tratar-se de um indicador adequado da qualidade física de solos.

Para o Cambissolo, mostrou-se uma correlação negativa, pois o índice S se comportou de maneira inesperada, tendo um aumento no seu valor, esse fato se deu pela metodologia utilizada, pois se trata de uma simulação, mesmo assim, os resultados concordam com os obtidos por Sá et al. (2010), com relação a CC, ADT e PMP. Para a macroporosidade e densidade do solo, os valores concordam com os obtidos por Andrade e Stone (2009).

6 CONCLUSÕES

O aumento da salinidade influenciou no aumento da densidade do solo e esse efeito foi mais evidente para o solo mais argiloso, mesmo este apresentando menor CE na água de irrigação utilizada, o que mostra que solos com maiores teores de argila são mais sensíveis aos aumentos da salinidade das águas de irrigação.

Os parâmetros da equação de Van Genuchten tiveram pouca influência com o uso de lâminas crescentes de irrigação, mostrando serem fatores pouco limitantes.

Os valores de umidade residual, tensão na capacidade de campo, microporosidade e ponto de murcha permanente, apresentaram tendências diferentes para os dois solos, sendo que o no Cambissolo, esses parâmetros se comportaram de maneira inesperada, devido a metodologia empregada, deve-se observar as condições em que o solo se comporta nesse tipo de simulação.

O aumento da CE e RAS do solo, sugere que esses solos terão problemas com salinização e o aumento do pH, devido principalmente ao uso de águas com altos teores de CaCO_3 , tende a uma alcalinização dos solos estudados.

Os valores de K e CaCO_3 tiveram comportamentos semelhantes, que sugerem uma relação de queda, relacionada a aplicação de água com CaCO_3 , que tende a neutralizar o K presente no solo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, R. D.; PORTO FILHO, F. Q.; MEDEIROS, J. F.; HOLANDA, J. S.; PORTO, V. C. N.; FERREIRA NETO, M. Crescimento de cultivares de melão amarelo irrigadas com água salina. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, Campina Grande, v.7, n.2, p. 221-226, 2003.
- ALMEIDA, O. A.; GISBERT, J. M. Efecto de la utilización Del agua de drenaje en suelos argilosos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, XII, 2002, Uberlândia. Resumos... Uberlândia: ABID, 2002. p. 1-6.
- ANDRADE, R. da S.; STONE, L. F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.15, n.2, p.111–116, 2011.
- ANDRADE, C. L. T.; FREITAS, J. A. D.; LUZ, L. R. Q. P. Características físico-hídricas de solos arenosos de tabuleiro litorâneos. In: Congresso nacional de irrigação e drenagem, 9., 1991, Natal. Anais ... Natal: ABID, v. 1, p. 1069-1095, 1991.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.13, n.4, p.382–388, 2009.
- ANDRADE, E. M. et al. Evolução da concentração iônica da solução do solo em áreas irrigadas na Chapada do Apodi, CE. *Revista Ciência Agronômica*, v. 35, n.1, p. 9-16, 2004.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al.. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no Semi-Árido Piauiense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 873-880, 2006.
- ARAÚJO, C. A. S. Avaliação de feijoeiros quanto à tolerância à salinidade em solução nutritiva. 1994. 87p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- ARRUDA, F. B; ZULLO Jr., J. & OLIVEIRA, J.B. Parâmetros de solo para cálculo da água disponível com base na textura do solo. *R. Brás. Ci. Solo*, 11:11-15,1987.
- ARYA, L. M. et al. Scaling parameter to predict the soil water characteristic from particle-size distribution data. *Soil Science Society of America Journal*. Madison, v. 63, p.1063-1070, 1999.
- ASSOULINE, S.; TESSIER, D.; BRUAND, A. A conceptual model of the soil water retention curve. *Water Resources Research*, v.34, p.223-231, 1998.
- ASSOULINE, S.; TAVARES-FILHO, J; TESSIER, D. Effect of compaction on soil physical and hydraulic properties: Experimental results and modeling. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:390-398, 1997.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2. ed. Campina Grande: DEAg, CCT, UFPB. 1999. 153 p. (Estudos FAO irrigação e drenagem, 29).

BARRETO, H.B.F.; MEDEIROS, J.F. Curva característica de água do solo em um argissolo vermelho-amarelo sob sistema de plantio direto e convencional. In: II Reunião sulamericana para manejo e sustentabilidade da irrigação em regiões áridas e semi-áridas, cruz das almas, 2011.

BEN-HUR, M. et al. Water and salt distribution in a field irrigated with marginal water under 'high water table conditions. *Soil Science American Journal*, v. 65, p. 191-198, 2001.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; ANDRIOLI, I. & ROQUE, C.G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:829-834, 2002.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; ZEVIANI, W. M. Modelagem da curva de retenção de água de latossolos utilizando a equação duplo Van Genuchten. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:77-86, 2011.

CARMO, G. A. Crescimento, nutrição e produção de Cucurbitáceas cultivadas sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de adubação nitrogenada. 2009. 182 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2009.

CARMO, G. A. Crescimento, nutrição e produção de Cucurbitáceas cultivadas sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de adubação nitrogenada. 2009. 182 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2009.

CARMO FILHO, F. do; OLIVEIRA, O. F. de. Mossoró: um município do semi-árido: caracterização climática e aspecto florístico. Mossoró: UFERSA, 1989. 62 p. (Coleção Mossoroense, série B ,672,).

CENTURION, J.F. & ANDRIOLI, I. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:701-709, 2000.

CHAVES, L.C.G.; SANTOS, J.C.N.; MEIRELES, A.C.M.; ANDRADE, E.M.; ARAÚJO NETO, J.R. Dinâmica da salinidade do solo em áreas do Distrito de Irrigação Araras Norte, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*. Fortaleza – CE. v. 40, n. 4, p. 522-532, 2009.

CICHOTA, R.; LIER, J. Van. Avaliação no campo de um TDR segmentado para estimativa da umidade do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v. 8, p. 72-78, 2004.

COSTA, R. G. Caracterização da água de irrigação na microrregião homogênea de Catolé do Rocha (MRH – 89). 1982. 89 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1982.

COSTA, W. A.; OLIVEIRA, C. A. S.; KATO, E. Modelos de ajustes e métodos para a determinação da curva de retenção de água de um latossolo-vermelho-amarelo. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:515-523, 2008.

D'ALMEIDA, D. M. B. A.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. A. C. M.; NESS, R. L. L. Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, Ceará. *Engenharia Agrícola*. Jaboticabal, v. 25, n.3, p. 615-621. 2005.

DARDENGO, M.C.J.D.; EFFGEN, T.A.M.; TATAGIBA, S.D.; REIS, E.F.; PASSOS, R.R. Avaliação da capacidade de campo em dois solos da região sul do estado do Espírito Santo por diferentes métodos de determinação. In: Encontro Latino- Americano de Iniciação Científica, 8.; Encontro Latino- Americano de Pós-Graduação, 5, 2005, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: UNIVAP, 2005. p.1736-1739.

DEXTER, A.R.; BIRD, N.R.A. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil & Tillage Research*, v.57, p.203- 212, 2001.

DEXTER, A.R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, v.120, p.201-214, 2004a.

DEXTER, A.R. Soil physical quality. Part II. Friability, tillage, filth and hard-setting. *Geoderma*, v.120, p.215-225, 2004b.

DEXTER, A.R. Soil physical quality. Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. *Geoderma*, v.120, p.227-239, 2004c.

DIAS, N. S.; MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; SILVA, F.V.; BARROS, A.D. Evolução da salinidade em um argisolo sob o cultivo de melão irrigado por gotejamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 8, n. 2/3, p. 240-246, 2004.

DIAS, N.S.; DUARTE, S.N.; TELES FILHO, J.F.; YOSHINAGA, R.T. Salinização do solo por aplicação de fertilizantes em ambiente protegido. *Irriga. Botucatu – SP*. v.12, n.1, p.135-143, 2007.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo Van Genuchten. *Soil Water Retention Curve, SWRC (version 3,00 beta)*. Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil, 2001.

EMBRAPA/ Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação, 1999. 412 p.

EMBRAPA/ Centro Nacional de Pesquisa de Solos Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FARIA, F.H.S.; LIMA, L.A.; RIBEIRO, M.S.; SANTOS, S.R.; RIBEIRO.K.M. avaliação da salinidade, sodicidade e alcalinidade das águas subterrâneas para irrigação em Jaíba e Janaúba, Minas Gerais. *Irriga. Botucatu – SP*. v. 14, n. 3, p. 299-313, 2009.

FERREIRA, M. M.; MARCOS, Z. Z. Estimativa da capacidade de campo de Latossolo Roxo distrófico e regossolo através do ponto de inflexão da curva característica de umidade. *Ciência e Prática, Lavras*, v. 7, n. 1, p. 96-101, jan./mar. 1983.

FIGUEIRÊDO, V. B. Evapotranspiração, crescimento e produção da melancia e Melão irrigados com águas de diferentes salinidades. 2008. 104 p. Tese (Doutorado em Irrigação e

Drenagem) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu - SP, 2008.

FREIRE, M.B.G.S.; RUIZ, H.A.; RIBEIRO, M.R.; FERREIRA, P.A.; ALVAREZ, V.H.; FREIRE, F.J. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande – PB. v.7, n.2, p.227-232, 2003b.

FREIRE, M.B.G.S.; RUIZ, H.A.; RIBEIRO, M.R.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ V.,V.H.; FREIRE, F.J. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 45-52, 2003a.

FREITAS, E.V.S.; FERNANDES, J.G.; CAMPOS, M.C.C.; FREIRE, M.B.G.S. Alterações nos atributos físicos e químicos de dois solos submetidos à irrigação com água salina. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*. João Pessoa – PB, v. 7, n.1, p. 21-28, 2007.

GARCIA, G.O.; MARTINS FILHO, S.; REIS, E.F.; MORAES, W.B.; NAZÁRIO, A.A. Alterações químicas de dois solos irrigados com água salina. *Revista Ciência Agronômica*. Fortaleza – CE. v. 39, n. 01, p. 7-18, 2008.

GURGEL, M. T.; MEDEIROS, J. F.; NOBRE, R. G.; NETO, F. C.; SILVA, F. V. Evolução da salinidade no solo sob cultivo de melão irrigado com águas de diferentes salinidades. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*. Campina Grande, v.3, n.2, p.1-13, 2003.

HANSEL, F.D.; AMADO, T.J.C.; DELLAMEA, R.B.; SCHOSSLER, D.S.; HORBE, T.; TEIXEIRA, T.G.; TABALDI, F. Evolução dos teores de potássio e sua relação com a sua fertilização e exportação via colheita. XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Fortaleza-CE, 2009.

HILLEL, D. Introduction to soil physics. London: Academic Press, 1982. 364 p.

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J.R.A.; FERREIRA NETO, M. HOLAMDA, A. C. Qualidade de água para irrigação. In: GHEI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza, INCTSal, 2010. 472p.

JONG-VAN-LIER, Q. DE; DOURADO-NETO, D. Valores extremos de umidade do solo referentes ao modelo de van Genuchten. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, 17:325-329. 1993.

JUCKSCH, I. Calagem e dispersão de argila em amostra de um latossolo vermelhoescuro. 1987. 37 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1987.

KASTANEK, F.J.; NIELSEN, D.R. Description of soil water characteristics using cubic spline interpolation. *Soil Science Society of America Journal*, v.65, p.279-283, 2001.

KLEIN, V. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Água disponível de um latossolo vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.10, n.3, p.646–650, 2006.

LARAQUE, A. Estudo e previsão da qualidade química da água dos açudes do Nordeste. Recife: SUDENE, 1989. 97p.

LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba – ESALQ, 2000, 497 p.

LIMA, L. A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, SBEA, 1997. cap. 4, p. 113-136. 1997.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, M. de. Classificação da composição iônica da água de irrigação usando regressão linear múltipla. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.5, p. 55-59, 2001.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C. de; OLIVEIRA, M. de. Estimativa de carbonato de cálcio aplicado via água de irrigação nas regiões da chapada do Apodi e baixo açú, RN. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 5, n. 1, p. 71-75, 2001.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, M.. Classificação da água de irrigação utilizando quatro metodologias de cálculo para a Razão de Adsorção de Sódio - I. Região da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte. Caatinga, Mossoró, v. 11, n. 1/2, p. 41-46, 1998a.

MAIA, C. E., MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, M.. Classificação da água utilizando quatro metodologias de cálculo para a Razão de Adsorção de Sódio - II. Região do Baixo Açú, Rio Grande do Norte. Caatinga, Mossoró, v. 11, n. 1/2, p. 47-52, 1998b.

MARCIANO, C. R. et al. Variabilidade do potencial mátrico e do conteúdo de água no solo em experimento de manejo de irrigação. Revista Brasileira de Ciência do solo, Viçosa, MG v 22. p.563-571, n4, 1998.

MEDEIROS, J. F. Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo “GAT” nos Estados do RN, PB e CE. Campina Grande, 1992, 173p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola - Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB, 1992.

MEDEIROS, J. F. de; LISBOA, R. de A.; OLIVEIRA, M. de. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.7, p. 469-472, 2003.

MEIRELES, A. C .M. Avaliação do impacto da fertirrigação em cambissolos na chapada do Apodi, Ceará. Revista Ciência Agronômica. v. 34, n. 2, 2003.

MELLO, C.R.; OLIVEIRA, G.C.; RESCK, D.V.S.; LIMA, J.M.; DIAS JUNIOR, M.S. Estimativa da capacidade de campo baseada no ponto de inflexão da curva característica. Ciência e Agrotecnologia, v.26, p.835-841, 2002.

MELLO, C. R.; OLIVEIRA, G.C.; FERREIRA, D.F., LIMA, J.M.; LOPES, D. Modelo para determinação dos parâmetros da equação de van Genuchten para um Cambissolo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v.. 9. n. 1. p. 23-29, 2005.

MENK, J. R. F.; IGUE, T. Relacionamento de dados entre métodos analíticos: o caso da análise granulométrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, p. 143-152, 1992.

MORAES, S.O.; LIBARDI, P.L. & DOURADO NETO, D. Problemas metodológicos na obtenção da curva de retenção. *Sci. Agríc.*, 50:383-392, 1993.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research.*, v.12, p.513-522, 1976.

NAIME, J. M.; VAZ, C. M. P.; MACEDO, Á. Automated soil particle analyzer based on gamma-ray attenuation. *Comput. Electron. Agr.* v. 31, p. 295-304, 2001.

OLIVEIRA, O.; MAIA, C. E. Qualidade físico-química da água para a irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Mossoró, v. 2, p. 17-21, 1998.

OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, M. G. V. X.; LIMA, J. F. W. F.; MARQUES, F. A. Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.37, p.1477-1486, 2002.

OLIVEIRA, M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. M. (Ed.). *Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada*. Campina Grande: SBEA/UFPB, 1997. p. 1-35.

PAIVA, A.S.; MEDEIROS, J.F.; CASTRO FILHO, M.C.; ALVES, L.P.; SARMENTO, D.H. A.; SILVA JUNIOR, M.J.; Salinidade e reação do solo numa área cultivada com melão sob mulch e irrigado com água de diferentes níveis de sais. *Caatinga*, Mossoró, v. 17, n.1, p.57-63, 2004.

PORTELA, J.C.; LIBARDI, P.L. & van LIER, Q.J. Retenção de água em solo sob diferentes usos no ecossistema tabuleiros costeiros. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 5:49-54, 2001.

PORTO FILHO, F. de Q. *Rendimento e qualidade do melão em função do nível e da época de aplicação de águas salinas*. Campina Grande: Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Campina Grande, 2003. 133. Tese de Doutorado.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. *Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações*. Piracicaba: Manole, 2004. 478p.

REICHARDT, K. *Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera*. Campinas: Fundação Cargill, 1985.

REYNOLDS, W.D., DRURY, C.F., TAN, C.S., FOX, C.A., YANG, X.M. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma*, n.152, p.252–263, 2009.

RHOADES, J. D.; CHANDUVI, F. LESCH, S. *Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements*. Rome: FAO. 327 p 1999.

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

RHOADES, J. D.; LOVEDAY, J. Salinity in irrigated agriculture In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.) Irrigation of Agriculture Crops. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1990. p. 1220-1266.

RIBEIRO, G.M.; MAIA, C.E.; MEDEIROS J.F. Uso da regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande – PB, v.9, n.1, p.15-22, 2005.

RIBEIRO JUNIOR, J. I. Análises estatísticas no SAEG. Viçosa: Folha de Viçosa, 2001.

RICHARDS, L.A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E.; CLARK, F.E. (Ed.). Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.128-152.

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: United States Department of Agriculture, 1954. 160 p. (Agriculture Handbook, 60).

SÁ, P. C. C.; VALE, C. N. C.; MAIA, C. E.; LEVIEN, S. L. A. Índice S e área sob a curva de retenção de água para avaliar qualidade física do solo. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.4, n.2, p.110–114, 2010.

SANTOS, M. N. Influência de diferentes sistemas de manejo nos teores de carbono orgânico e de nutrientes e no tamanho e distribuição de poros em um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso na região dos Cerrados. 1997. 133 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília.

SILVA FILHO, S. B.; CAVALCANTE, L. F.; OLIVEIRA, F. A.; LIMA, E. M; COSTA, J. R. M. Monitoramento da qualidade da água e acúmulo de sais no solo pela irrigação. Irriga. Botucatu, v. 5, n. 2, p. 112-25, 2000.

SILVA, E. M.; LIMA, J. E. F. W.; AZEVEDO, J. A.; RODRIGUES, L. N. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.41, n.2, p.323-330, fev. 2006.

SILVA, E.M. da; AZEVEDO, J.A. de. Influência do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos de Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, n.37, p.1487-1494, 2002.

SILVA, M.O.; FREIRE, M.B.G.S.; MENDES, A.M.S.; FREIRE, F.J.; DUDA, G.P.; SOUSA, C.E.S. Risco de salinização em quatro solos do Rio Grande do Norte sob irrigação com águas salinas. Revista Brasileira de Ciências Agrárias. Recife – PE. v.2, n.1, p.8-14, 2006.

SILVA, E.M. da; AZEVEDO, J.A. de. Influência do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos de Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, p.1487-1494, 2001.

SOUZA, C.C.; OLIVEIRA, F.A.; SILVA, I.F.; AMORIM NETO, M.S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível em solo cultivado com algodão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.337-341, 2002.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: Efeitos nas propriedades físico- hídricas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, p.207-212, 2002.

TAVARES, L. C. et al. Capacidade de retenção de água e parâmetros de ajuste do modelo de Van Genuchten (1980) em quatro solos representativos da região produtora de pêssego de Pelotas-RS. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16 E ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 9., 2007, Pelotas.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M.G.; ROSSATO, L. Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. *Soil Science Society of America Journal*. Madison, v. 63, p.327-338, 2000.

TORMENA, C. A.; SILVA, A.P. Incorporação da densidade no ajuste de dois modelos à curva de retenção de água no solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:305-314, 2002.

Van GENUCHTEN, M. T; NIELSEN, D. R. On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. *Annales Geophysicae*, Berlin, v. 3, n. 5, p. 615-628, 1985.

Van GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

VAZ, C. M. P.; NAIME, J. M.; MACEDO, A. Soil particle size fractions determined by gamma-ray attenuation. *Soil Science*, Baltimore, v. 164, n. 6, p. 403-410, 1999.

VAZ, C. M. P. et al. Análise granulométrica por raios gama. São Carlos: EMBRAPA/CNPDIA, 1997. 13p. (Boletim de pesquisa, 5).

VAZ, C. M. P.; NAIME, J. M.; MACEDO, A. Analisador granulométrico de solos. São Carlos, EMBRAPA/CNPDIA- comunicado técnico, n05. 1996, 5p.

VERECKEN, H.J.; MAES, J.; FEYEN, J.; DARIUS, P. Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density, and carbon content. *Soil Science*, v.148, p. 389-403, 1989.

VIEIRA, M. L. Propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo e rendimento de milho submetido a diferentes sistemas de manejo. 2006.115f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

WADT, P.G.S.; WADT, L.H.O. Movimentação de cátions em amostras de um latossolo vermelho-amarelo incubadas com duas fontes de cálcio. *Scientia Agrícola*, v.56, n.4, p.1157-1164, out./dez. 1999. Suplemento.

WILLIAMS, W. D. Salinization of rivers and streams: na important environmental hazard.

Ambio, v. 16, p. 180–185, 1987.