

MICHELANGELO DE OLIVEIRA SILVA

**CRESCIMENTO DE MELÃO, CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS E
LIXIVIADOS SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS SALINAS**

**RECIFE -PE
Março - 2006
MICHELANGELO DE OLIVEIRA SILVA**

**CRESCIMENTO DE MELÃO E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS E
LIXIVIADOS SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS SALINAS**

**Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Agronomia –
Ciência do Solo da Universidade Federal
Rural de Pernambuco, como parte dos
requisitos para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo.**

**RECIFE - PE
Março - 2006**

Ficha catalográfica
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central – UFRPE

S586c Silva, Michelangelo de Oliveira
Crescimento de melão, características químicas de solos
e lixiviados sob irrigação com águas salinas / Michelangelo de
Oliveira Silva. -- 2006.
63 f. : il.

Orientadora: Maria Betânia Galvão dos Santos Freire.
Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de
Agronomia.
Inclui bibliografia.

CDD 631.42

1. Salinidade
2. RAS
3. *Cucumis melon* L.
 - I. Freire, Maria Betânia Galvão dos Santos
 - II. Título

MICHELANGELO DE OLIVEIRA SILVA

**CRESCIMENTO DE MELÃO E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS E
LIXIVIADOS SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS SALINAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Dissertação defendida e aprovada: 10 de março de 2006, pela Banca Examinadora:

ORIENTADOR:

Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire

EXAMINADORES:

Dr. Hans Raj Gheyi

Dra. Alessandra Monteiro Salviano Mendes

Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro

DADOS BIOGRÁFICOS

MICHELANGELO DE OLIVEIRA SILVA – Nascido em Umarizal, RN, em 29 de Setembro de 1980, filho de José Raimundo da Silva Júnior e Terezinha de Oliveira Silva. Em agosto de 1998, ingressou na Escola Superior de Agricultura de Mossoró e concluiu em dezembro de 2003 o curso de Engenharia Agrônômica. Em março de 2004, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Federal Rural de Pernambuco – PE, como bolsista da CAPES, com conclusão em Março de 2006.

Aos meus pais, José Raimundo da Silva Júnior e Terezinha de Oliveira Silva pelo esforço, carinho, amor exemplo de luta e dignidade, e aprendizado no convívio diário para que esse dia tão importante em minha vida fosse alcançado.

À minha irmã, Monikely de Oliveira Silva, amigos e familiares pelo carinho e apoio partilhados nos momentos difíceis.

DEDICO E OFEREÇO

AGRADECIMENTO ESPECIAL

A amiga e orientadora, Prof^a. Dra Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, pelo exemplo de profissionalismo, orientação, dedicação, paciência, amizade e principalmente por sua atenção e compreensão em momentos de dificuldades.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo pela oportunidade de realização do curso de Mestrado e ao Conselho de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro. À Universidade Federal Rural do Semi-Árido pela parceria na realização desse trabalho

À Professora Maria Betânia Galvão Santos Freire, pela orientação, amizade e paciência na realização deste trabalho.

Aos Professores Gustavo Pereira Duda, Alessandra Monteiro Salviano Mendes e Adriana Maria de Aguiar Accioly também pela orientação na realização deste trabalho.

Aos amigos do Curso de Pós Graduação em Ciência do Solo, especialmente ao amigo Carlos Eduardo Soares de Sousa, pela amizade, pelo apoio e trabalho durante todo o experimento e prestimosa colaboração nas análises de laboratoriais.

Aos amigos Gleidson Bezerra de Góis e José Galdino Cavalcante Neto, pela amizade e apoio durante a realização desse trabalho.

Aos Professores: Maria Betânia Freire, Alessandra Salviano Mendes, Fernando José Freire, Júlio Rodrigues Vilar, Clístenes Williams, Mateus Rosas Ribeiro, Adriana Accioly, Newton Stanford pelos conhecimentos transmitidos.

Aos funcionários da UFRPE Maria do Socorro, Noca, Anacleto; e aos funcionários da UFERSA Elídio, Ronald e Tomaz.

Aos amigos Patrícia Maia, Arruda Jr., Évio Eduardo, Michelangelo Bezerra, Ivanildo Júnior, Priscila Alves, Marcela Campanharo, Sandro Barbosa, Cristiane, Dagmar Alves, Edivan Rodrigues, Euzelina, Arlete, Eduardo Saldanha, Hugo, Julio César, Julio Guilherme, Gleidson, Isaac, Márcio e Castro.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

" Da minha aldeia vejo quanto da terra se
pode ver do universo....
Por isso a minha aldeia é tão grande como
outra terra qualquer,
Porque sou do tamanho do que vejo
E não do tamanho da minha altura".

Fernando Pessoa

SILVA, MICHELANGELO DE OLIVEIRA, M.S. Pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, março de 2006. Crescimento de melão e características químicas de solos e lixiviados sob irrigação com águas salinas. Orientadora: Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire. Conselheiros: Dra. Alessandra Monteiro Salviano Mendes e Dra. Adriana Maria de Aguiar Accioly.

RESUMO

Solos de regiões áridas e semi-áridas podem apresentar acúmulo de sais a níveis prejudiciais ao desenvolvimento das plantas, devido a processos naturais de salinização ou à contribuição humana, pelo manejo inadequado da irrigação. No Nordeste do Brasil, as condições climáticas são propícias ao acúmulo de sais no solo. Neste contexto, o Agropolo Assu/Mossoró tem representado forte potencial produtivo na fruticultura irrigada para exportação, entretanto, as águas usadas podem apresentar elevados teores de sais. Sem um efetivo controle da qualidade destas águas, pode estar ocorrendo um progressivo acúmulo de sais nos solos que levariam à degradação dessas áreas por salinização. Por isso, esse trabalho, objetivou avaliar a degradação de solos do Agropolo Assu/Mossoró, RN, irrigados com águas de níveis crescentes de condutividade elétrica (CE) e relação de adsorção de sódio (RAS) cultivados com melão. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Foram utilizados 4 tipos de solos da região tradicionalmente cultivados com melão, irrigados com soluções preparadas para corresponderem a oito valores de condutividade elétrica (CE = 100, 250, 500, 750, 1250, 1750, 2250 e 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), e dois de relação de absorção de sódio (RAS = 4 e 12), combinados como tratamentos de salinidade, correspondendo também à maioria das águas de irrigação usadas no Nordeste, com baixo risco de sodificação, especialmente para a região em estudo. Assim, o experimento foi num arranjo fatorial 4 x 8 x 2 (quatro solos, oito CE e duas RAS), em três repetições, contabilizando 192 unidades experimentais. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com uma repetição por bloco. Foram avaliadas variáveis de planta (produção de matéria fresca e seca da parte aérea, e composição nutricional das mesmas), de solo (CE, pH do extrato de saturação, elementos solúveis, cátions trocáveis, capacidade de troca de cátions) e composição química do lixiviado. A produção de matéria fresca e seca de melão foi reduzida com o aumento da salinidade da água nos dois cultivos sucessivos, causando morte das plantas no segundo cultivo poucos dias após o transplantio. O incremento da salinidade da água promoveu elevação nos conteúdos acumulados de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ e Cl^- nas planta de melão, aumentando também o pH, a CE, os teores de Ca, Mg, Na e K solúveis e trocáveis, bem como a RAS e a PST dos solos. O uso de águas salinas promoveu aumento na salinidade e sodicidade dos quatro solos estudados, dificultando o crescimento das plantas de melão.

Palavras chave: salinidade, RAS e cucumis melon L.

SILVA, MICHELANGELO DE OLIVEIRA, M.S. Universidade Federal Rural de Pernambuco, March 2006. Cantaloupe growth and chemical characteristics of soil and lixivate under saline water irrigation. Adviser: Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire. Committee Members: Dra. Alessandra Monteiro Salviano Mendes e Dra. Adriana Maria de Aguiar Accioly.

ABSTRACT

Soils of arid and semi-arid regions may present salt accumulation damaging to plant growth, due to either natural salinization processes or human contribution by inadequate irrigation management. At the Brazilian Northeast, climatic conditions are favorable to salt accumulation in soil. The Assu/Mossoró agricultural production center, in this region, has shown high productive potential for irrigated fruit production for exportation, but the irrigation waters may have high salt content. Without an adequate water quality control, increasing salt accumulation may happen, which could lead to soil degradation by salinization. This work aims to evaluate Assu/Mossoró, RN, agricultural production center soil degradation under irrigation with increasing electrical conductivity (CE) levels, and sodium adsorption rates (SAR), when cultivated with cantaloupe. The work was conducted in a greenhouse at the Environmental Sciences Department of Semi-Arid Rural Federal University. Four soil types, traditionally used for cantaloupe production, were used and irrigated with solutions corresponding to eight CE (CE = 100, 250, 500, 750, 1250, 1750, 2250 and 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) and two SAR (SAR = 4 and 12) levels, as salinity treatments, corresponding to the irrigation waters used in the Northeast, with low sodification risk, especially in the studied area. So the experiment was a factorial arrangement of 4 x 8 x 2 (four soils, eight CE and two SAR), with three replicates, and 192 experimental units, on a randomized block design. Plant (fresh and dry matter production, and nutritional composition) and soil (CE, saturation extract pH, soluble elements, exchangeable cations, cation exchange capacity, and clay mineralogical composition) variables were evaluated. Fresh and dry cantaloupe production was reduced with increased water salinity in two succeeding crops, leading to plant death a few days after transplanting in the second cycle. Increased water salinity enhanced Ca, Mg, Na, K and Cl plant accumulation, as well as soil pH, CE, and soluble and exchangeable Ca, Mg, Na and K contents. Saline water use increased salinity and sodicity of the four studied soils, diminishing cantaloupe growth.

Word keys: salinity, SAR, cucumis melon L.

1. INTRODUÇÃO

O problema da salinidade em áreas irrigadas agrava-se quando o balanço de sais revela uma maior entrada que saída, promovendo um acréscimo da concentração salina na área considerada. Nessas condições, a água de irrigação, além de contribuir para o aumento da concentração salina, pode também provocar a elevação do lençol freático que através de ascensão capilar, passa a fornecer água e sais à zona radicular.

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 as irrigações mal manejadas. O excesso de fertilização, o uso de água salina e a ausência de drenagem adequada são fatores que resultam em situações desfavoráveis que podem resultar na degradação de solos.

O processo de acúmulo de sais no solo está intimamente relacionado com o processo de evapotranspiração. 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. Isso, juntamente 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 solos.

Na região produtora de melão do Estado do Rio Grande do Norte, a água utilizada para irrigação, provém de poços artesianos profundos que, embora de boa qualidade, apresenta alto custo de obtenção, o que impossibilita o seu uso por grande parte dos produtores e os fazem buscar fontes alternativas de água, como poços abertos no calcário Jandaíra, reduzindo consideravelmente seu custo. Entretanto, esta fonte de água tem o inconveniente de apresentar teores elevados de sais, podendo trazer, como conseqüência, a salinização dos solos e decréscimo no rendimento das culturas mais sensíveis. Além disso, devido à elevada concentração de bicarbonato de cálcio na água pode ocorrer uma elevação da alcalinidade do solo (MEDEIROS et al., 2003).

O excesso de sais no solo reduz a disponibilidade de água para as plantas, além de trazer problemas pelo efeito de íons tóxicos específicos, a tal ponto de afetar seu rendimento e a qualidade de sua produção.

O meloeiro é uma cultura exigente em temperaturas noturnas e diurnas elevadas durante todo o seu ciclo de cultivo, pois altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar elevam consideravelmente o teor de açúcares nas frutas, tornando-os mais saborosos e aromáticos, consistentes e com maior vida útil pós-colheita. Tais características justificam o sucesso da cultura em regiões de climas quentes, como a região Nordeste, especificamente no Estado do Rio Grande do Norte (MENDONÇA et al., 2004).

Desta forma, objetivou-se, nesse trabalho avaliar o crescimento de melão e o acúmulo de elementos nas plantas, em quatro solos do Rio Grande do Norte, irrigados com águas de níveis crescentes de condutividade elétrica (CE) e relação de adsorção de sódio (RAS).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Salinidade de solos

O total de áreas mundialmente ocupadas por solos com problemas de sais não é um dado muito claro, havendo discordâncias quanto aos valores absolutos, pois os critérios utilizados para a distinção de solos salinos e sódicos não são uniformes. Pelos processos de acumulação de sais serem decorrentes do material de origem, além das condições ambientais reinantes, a salinização torna-se bastante pronunciada em zonas de clima árido e semi-árido do mundo, podendo também aparecer em pontos isolados, desde que as condições locais favoreçam o seu desenvolvimento.

Solos de regiões áridas e semi-áridas podem apresentar acúmulo de sais a níveis prejudiciais ao desenvolvimento das plantas, devido a processos naturais de salinização ou à contribuição humana, pelo manejo inadequado da irrigação. Os sais em excesso prejudicam o crescimento das plantas tanto pelos efeitos diretos sobre o potencial osmótico da solução do solo e dos íons potencialmente tóxicos presentes em elevadas concentrações, quanto pela degradação de algumas propriedades físicas dos mesmos, reduzindo a infiltração da água e, com isso, dificultando o desenvolvimento vegetal (CHHABRA, 1996).

A degradação de solos pela salinização tem-se tornado um problema cada vez mais freqüente em regiões áridas, onde a reduzida precipitação não é suficiente para promover a lixiviação e retirada dos sais. A predominância de sódio em relação aos demais cátions no complexo de troca pode promover a dispersão e migração dos colóides no perfil do solo, com obstrução de poros, e reduzindo a movimentação de ar e água, dificultando o crescimento dos vegetais (FREIRE et al, 2003a).

A contribuição do sódio trocável na dispersão de solos vai depender do tipo de mineral de argila dominante. Caulinitas e ilitas apresentam muito pouca expansão, enquanto que esmectitas e, em menor extensão, vermiculitas, são marcadamente expansíveis. Entretanto, todos os minerais de argila apresentam certa dispersão. A dispersão desses minerais verifica-se em resposta a forças repulsivas que são, geralmente, atribuídas às duplas camadas difusas espessas associadas com a presença de sódio adsorvido (CHURCHMAN et al., 1995).

Além disso, a associação dos minerais de argila com outros minerais presentes afeta o comportamento dispersivo de solos sob condições sódicas. Hebsur et al.

(1990) encontraram que a presença de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, bem como o teor de matéria orgânica, a textura e a natureza dos minerais de argila, afetaram os valores da percentagem de sódio trocável crítica para dispersão.

Churchman et al. (1995) citam diversas formas pelas quais os óxidos de ferro e alumínio podem atuar na estabilidade dos solos, seja pela cimentação das partículas formando agregados, ou por alterações nas cargas elétricas, atuando sobre o estado de equilíbrio dos colóides.

Deve ser destacada a importância deste comportamento dos colóides favorecendo a dispersão na presença de sódio. Na dispersão pode ocorrer movimentação de partículas coloidais no perfil do solo e um bloqueio dos poros, interferindo sobre a condutividade hidráulica e a aeração.

Outro fator que também contribui para a diminuição da dispersão das partículas coloidais é a concentração salina da água. A classificação de águas para irrigação proposta por USSL Staff (1954), utilizada até hoje, define quatro faixas de condutividade elétrica (CE): de 100 a 250 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (C1), de 250 a 750 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (C2), de 750 a 2.250 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (C3) e acima de 2.250 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (C4); além de quatro faixas de relação de adsorção de sódio (RAS): de 2 a 10 (S1), de 10 a 18 (S2), de 18 a 26 (S3) e acima de 26 (S4). Indicando que o uso de águas de irrigação classificadas como C1, C2, C3 e C4 apresentam baixo, médio, alto e muito alto risco de salinização, respectivamente. E que as classificadas como S1, S2, S3 e S4 apresentam baixo, médio, alto e muito alto risco de sodificação, respectivamente.

Freire et al. (2003a) obtiveram melhores resultados em termos de melhoria das condições físicas de solos com o uso de águas classificadas como C3. Soluções mais concentradas (1.500 $\mu\text{S cm}^{-1}$) possibilitaram a manutenção de maiores valores de condutividade hidráulica relativa K_{OR} . Poderia, então, uma água de irrigação classificada como C3 ser utilizada sob certas condições em que outra água C1 promovesse limitação na K_{OR} ? É uma questão a ser analisada sob diversos aspectos, pois essa mesma solução, mais concentrada, pode estar conduzindo a um processo de salinização e, ou, sodificação mais acentuado do que a C1, pois contém mais sais. É preciso que haja uma preocupação constante com a natureza das

relações entre os componentes solúveis e trocáveis nos solos, para evitar a evolução dos processos de salinização e, ou, sodificação.

2.2 Agropólo Assu/Mossoró

A produção de melão no Brasil tem aumentado substancialmente nos últimos anos, sendo a Região Nordeste a principal produtora, contribuindo com mais de 90% da produção nacional. O Rio Grande do Norte vem se destacando como principal Estado produtor e exportador de melão do Brasil, por possuir condições edafoclimáticas que favorecem a cultura do meloeiro, como por exemplo, a alta luminosidade, os baixos índices pluviométricos, com exceção do período de janeiro a maio, e a baixa umidade relativa do ar, permitindo uma produção durante quase todo o ano (MENDONÇA et al, 2004). As regiões da Chapada do Apodi, no RN, e Baixo Jaguaribe no CE, são responsáveis pelas maiores áreas produtoras de melão no Semi-Árido do Nordeste, contribuindo significativamente para a economia da região (DIAS et al., 2004).

Na região de Mossoró-Baraúna, Rio Grande do Norte, principal pólo produtor de melão do Brasil, o plantio é iniciado geralmente no período de junho a julho e estende-se até fevereiro. Porém, em algumas áreas onde o solo apresenta textura mais arenosa, os produtores vêm plantando praticamente durante todo o ano, principalmente por que esses solos praticamente não armazenam água, o que diminui a umidade na superfície do solo.

O melão com qualidade satisfatória geralmente é produzido em solos de textura média e de boa fertilidade natural. Solos com problemas de drenagem, compactação e salinidade comprometem o desenvolvimento da cultura, contribuindo para a produção de frutos de qualidade inferior.

Na fruticultura irrigada os teores dos elementos contidos na água de irrigação, salinidade, quantidade e freqüência de aplicação têm grande influência sobre a qualidade dos frutos.

Algumas pesquisas têm mostrado o efeito da salinidade na redução da produtividade e qualidade do melão. Excesso de sódio e cloreto provoca

desequilíbrio iônico, que prejudica a seletividade da membrana das raízes, afetando a seletividade de outros nutrientes.

A tolerância à salinidade varia com o tipo de melão, desde sensível até moderadamente tolerante. Os principais efeitos da salinidade na qualidade do melão são resultados de dois fatores: restrição na absorção de água e desequilíbrio nutricional. Devido a esses fatores, as principais características do fruto afetadas pela salinidade são o tamanho, o peso, e o conteúdo de sólidos solúveis. Entretanto, pode existir um efeito positivo do aumento na salinidade na qualidade do melão, dependendo da concentração de cálcio, pois o aumento de ambos tende a aumentar o conteúdo de sólidos solúveis.

Convém lembrar que, em qualquer condição de estresse, a planta reflete o efeito dessas condições sobre a produtividade e qualidade dos frutos. A dificuldade de absorção de água decorrente da elevada salinidade pode levar ao aparecimento de frutos com cavidade anormal, da mesma forma que na irrigação com lâmina inferior as exigências da cultura.

O aumento do conteúdo de sólidos solúveis quando o melão é cultivado em condições salinas deve ser visto com cuidado, pois pode ser devido ao efeito da concentração dos sólidos solúveis pela diminuição do tamanho dos frutos, contrário ao que ocorre quando se aplica água em excesso no período da colheita, fazendo com que a planta absorva mais água, levando à redução da concentração de sólidos solúveis pelo efeito de diluição. Além disso, a diminuição do tamanho dos frutos implica numa diminuição da produtividade.

O interesse pela cultura do melão no Brasil tem aumentado muito nos últimos anos, pelas crescentes exportações e pelo incremento no consumo a nível de mercado interno. Atualmente, o Estado do Rio Grande do Norte destaca-se como principal produtor desta olerícola, tanto em área cultivada como em rendimento e suas principais áreas de cultivo se concentram próximo à faixa litorânea, mesmo com altos níveis de sais no solo e na água de irrigação.

A cultura do melão recebe a classificação, quanto à tolerância a salinidade, como sendo moderadamente tolerante (MASS & HOFFMAN, 1977). Feigin (1990), estudando respostas de plantas de melão Gália, em condição salina ($9,0 \text{ dS m}^{-1}$) e não salina ($1,5 \text{ dS m}^{-1}$) em solução nutritiva, obteve uma redução altamente significativa no peso de matéria seca. Mendlinger & Fossen (1993) concluíram que o aumento na concentração de sal na água de irrigação resultou em redução de frutos de melão do tipo "Gália". Efeitos semelhantes sobre a produção foram encontrados

por Pasternak et al. (1986) em frutos de melão. Entretanto, os produtores da região continuam utilizando águas de salinidade variável para irrigação do meloeiro, pois a redução no tamanho dos frutos tem colaborado para a melhoria da qualidade dos frutos como: no teor de açúcares e resistência pós-colheita, para exportação. Contudo, os limites de salinidade para obtenção de produtividades adequadas e a manutenção da qualidade ambiental não tem sido respeitados. Não é realizado um monitoramento das propriedades físicas e químicas dos solos, como também das águas utilizadas na irrigação.

Rocha et al. (2000), estudando o comportamento de cultivares de melão *Pele de sapo* submetido às condições de salinidade, observaram que a área foliar e a produção total de biomassa do meloeiro apresentaram uma redução progressiva, à medida que aumentou a salinidade da água de irrigação. A lâmina de irrigação inferior à necessidade hídrica da cultura produz estresse hídrico à planta afetando número e tamanho das folhas e área foliar total (HERNANDEZ, 1995).

2.3 Águas de irrigação

No Nordeste do Brasil, algumas áreas apresentam condições climáticas propícias aos processos de acúmulo de sais. Nestas, existem poços e açudes cujas águas são utilizadas para irrigação, representando um importante insumo na cadeia produtiva; no entanto, sua qualidade varia no tempo e no espaço. Sabe-se que na época de estiagem os açudes e poços têm a concentração de sais elevada, principalmente na época em que também são mais elevadas as temperaturas e a evapotranspiração da região e as culturas exigem maior suprimento de água. A fim de atender às necessidades fisiológicas das plantas, observa-se a importância do conhecimento também da variação sazonal da qualidade da água utilizada na irrigação para evitar problemas conseqüentes (SILVA JÚNIOR et al., 1999).

Em muitas áreas irrigadas do mundo, o suprimento de água de boa qualidade pode não ser suficiente para a manutenção da agricultura irrigada, ou seu custo ser elevado, buscando-se alternativas com o uso de água do lençol freático ou mesmo de drenagem. Geralmente, essas águas não são de boa qualidade e precisam ser

melhoradas para evitar a degradação dos solos e danos às plantas. Mace & Amrhein (2001) sugerem a aplicação de corretivos ao solo ou à água para evitar problemas de condutividade hidráulica desencadeados no período chuvoso.

Os municípios de Mossoró, Baraúnas e vizinhos a estes, no Estado do Ceará, que se localizam na Chapada do Apodi vêm, ultimamente, se destacando na produção de frutas e hortaliças irrigadas, sobretudo melão, produzindo tanto para o mercado interno como para o externo. A principal fonte de água para a irrigação na Chapada do Apodi é subterrânea, cuja captação é feita do arenito Açú, em poços com cerca de 1000 m de profundidade, e do calcário Jandaíra, com profundidade em torno de 100 m. Atualmente, o tipo de poço mais utilizado é aquele que explora o aquífero Jandaíra (MEDEIROS et al, 2003).

A maioria das águas da região da Chapada do Apodi são classificadas como C3S1 (38,66%), seguindo-se as águas C2S1 (19,53%) e C4S2 (15,98%), em sua maioria caracterizadas como salinas e com pouco risco quanto a sodicidade (MAIA et al., 1997). Segundo Medeiros & Gheyi (1997), Oliveira & Maia (1998), entre outros, as águas do aquífero Jandaíra apresentam concentrações de sais relativamente elevadas, podendo ser superiores a 2.000 mg L⁻¹. Neste caso, sua utilização fica condicionada à tolerância das culturas à salinidade e ao manejo da irrigação, com vistas ao controle da salinização dessas áreas.

Sob condições irrigadas, muitas vezes, os sais podem elevar a salinidade do solo, tornando-o mais salino. Com o aumento na quantidade de água aplicada em cada irrigação, a salinidade do solo pode ser reduzida devido ao aumento do volume de água percolado abaixo da região radicular da cultura. Quando as frações de lixiviação utilizadas na irrigação não são suficientes para impedir o aumento do teor de sais no solo durante o ciclo de uma cultura, faz-se necessária a redução da salinidade do solo, até um nível tolerado pela cultura a ser implantada, através da necessidade de lixiviação. Em águas que não são muito salinas de modo que, durante o ciclo da cultura, a salinidade do solo não ultrapasse a salinidade limiar, não seria necessário realizar-se lixiviações constantes, caso em que poderia ser realizada apenas uma lavagem de recuperação no final do ciclo da cultura (BLANCO & FOLEGATTI, 2002).

É de grande importância o controle criterioso da água usada na irrigação, principalmente quando de baixa CE e RAS mais elevada, o que pode favorecer a dispersão dos colóides. A infiltração da água de chuva em solos salino-sódicos, por exemplo, poderá agravar os problemas próprios desses solos, ao lixiviar os sais

solúveis e provocar a dispersão, promovendo redução na condutividade hidráulica (MCNEAL & COLEMAN, 1966; MINHAS & SHARMA, 1986).

Segundo Oliveira & Maia (1998), as determinações de pH e condutividade elétrica (CE) da água fornecem subsídios para avaliar a possibilidade de precipitação de sais e a indução da salinidade em função da prática da irrigação; a relação de adsorção de sódio (RAS) assume papel preponderante, posto que a combinação CE e RAS serve para avaliar os perigos que a água oferece, respectivamente, em termos de indicação de salinidade e aumento dos teores de sódio na solução do solo e, conseqüentemente, problemas de infiltração. Freire et al. (2003a) encontraram que a condutividade hidráulica de solos afetados por sais é um reflexo da associação CE e RAS da água de irrigação. Assim, à medida que a RAS crescente provoca reduções na passagem de água, o aumento na CE equilibra a influência do sódio, melhorando a agregação das partículas e, conseqüentemente, a condução de ar e água através dos poros do solo. Entretanto, os autores destacam a necessidade de pesquisas avaliando os efeitos dos sais no desenvolvimento de plantas e nas propriedades dos solos em ciclos sucessivos, devido ao acúmulo destes ao longo do tempo.

2.4 Efeito dos sais nas plantas e nos solos

2.4.1 Na planta

A redução de disponibilidade de água no solo representa fator ambiental de efeito limitante ao crescimento, rendimento e qualidade da produção. Muitos processos fisiológicos, como germinação, crescimento e desenvolvimento foliar, acúmulo de fitomassa, tamanho e maturação do fruto, são afetados diretamente,

tanto pelo déficit hídrico quanto pela concentração de sais na água de irrigação sendo, conseqüentemente, afetado todo o ciclo da cultura.

O aumento da concentração de sais solúveis no solo afeta o crescimento das plantas em virtude do aumento da tensão osmótica da solução do solo, que reduz a absorção de água pelas plantas, da acumulação de quantidades tóxicas de vários íons e de distúrbios no balanço de íons (HENRY & JOHNSON, 1977; CHHABRA, 1996). Por outro lado, a saturação do complexo de troca pelo Na resulta em condições físicas do solo altamente desfavoráveis ao crescimento vegetal, além de provocar distúrbios nutricionais (USSL STAFF, 1954; OLIVEIRA, 2001; DIAS et al., 2004).

Espécies e cultivares têm tolerância variável à salinidade, o que faz com que a necessidade e o manejo da lixiviação de sais no solo seja específica para cada cultura. Em certos casos, as águas salinas promovem alterações nas condições físico-químicas iniciais do solo, em proporções que desfavorecem o crescimento e desenvolvimento da maioria das culturas, podendo uma mesma água ser recomendada para um certo tipo de solo ou cultura, mas ser inadequada para outros (MEDEIROS et al., 2005).

2.4.2 No solo

Quando a concentração de sais de sódio atinge valores muito altos, o Na solúvel começa a ser adsorvido pelo complexo de troca, iniciando-se a primeira etapa do processo de sodificação, que leva à formação dos solos sódicos. A passagem do Na⁺ para o complexo de troca começa a ser importante quando este cátion constitui a metade ou mais dos cátions solúveis da solução do solo (USSL STAFF, 1954). Nestas condições os carbonatos e bicarbonatos de Ca²⁺ e Mg²⁺, por serem menos solúveis, precipitam-se à medida que a solução do solo se concentra, em conseqüência da evapotranspiração, deixando o Na⁺ como o único cátion da solução. Desta forma, apesar da menor seletividade, o Na⁺ consegue deslocar os outros cátions por ação de massa (RIBEIRO et al., 2003).

Sumner (1995) apresenta uma revisão sobre os efeitos do magnésio trocável, destacando que a relação Mg/Ca aumenta com a elevação da PST, facilitando a retenção do magnésio em detrimento do cálcio, promovendo mais dispersão. Solos também podem apresentar maior preferência por sódio em sistemas Na-Mg do que

nos Na-Ca, fazendo com que a adsorção de sódio seja incrementada em presença do magnésio, aumentando os problemas de sodicidade e suas conseqüências. Observa-se que a presença de maiores proporções de magnésio em solos ou mesmo na água usada na irrigação proporciona aumento na argila dispersa e conseqüente redução na condutividade hidráulica de solos, principalmente a valores mais baixos de RAS. Assim, o autor enfatiza a necessidade de um monitoramento das relações Na/Ca, Na/Mg e Mg/Ca em solos e águas de irrigação.

Os íons da solução do solo tendem a entrar em equilíbrio com os íons adsorvidos no complexo de troca, por isso a solução do solo nestas condições está, em geral, com altas concentrações de sais solúveis. Por outro lado, quando os teores de sódio na água de irrigação atingem valores elevados em relação ao cálcio e magnésio, esta pode promover um processo de sodificação do solo, degradando suas características físicas (FREIRE et al., 2003b).

O grau de degradação das condições físicas do solo em presença de um excesso de sódio trocável é função do tipo e teor dos minerais de argila. Argilas do tipo 2:1 expansivas (Ex: Montmorilonita) em presença de altos teores de sódio trocável tendem a permanecer expandidas e dispersas. Nessas condições o solo torna-se impermeável ao ar e a água. A condutividade hidráulica do solo diminui até que o movimento de água torna-se quase nulo ou nulo, sendo esse o primeiro estágio do processo de degradação de um solo. A segunda fase deste processo é iniciada com a dispersão dos colóides do solo (FREIRE et al., 2003b).

Para os solos salinos, onde a concentração de cátions e ânions é mais elevada, há uma tendência de pressão no sentido da diminuição da espessura da dupla camada iônica. Assim, solos com excesso de sais solúveis apresentam maior propensão a flocular, em condições naturais.

O entendimento das relações entre os íons presentes na solução dos solos afetados por sais, bem como na água, possibilita planejar um manejo adequado dos mesmos quanto ao cultivo, irrigação e drenagem, ou correção com maior segurança. Águas de irrigação contendo sais de sódio devem ser utilizadas com cautela, monitorando-se as alterações que podem provocar nos solos para evitar problemas de degradação, pela alta solubilidade do sódio, principalmente em sistemas onde não predomina em condições naturais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras de solos coletadas no Agropolo Assu/Mossoró, no Rio Grande do Norte, em áreas tradicionalmente cultivadas com melão. O critério adotado para a escolha foi o de atender a uma gradação na textura e composições mineralógicas. Para isto, foram coletadas e analisadas 20 amostras, selecionando-se quatro solos: CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico típico - (CXve), ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arênico – (PVd), LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico argissólico – (LVAe), e NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico típico (Rve). As amostras de solo foram coletadas do horizonte superficial, na profundidade de 0-30 cm, atendendo aos critérios pré-definidos (textura e mineralogia).

Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm para a caracterização física e química (Quadros 1 e 2), e 4 mm para a montagem do experimento. Na caracterização física, procedeu-se à análise granulométrica, pelo método da pipeta, utilizando-se o hexametáfosfato de sódio $[(NaPO_3)_6]$, como dispersante (EMBRAPA, 1997). A densidade do solo foi determinada pelo método da proveta e a densidade das partículas, pelo método do balão volumétrico. Porosidade total do solo pela percentagem de saturação em volume, microporosidade pelo método da mesa de tensão; calculando-se a macroporosidade (EMBRAPA, 1997). A argila dispersa em água foi determinada pelo método da pipeta, calculando-se o grau de floculação e o grau de dispersão (EMBRAPA, 1997). Foram preparados os extratos de saturação da pasta para as medidas de pH e CE e para as determinações de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) e ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^-) solúveis, calculando-se a relação de adsorção de sódio (RAS). Foi também medido o pH em água (1:2,5) e determinados os cátions trocáveis a pH 7,0 extraídos com acetato de amônio (USSL STAFF, 1954), dosando-se o Ca^{2+} e o Mg^{2+} por volumetria e o Na^+ e o K^+ por fotometria de chama. A capacidade de troca de cátions foi determinada pelo método do acetato de sódio/acetato de amônio, calculando-se a percentagem de sódio trocável (PST) dos solos (USSL STAFF, 1954). O carbono orgânico pelo método do Walkey-Black, o nitrogênio total pelo método Kjeldahl por destilação a vapor, conforme (EMBRAPA, 1999). O fósforo disponível extraído por Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997) e Olsen pelo método de Olsen et al. (1954), dosado conforme Braga & Defelipo (1974). E o fósforo remanescente determinado segundo Alvarez V. et al. (1999).

Quadro 1. Atributos físicos das amostras do Cambissolo Háplico (CXve), Argissolo Vermelho (PVd), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAe) e Neossolo Flúvico (RVe) estudados na profundidade de 0-30 cm

Solo	Areia	Silte	Argila	ADA ¹	GF ²	GD ³	Densidade		Porosidade		
							Solo	Partículas	Macro	Micro	Total
				g kg ⁻¹		g cm ⁻³		%			
CXve	502	234	264	84	68	32	1,46	2,47	8	32	40
PVd	893	14	93	21	86	14	1,70	2,45	19	12	31
LVAe	810	42	148	55	41	59	1,68	2,43	13	19	32
RVe	252	500	248	21	91	9	1,40	2,55	5	48	53

1 – Argila dispersa em água; 2 – Grau de floculação; 3 – Grau de dispersão.

Foram estudados quatro tipos de solos da região tradicionalmente cultivados com melão, irrigados com soluções preparadas para corresponderem a oito valores de CE e dois de RAS, combinados como tratamentos de salinidade. Assim, o experimento correspondeu a um arranjo fatorial 4 x 8 x 2 (quatro solos, oito valores de CE e dois de RAS), em três repetições, contabilizando 192 unidades experimentais. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com uma repetição por bloco.

As faixas de CE das águas aplicadas assemelharam-se às águas comumente encontradas na região, com valores de 100, 250, 500, 750, 1.250, 1.750, 2.250 e 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, classificadas como C₁, C₂, C₃ e C₄ que, segundo USSSL Staff (1954), estão associadas, respectivamente, a baixo, médio, alto e muito alto risco de salinização em águas de irrigação. Nesta faixa de CE estudada incluem-se, também, as águas usadas em irrigação no Nordeste do Brasil, em sua maioria (OLIVEIRA & MAIA, 1998; MEDEIROS, 2003). As referidas águas foram preparadas na forma de soluções de NaCl e CaCl₂.2H₂O, nos valores de 4 e 12 de RAS para todas as águas, correspondendo também à maioria das águas de irrigação usadas no Nordeste, com baixo risco de sodificação, especialmente para a região em estudo.

Quadro 2. Atributos químicos das amostras do Cambissolo Háplico (CXve), Argissolo Vermelho (PVd), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAe) e Neossolo Flúvico (RVe) estudados na profundidade de 0-30 cm

Atributo	Solo			
	CXve	PVd	LVAe	RVe
pH (1:2,5)	7,20	5,40	7,10	8,10
CEe ¹ (dS m ⁻¹)	0,20	0,10	0,10	0,65
C.O. (g kg ⁻¹)	6,30	4,30	2,54	8,60
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,40	0,90	2,20	12,60
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,80	0,40	0,80	4,25
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,16	0,05	0,04	1,10
K ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,53	0,10	0,22	0,98
CTC (cmol _c dm ⁻³)	7,25	4,98	4,66	14,98
PST ² (%)	2,21	1,00	0,86	7,34
P _{Mehlich} (mg dm ⁻³)	16,00	5,00	19,00	42,00
P _{Olsen} (mg dm ⁻³)	8,00	3,50	10,50	31,00
P _{Rem} (mg L ⁻¹)	31,20	46,60	48,80	35,00
Extrato da pasta:				
pH	7,10	5,90	6,50	7,90
CEes ³ (dS m ⁻¹)	0,53	0,28	0,62	0,96
Ca ²⁺ (cmol _c L ⁻¹)	0,75	0,25	1,00	1,00
Mg ²⁺ (cmol _c L ⁻¹)	0,13	0,00	0,13	0,13
Na ⁺ (cmol _c L ⁻¹)	0,14	0,09	0,15	0,15
K ⁺ (cmol _c L ⁻¹)	0,03	0,03	0,05	0,05
Cl ⁻ (cmol _c L ⁻¹)	0,25	0,15	0,50	0,55
CO ₃ ²⁻ (cmol _c L ⁻¹)	0,00	0,10	0,00	0,00
HCO ₃ ⁻ (cmol _c L ⁻¹)	0,75	0,88	0,75	0,88
SO ₄ ²⁻ (cmol _c L ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
RAS ⁴	0,21	0,24	0,20	0,28

1 – Condutividade elétrica do extrato 1:5; 2 – Percentagem de sódio trocável; 3 – Condutividade elétrica do extrato de saturação; 4 – Relação de adsorção de sódio.

Uma vez selecionados os solos e as águas a serem utilizadas como tratamentos de salinidade, foi montado o ensaio principal. O trabalho foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN.

O experimento foi montado em vasos de polietileno com capacidade de 10 dm³, perfurados na base, para instalação de drenos para coleta do lixiviado. Para evitar perdas de solo, os orifícios foram recobertos com espuma.

As amostras de solo preparadas foram acondicionadas nos vasos, com uma massa de 10 kg/vaso, recebendo irrigação com as respectivas soluções pré-estabelecidas para atender à demanda pela planta (80% da capacidade máxima de retenção de umidade do solo) e um volume adicional para proporcionar a lixiviação, correspondendo a 50 % do volume de poros de cada solo. O excesso de água lixiviado foi coletado em tubos plásticos acoplados aos vasos, sendo recolhidos semanalmente, medidos seus volumes e separadas porções de 300 mL para as análises químicas.

As sementes de melão do tipo amarelo, cultivar Mandacaru, foram semeadas em bandejas de 128 células com substrato comercial, para a obtenção das mudas, como de costume na região. Depois de acondicionadas as amostras de solo nos vasos, foi realizada a primeira irrigação e, no mesmo dia, foram transplantadas as mudas de melão com 8 a 15 dias após a semeadura, deixando-se uma planta por vaso, conduzido-as em haste única por tutoramento. Foi feita uma adubação para todos os tratamentos para suprir as necessidades da cultura, essa adubação foi de acordo com as análises químicas e as exigências nutricionais para cada fase de desenvolvimento do melão. A adubação fosfatada foi em cova, cerca de 10 cm de profundidade, utilizando como fonte o superfosfato triplo (160 kg ha⁻¹), o potássio na forma de cloreto de potássio (160 kg ha⁻¹), nitrogênio na forma de uréia (40 kg ha⁻¹) e micronutrientes na forma de adubo foliar com base no boro, micronutriente de maior exigência pela cultura (6 kg ha⁻¹), foram via fertirrigação. A cada 10 dias foi realizada a coleta do lixiviado, exceto na primeira coleta que o Neossolo Flúvico não tinha lixiviado material suficiente para ser analisado.

Aos 45 dias após o plantio, foram coletadas as plantas cortando-se 1 cm acima da superfície do solo, acondicionado-as em sacos de papel, e levado-as para secar em estufa de circulação forçada a 65°C por 48 horas ou até adquirirem peso constante. Após a secagem, o material foi triturado em moinho e guardado para posterior análise.

Neste momento foi retirada uma sub-amostra de solo de cada vaso para análises químicas, preparando-se o solo, para o segundo cultivo, porém por motivos de falta de mudas o transplântio demorou sete dias, ficando os vasos em casa de vegetação sem irrigação. Seguiu-se todo o procedimento descrito para o primeiro ciclo (plantio, desbaste e irrigação).

Durante esse período em que o solo permaneceu sem receber irrigação, e com uma maior evaporação, foram observadas manchas brancas no Neossolo Flúvico, e pontos claros nos outros solos estudados, podendo indicar a precipitação de sais na superfície, que pode ter refletido no segundo cultivo do melão.

No segundo cultivo, após oito dias das plantas transplantadas, começou-se a observar tombamento e morte nas plantas, com sintomas de toxidez por salinidade (as plantas murchavam ainda verdes, amarelecimento, com necrose interneval e nas bordas das folhas mais velhas para as mais novas). As plantas foram retiradas e acondicionadas em sacos de papel, e levadas para estufa por 48 horas ou até adquirirem peso constante, para análises posteriores. Aos vinte dias após o transplântio, foram retiradas as plantas que restavam, e uma sub-amostra de cada parcela de solo, seguindo todo o procedimento descrito para o primeiro cultivo.

Nas amostras de solo coletadas após o primeiro cultivo foram medidos pH em água na relação (1:2,5) e CE no extrato solo/água de (1:5), e foram determinados os teores dos cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), conforme métodos citados anteriormente.

Ao final do experimento, com maiores volumes de solo disponíveis, foram preparados os extratos de saturação da pasta para as medidas de pH e CE e para as determinações de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) e ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^-) solúveis, calculando-se a RAS. Foram também medidos o pH em água na relação (1:2,5) e CE no extrato (1:5). E determinados os cátions trocáveis, calculando-se a PST dos solos (USSL STAFF, 1954).

No lixiviado coletado a cada 10 dias foram medidos o pH e a CE, determinando-se também os cátions e ânions solúveis (USSL STAFF, 1954).

As amostras de planta foram submetidas à extração nitro-perclórica para determinação dos teores de Ca, Mg, Na, K (Malavolta et al., 1989) e Cl foi extraído em água (BEZERRA NETO & BARRETO, 2004). As variáveis foram submetidas à análise da variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias entre os tratamentos de RAS. Foram, também, ajustadas equações de

regressão das variáveis dependentes em função dos tratamentos de condutividade elétrica aplicados, visando-se obter estimativas de dados de produção e de composição do solo e lixiviado com o uso de águas de irrigação com diferentes níveis de sais, para os fatores principais (solo e RAS).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Crescimento e acumulação de elementos no meloeiro.

A medida que a concentração de sais das soluções de percolação foi aumentando, houve um decréscimo na produção de matéria fresca e seca, isso para todos os solos estudados (Quadro 3), comprovando o efeito limitante da salinidade na produtividade do meloeiro. Esses mesmos resultados foram encontrados por Farias et al. (2003), observando que as plantas irrigadas com águas de níveis de salinidade crescentes apresentaram menor produção de matéria fresca e seca aos 45 dias de cultivo. A menor produção de matéria fresca e seca das plantas do meloeiro para os níveis de salinidade mais elevados reflete o efeito do potencial osmótico da solução do solo, inibindo a absorção de água pela planta e, conseqüentemente, reduzindo seu crescimento.

A RAS não interferiu na produção de matéria fresca e seca das plantas, exceto para o Neossolo Flúvico (Quadro 3). O mesmo foi observado para os conteúdos de Ca, Mg, Na, K e Cl acumulados nas plantas. Apenas o conteúdo de K acumulado nas plantas cultivadas no Argissolo Vermelho foi superior na RAS 4 em relação à RAS 12; enquanto que no Neossolo Flúvico o aumento da RAS de 4 para 12 proporcionou aumento no acúmulo de Na e K nas plantas de melão no primeiro cultivo. Apesar de nesse solo o acúmulo de Na ter aumentado, as plantas também apresentaram elevados conteúdos de Ca e Mg e, mesmo o K, também foi superior ao Na. Assim, o maior acúmulo de Na não chegou a afetar a produção de matéria fresca e seca das plantas, ao contrário, refletiu num leve incremento dessa produção.

Avaliando a produção ao longo do ciclo da cultura, Souza et al. (2003) observaram que a produção de matéria fresca e seca aumentou com o incremento da salinidade da água de irrigação aos 15 dias, daí decrescendo até os 45 dias, estabilizando-se após este período. O aumento da salinidade provocou também aumento na fitomassa seca da parte aérea até os 15 dias, com decréscimo até aos 45 dias, seguido de estabilidade até o final do ciclo. Quanto a fitomassa seca total, houve acréscimo aos 15 dias, com posterior estabilidade.

Quadro 3. Produção de matéria fresca (MF), matéria seca (MS) e conteúdos de Ca, Mg, Na, K e Cl no primeiro cultivo de plantas de melão irrigadas com águas de percolação de RAS diferentes nos quatro solos estudados

VARIÁVEL	RAS	SOLO			
		CXVe	PVd	LVAe	NVe
MF (g planta ⁻¹)	4	136,99 a	65,49 a	107,97 a	183,37 b
	12	135,06 a	58,71 a	103,89 a	193,76 a
	Média	136,03 B	62,11 D	105,93 C	184,23 A
CV – 12,83%					
MS (g planta ⁻¹)	4	13,62 a	5,67 a	8,99 a	17,98 b
	12	13,41 a	4,73 a	8,27 a	18,50 a
	Média	13,52 B	5,21 D	8,63 C	17,71 A
CV – 15,57%					
Ca (mg planta ⁻¹)	4	895,58 a	252,74 a	511,33 a	1049,53 a
	12	887,99 a	209,31 a	470,43 a	1190,92 a
	Média	891,79 B	231,52 D	490,88 C	1158,35 A
CV – 22,48%					
Mg (mg planta ⁻¹)	4	96,68 a	41,54 a	94,91 a	156,65 a
	12	116,56 a	39,32 a	86,28 a	194,06 a
	Média	106,32 B	40,43 C	90,60 B	194,62 A
CV – 53,94%					
Na (mg planta ⁻¹)	4	2,16 a	1,45 a	1,88 a	2,87 b
	12	2,24 a	1,11 a	2,14 a	4,36 a
	Média	2,20 B	1,28 C	2,01 B	3,74 A
CV – 28,09%					
K (mg planta ⁻¹)	4	8,35 a	4,48 a	6,66 a	11,90 b
	12	7,75 a	3,51 b	6,77 a	14,56 a
	Média	8,05 B	3,99 D	6,72 C	13,58 A
CV – 21,25%					
Cl (mg planta ⁻¹)	4	353,87 a	179,88 a	284,23 a	531,01 a
	12	351,95 a	144,02 a	261,39 a	603,79 a
	Média	352,91 B	161,95 D	272,81 C	588,02 A
CV – 18,63%					

Médias seguidas de mesma letras minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro de cada solo.

Foram observadas produções de matéria fresca e seca diferenciadas entre as plantas cultivadas nos quatro solos na seqüência Neossolo > Cambissolo > Latossolo > Argissolo, coincidindo com a ordem de acúmulo dos elementos avaliados (Quadro 3). As plantas cultivadas no Neossolo produziram 2,97 vezes mais matéria fresca e 3,30 vezes mais matéria seca do que aquelas no Argissolo, menos produtivas. O Neossolo, apesar de conter maior teor de Na^+ que os demais solos (Quadro 2), além de receber esse elemento nas soluções aplicadas, também é o solo que apresenta teores mais elevados de Ca, Mg e K, elementos essenciais, enquanto que o Argissolo é o solo mais pobre nestes nutrientes (Quadro 2), refletindo nos conteúdos acumulados dos mesmos nas plantas de melão (Quadro 3). A seqüência de produção entre os solos coincidiu com a de acúmulo dos elementos nas plantas e com os teores destes nos solos ao original. Isso parece indicar que solos mais ricos em Ca, Mg e K podem manter o fornecimento desses nutrientes às plantas, mesmo com acréscimos de Na ao sistema.

Os conteúdos de Cl nas plantas encontram-se em valores superiores aos de Mg e K, apesar deste ser um micronutriente. Isso ocorre em consequência da composição da solução, a base de cloretos de Na e Ca, proporcionando grandes acúmulos deste elemento.

Apesar das soluções de RAS 12 serem constituídas, proporcionalmente, de maiores teores de Na em relação ao Ca, não foi observada influência da RAS nos conteúdos acumulados de Na e Ca pelas plantas de melão. É possível que a diferença entre os valores de RAS adotados não tenha sido suficiente para promover alterações na absorção dos mesmos, inibindo ou estimulando-as.

Para observar o comportamento dos dados de produção e de conteúdos acumulados de Ca, Mg, Na, K e Cl em relação à salinidade das soluções aplicadas foram ajustados modelos de regressão para cada solo. As equações selecionadas apresentaram parâmetros significativos, no mínimo, a 10% de probabilidade e com elevado coeficiente de determinação para todas as variáveis analisadas, comprovando a influência da CE da água usada na irrigação tanto sobre a produção da planta, quanto em relação ao acúmulo dos elementos pelo meloeiro. Com as equações ajustadas foram elaboradas figuras para ilustrar o comportamento dessas variáveis nos quatro solos estudados (Figuras 1, 2, 3 e 4).

A produção de matéria fresca e matéria seca foi reduzida com os incrementos da CE, pois todas as equações são decrescentes, com diferenças entre os solos em estudo (Figura 1). As plantas cultivadas no Argissolo Vermelho e no Latossolo

Vermelho Amarelo foram as que apresentaram menores produções de matéria fresca e seca, seguidas pelas do Cambissolo Háplico e, finalmente, as do Neossolo Flúvico, que promoveu maiores produções.

No Argissolo, a produção de matéria fresca e seca foi mais afetada, atingindo valores mínimos a partir da $CE = 1.750 \mu\text{S cm}^{-1}$, na solução, sendo esta ainda classificada como C3, água muito utilizada na irrigação com melão na região (MEDEIROS et al., 2003). Para os outros solos, esta mesma CE não afetou muito a produção da cultura, confirmando o que foi observado anteriormente sobre a diferenciação dos solos na capacidade de manutenção da cultura do melão com águas salinas.

As equações obtidas para os dois valores de RAS das soluções estiveram sempre próximas, exceto para o Neossolo. Neste, a RAS 4 proporcionou produção de matéria seca inferior à RAS 12, que pode ter ocorrido em função do alto teor de Ca neste solo (Quadro 2), que correspondem a uma elevada proporção deste elementos no complexo de troca do solo. Com o uso de uma solução mais rica em Ca, como é o caso da RAS 12, pode ter ocorrido dificuldade de absorção de Mg e K por competição entre os cátions.

Souza et al. (2003), considerando apenas os tratamentos onde a salinidade da água de irrigação foi mantida constante durante todo o ciclo da cultura, observaram uma perda na produção de aproximadamente 10% por incremento de uma unidade na CE da água de irrigação.

O incremento nos conteúdos acumulados dos elementos ocorreu nos quatro solos, destacando-se os elevados valores de Cl na planta, inferiores apenas ao de Ca (Figuras 2, 3 e 4). Este elemento já é encontrado naturalmente na solução do solo (Quadro 2), além de ter sido adicionado nas soluções de percolação na forma de NaCl e CaCl_2 .

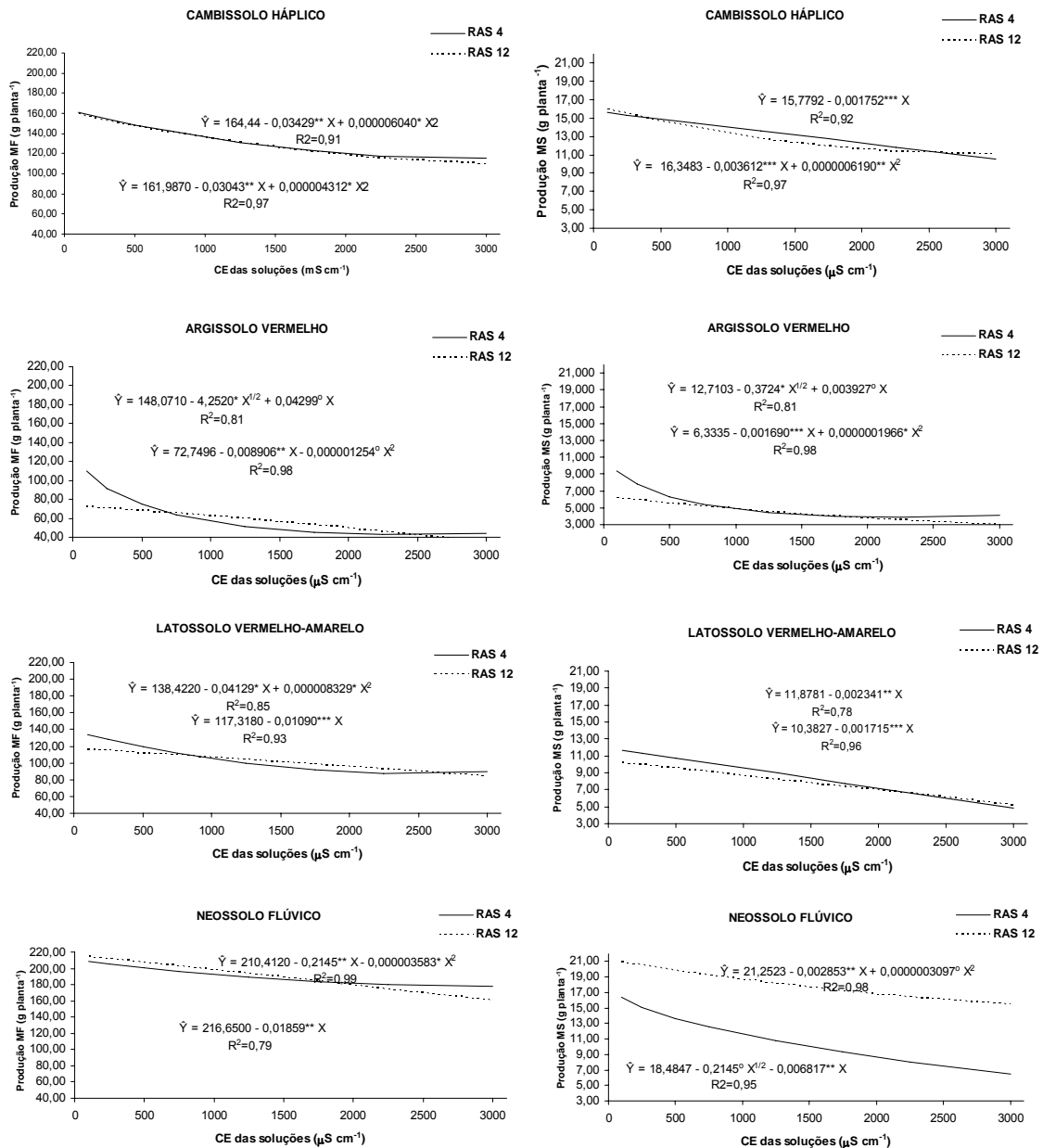


Figura 1. Equações de regressão da produção de matéria fresca (MF), matéria seca (MS) em função da condutividade elétrica e das RAS da solução de percolação no primeiro cultivo para os quatro solos estudados.

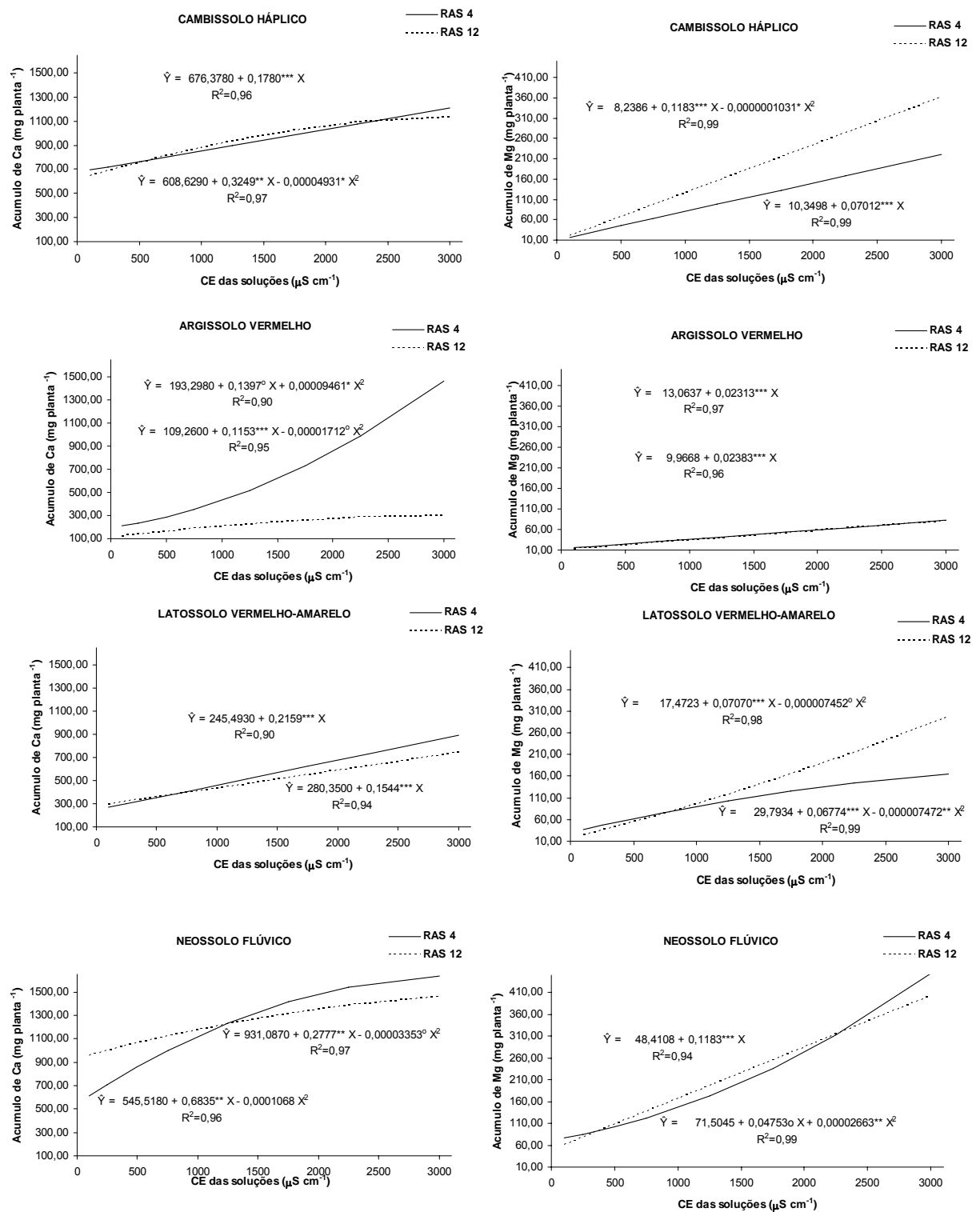


Figura 2. Equações de regressão dos conteúdos de Ca e Mg acumulados em função da condutividade elétrica e da RAS da solução de percolação no primeiro cultivo para os quatro solos estudados.

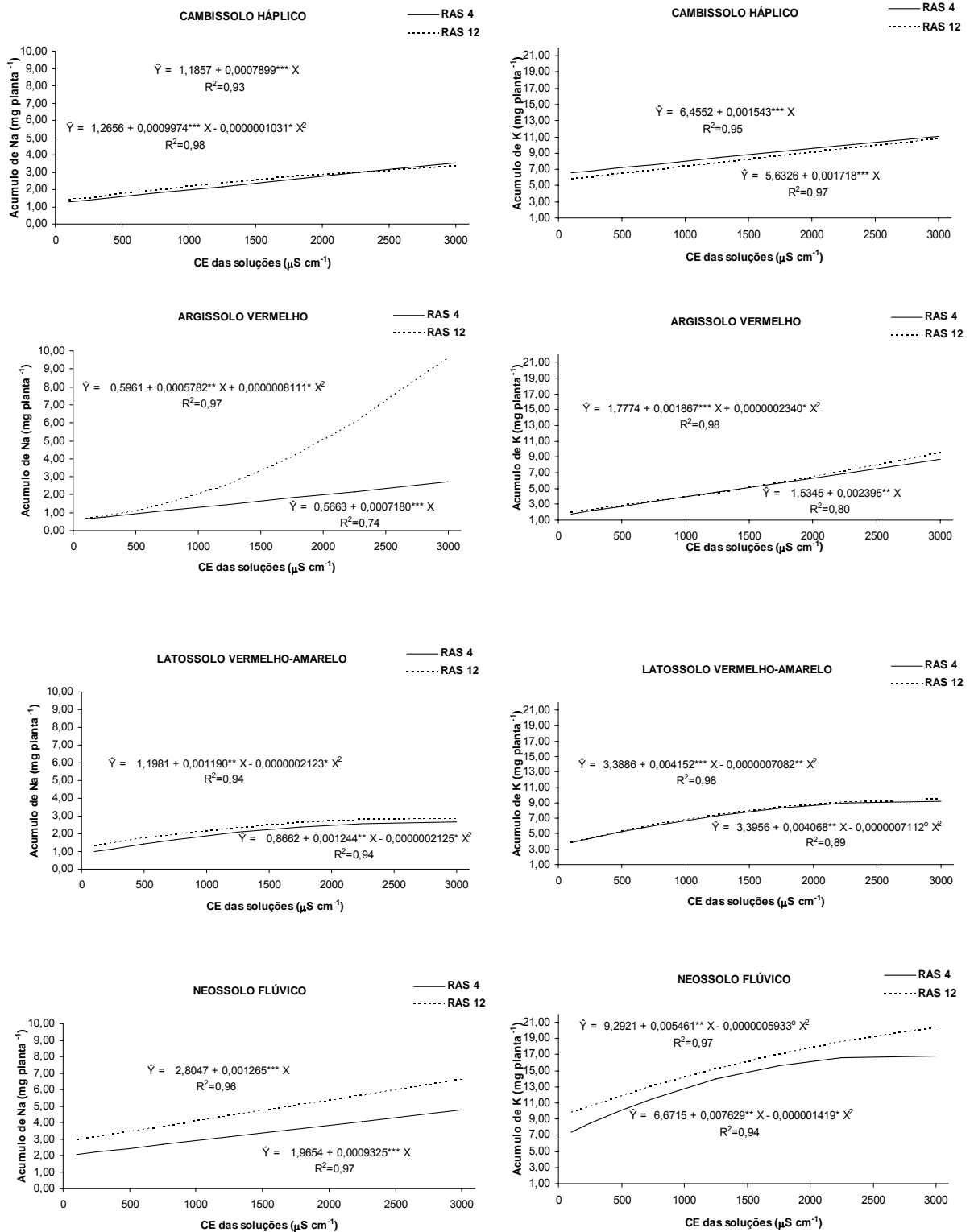


Figura 3. Equações de regressão dos conteúdos de Na e K acumulados em função da condutividade elétrica e da RAS da solução de percolação no primeiro cultivo para os quatro solos estudados.

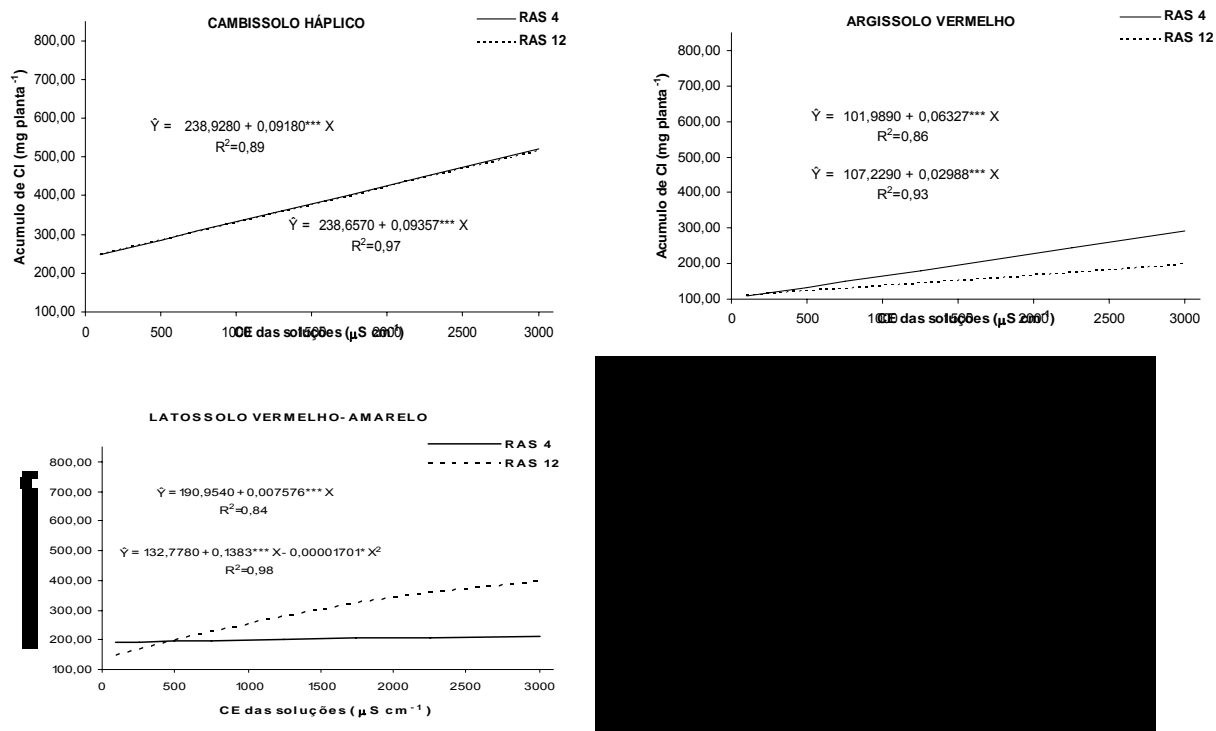


Figura 4. Equações de regressão do conteúdo de Cl acumulado em função da condutividade elétrica da solução de percolação no primeiro cultivo para os quatro solos estudados.

No segundo cultivo de melão também ocorreu decréscimo de produção de matéria seca e aumento na acumulação de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ e Cl^- (Quadro 4). Os sintomas de toxidez foram observados no início do ciclo da cultura oito dias após o transplântio, evoluindo rapidamente e culminando com a morte das plantas. Possivelmente, os sais que permaneceram no solo fornecido pelas águas do primeiro ciclo, e concentrando-se com a evaporação da água do solo no intervalo entre os dois ciclos, contribuíram para este fato. Quando as plantas do segundo ciclo foram transplantadas, não suportaram a elevada salinidade do solo, por ainda se encontrarem num estado muito frágil. Isto se confirma pelas baixas produções alcançadas, que corresponderam, no máximo, a vinte dias de cultivo, com decréscimos em relação à elevação da CE das soluções aplicadas.

Observa-se ainda que, do primeiro cultivo para o segundo, a redução da MS foi mais intensa com o incremento na salinidade da água de irrigação, comportamento este que pode ser atribuído à maior salinidade do solo com o tempo de cultivo, com isto,

Quadro 4. Produção de matéria seca (MS) e conteúdos de Ca, Mg, Na, K e Cl no segundo cultivo de plantas de melão irrigados com águas de salinidade variável para os quatro solos estudados

VARIÁVEL	RAS	SOLO			
		CXVe	PVd	LVAe	NVe
MS (g planta ⁻¹)	4	0,86 a	0,37 a	0,33 a	0,50 a
	12	0,80 a	0,31 a	0,33 a	0,39 a
	Média	0,83 A	0,34 BC	0,33 C	0,44 B
CV – 41,93%					
Ca (mg planta ⁻¹)	4	32,16 a	26,34 a	32,15 a	28,61 a
	12	29,75 a	24,61 a	32,34 a	21,88 a
	Média	30,96 AB	25,48 B	32,25 A	25,24 B
CV – 42,24%					
Mg (mg planta ⁻¹)	4	6,41 a	2,64 a	2,91 a	2,83 a
	12	5,45 a	1,73 a	2,42 a	2,73 a
	Média	5,93 A	2,19 B	2,67 B	2,78 B
CV – 64,35%					
Na (mg planta ⁻¹)	4	2,86 a	2,72 a	2,51 a	3,09 a
	12	2,57 a	2,57 a	2,27 a	2,57 b
	Média	2,72 A	2,65 A	2,39 A	2,83 A
CV – 33,81%					
K (mg planta ⁻¹)	4	0,37 a	0,50 a	0,56 a	0,45 a
	12	0,46 a	0,57 a	0,49 a	0,54 a
	Média	0,41 B	0,53 A	0,53 A	0,50 AB
CV – 33,19%					
Cl (mg planta ⁻¹)	4	78,85 a	43,15 a	39,36 a	49,28 a
	12	75,13 a	36,76 a	39,52 a	47,28 b
	Média	78,43 A	41,21 C	40,69 C	54,53 B
CV – 44,23%					

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro de cada solo

reduzindo o potencial osmótico da solução do solo, dificultando a absorção de água pelas plantas. Isso promoveu diminuição no crescimento e produção do meloeiro com o incremento da concentração salina, concordando com Meiri et al. (1982). Alencar et al. (2003), observaram que, as reduções na fitomassa fresca foram superiores a 16% por aumento unitário da condutividade elétrica, enquanto a fitomassa seca da parte aérea foi reduzida em 15,5%.

Da mesma forma que no primeiro cultivo, em geral, não foi observada a influência da RAS da solução de percolação sobre a produção de matéria seca e os conteúdos acumulados. Contudo, entre os solos os resultados se inverteram, sendo o Cambissolo o que promoveu maiores produções de matéria seca das plantas de melão, com maiores acúmulos de Ca^{2+} (semelhante ao Latossolo), Mg^{2+} e Cl^- . Para o Na^+ na planta, não foram observadas diferenças entre os solos estudados.

Para todos os fatores em estudo para planta, foram ajustadas equações de regressão em função das CEs, para melhor explicar esses comportamentos, como também estimar uma formulação de águas que melhor se adaptem as condições sem que haja perdas na produção (Figuras 5, 6, 7 e 8).

Os problemas de morte das plantas influenciaram, também nos elevados valores do coeficiente de variação verificados (Quadros 4), que superaram os do primeiro cultivo (Quadro 3).

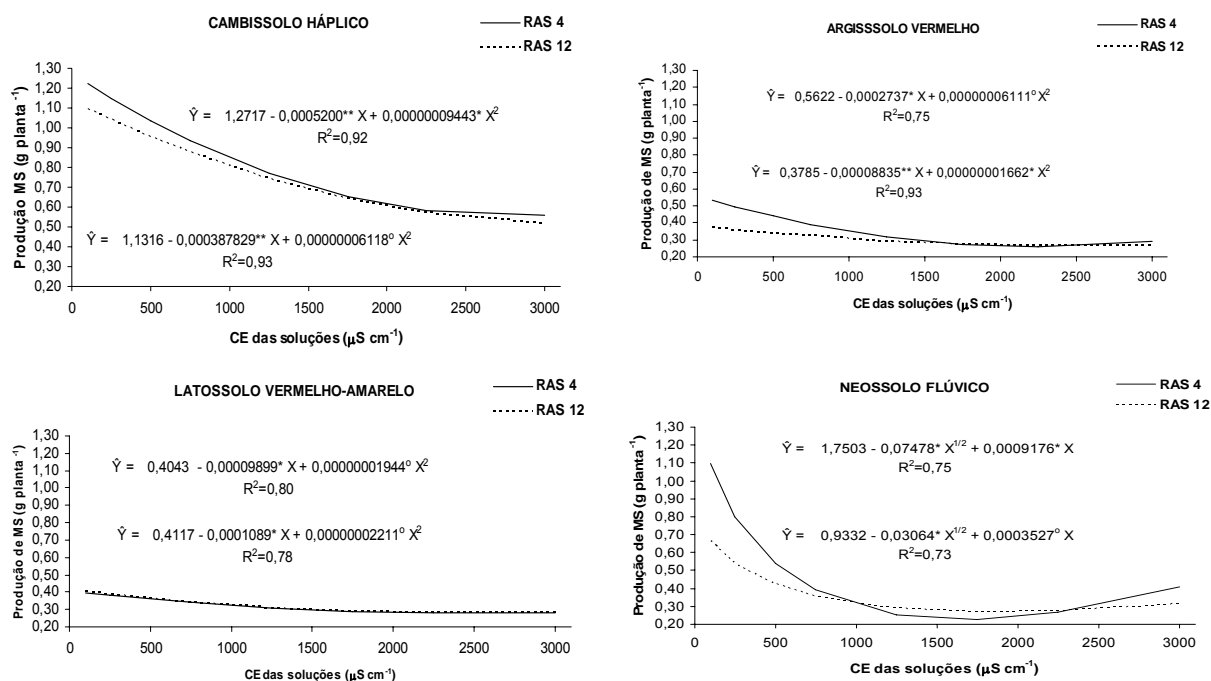


Figura 5. Equações de regressão da produção de matéria seca (MS) em função da condutividade elétrica da solução de percolação no segundo cultivo para os quatro solos estudados.

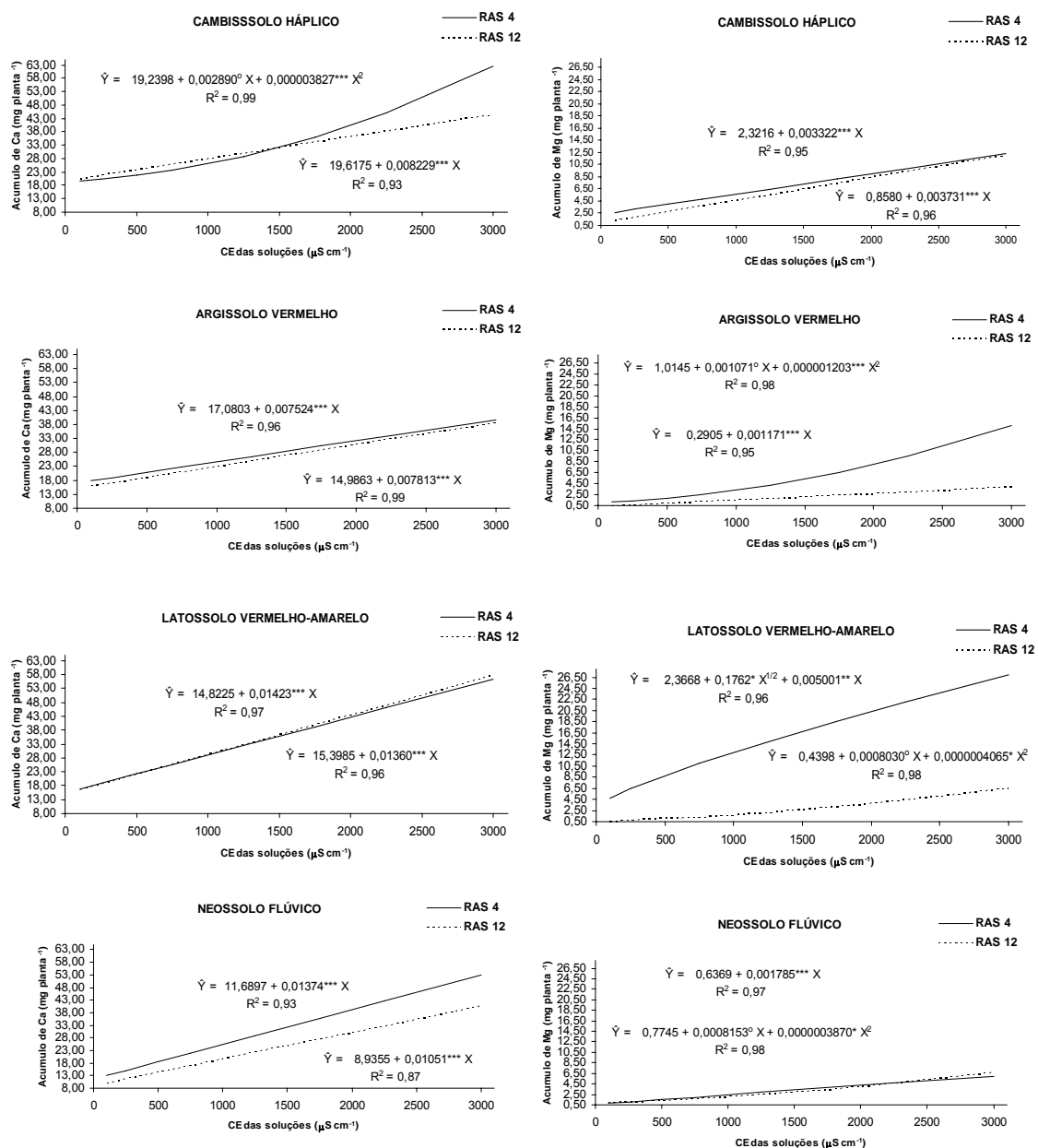


Figura 6. Equações de regressão dos conteúdos de Ca^{2+} e Mg^{2+} acumulados em função da condutividade elétrica e da RAS da solução de percolação no segundo cultivo para os quatro solos estudados.

Da mesma forma que ocorreu para o primeiro cultivo, a produção de matéria seca foi reduzida com os acréscimos na salinidade das soluções de percolação, enquanto que os conteúdos acumulados de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ e Cl^- aumentaram. Contudo, o Cl^- acumulado nas plantas foi superior a todos os outros elementos, podendo indicar forte efeito tóxico que promoveu a morte das plantas poucos dias após

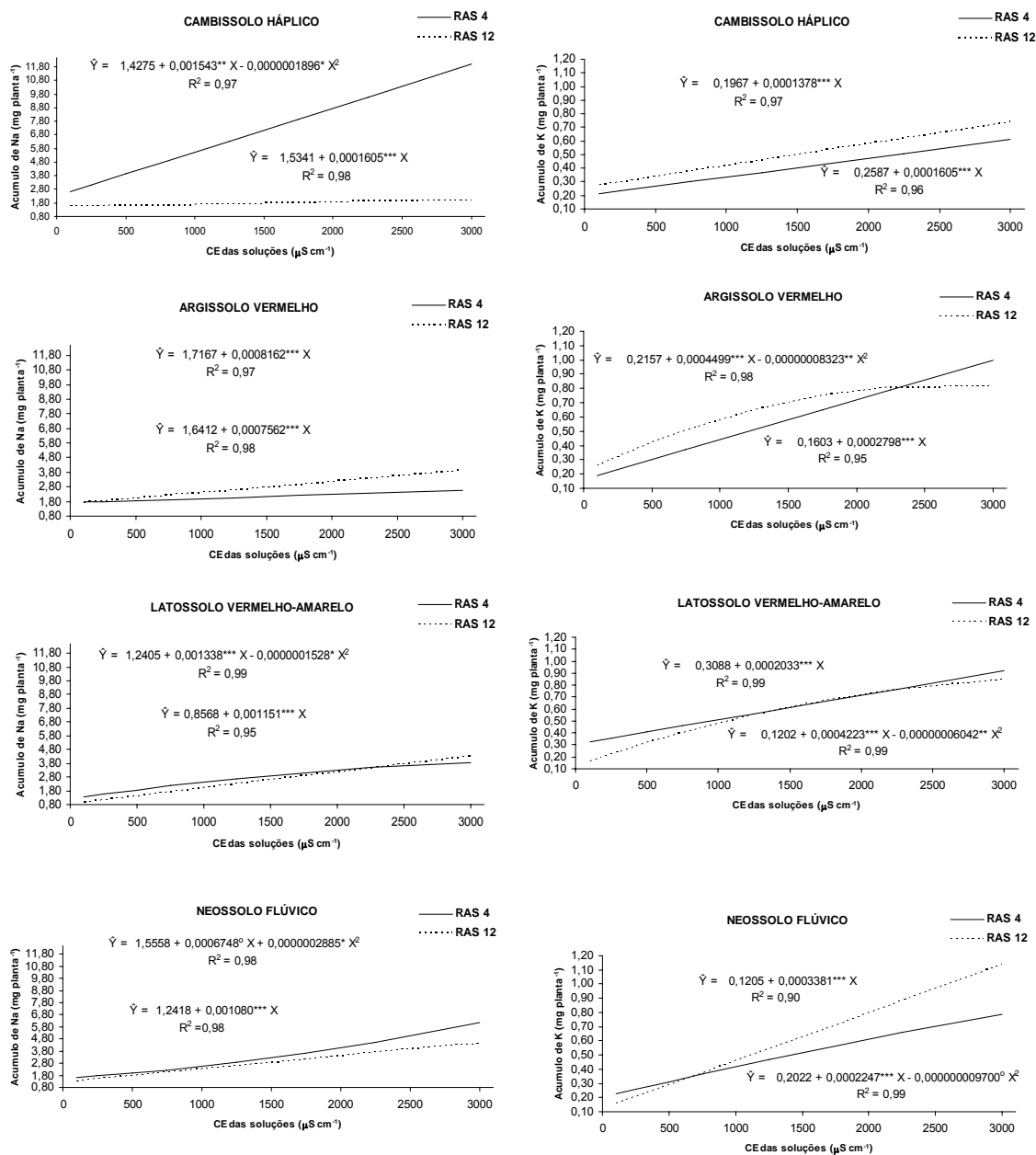


Figura 7. Equações de regressão dos conteúdos de Na⁺ e K⁺ acumulados em função da condutividade elétrica e da RAS da solução de percolação no segundo cultivo para os quatro solos estudados.

o transplântio (Figura 8). Os conteúdos de Cl⁻ superaram até mesmo os de Ca²⁺, provavelmente, pela composição das águas de percolação. Deve ter ocorrido uma toxidez pelo Cl⁻, já que este elemento é um micronutriente, podendo ter efeito tóxico às plantas em elevadas concentrações.

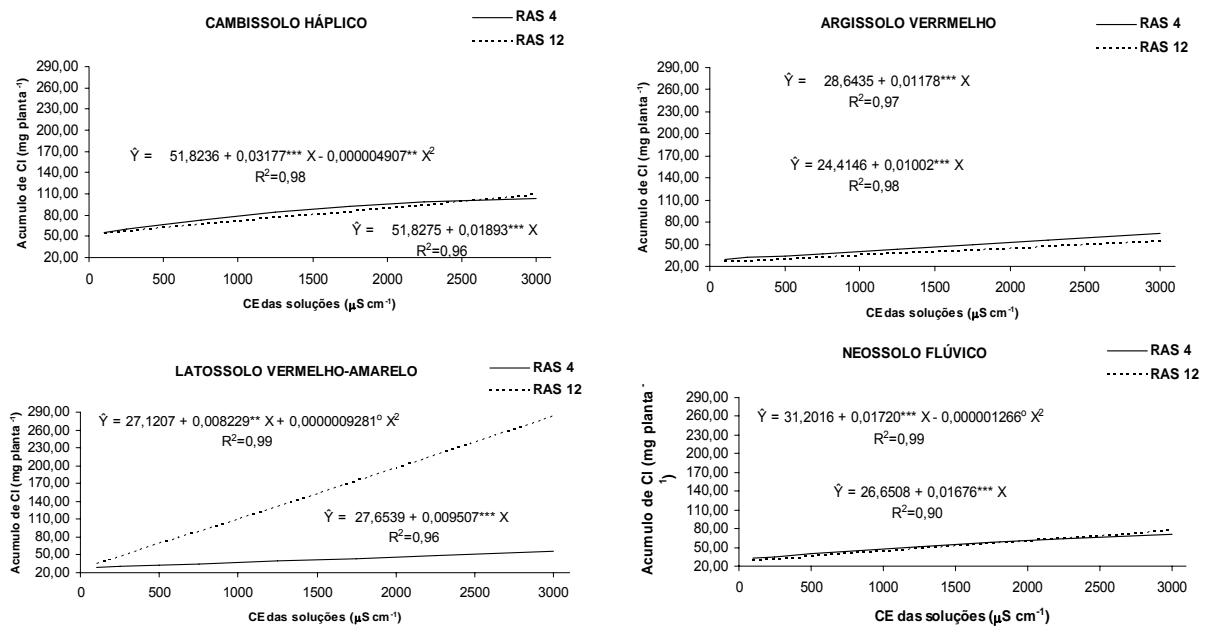


Figura 8. Equações de regressão do conteúdo de Cl⁻ acumulado em função da condutividade elétrica da solução de percolação no segundo cultivo para os quatro solos estudados.

Nesse segundo cultivo, as plantas cultivadas no Neossolo Flúvico apresentaram um decréscimo mais acentuado na produção de matéria seca com o aumento da CE das soluções do que no primeiro cultivo. Freire et al. (2003), trabalhando com solos de Pernambuco, observaram que um Neossolo Flúvico foi um dos solos mais afetados pela salinidade da água de percolação, com alterações consideráveis nas propriedades físicas do mesmo. Isso demonstra que os solos reagem de maneira diferenciada aos tratamentos de salinidade da água de irrigação, sendo necessário um conhecimento das propriedades físicas e químicas destes antes do uso de águas salinas, bem como, o monitoramento destas com o tempo de cultivo, para evitar problemas de queda de produção e desbalanços nutricionais promovidas pelos sais presentes na água. Além disso, entre ciclos consecutivos deve-se manter a umidade elevada ou, mesmo proporcionar uma lixiviação para evitar acúmulo excessivos de sais no solo, o que dificultaria cultivo das plantas.

4.2 – Evolução da salinidade e concentração de elementos no solo.

A passagem das águas de percolação provocou um decréscimo no pH, em relação aos solos antes do experimento (Quadros 2 e 5). Divergindo dos resultados que foram verificados nas mesmas condições edafoclimáticas por Costa (1999), Dias (2001), Barros (2002) e Paiva et al. (2004), que observaram aumentos no pH dos solos com tratamentos de salinidade. Nesses casos, a elevação do pH deve-se à utilização de águas da região, que com concentração elevada de Ca^{2+} e HCO_3^- , o que leva 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, num Latossolo Vermelho, similar a um dos solos deste estudo.

Contudo, a aplicação de soluções de RAS 12 proporcionou aumento no pH do solo em relação a RAS 4, para os quatros solos estudados. A RAS também influenciou estatisticamente no aumento no acúmulo de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ nos quatros solos na seqüência Neossolo > Cambissolo > Latossolo > Argissolo, essa seqüência só se altera para Ca^{2+} e Mg^{2+} entre os solos Argissolo e Latossolo.

A elevação da CEe foi acompanhada pelo aumento nos teores de cátions trocáveis e na PST, sendo o efeito maior na RAS 12 na maioria dos solos. Isso acarretou o aumento da PST dos solos em relação ao seu estado antes do experimento, exceto no Neossolo Flúvico, onde a PST de 7,34% (Quadro 2) no início, foi reduzida após o ensaio. Provavelmente, a passagem das soluções tenha promovido a retirada do Na^+ em quantidades superiores às de Ca^{2+} , ou a liberação deste no sistema, reduzindo, conseqüentemente, a PST.

Os efeitos da RAS na CEe só foram observados para o Neossolo Flúvico e o aumento da CEe, entretanto, como esta medida foi realizada no extrato 1:5, a diluição da solução do solo não possibilitou a observação de maiores incrementos com a salinidade da água (Quadro 5).

Nota-se ainda que, aos 45 dias, para todas as amostras efetuadas, a CE do solo nas parcelas irrigadas com água de maior salinidade foi superior à CE do solo irrigado com a água menos salina, em todos os solos, sendo cinco e, até, em alguns casos, oito vezes superior àquela (Quadro 5). Considerando-se que em diferentes tratamentos se aplicaram as lâminas de águas semelhantes, tal fato pode ser

explicado pela maior quantidade de sais adicionados ao solo, quando irrigado com águas de percolação de salinidade elevada.

Quadro 5. Valores de pH, condutividade elétrica no extrato 1:5 (CEe), teores de Ca, Mg, Na e K trocáveis e percentagem de saturação por sódio (PST) em função da aplicação de soluções de percolação de diferentes RAS para os solos estudados no primeiro cultivo de melão

Variável	RAS	Solo			
		CXve	PVd	LVAe	RVe
pH	4	6,17 b	5,55 b	5,64 b	6,69 b
	12	6,28 a	5,73 a	5,77 a	6,78 a
	Média	6,23 B	5,64 D	5,70 C	6,73 A
CV = 1,67 %					
CEe (dS m ⁻¹)	4	0,30 a	0,11 a	0,16 a	0,56 b
	12	0,34 a	0,09 a	0,17 a	0,73 a
	Média	0,32 B	0,10 D	0,16 C	0,64 A
CV = 41,34 %					
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4	6,36 b	5,48 a	5,01 b	11,30 b
	12	7,03 a	5,25 a	5,59 a	11,76 a
	Média	6,70 B	5,37 C	5,30 C	11,53 A
CV = 7,84 %					
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4	1,87 a	1,30 a	1,21 a	4,34 a
	12	1,18 b	1,35 a	1,19 a	3,79 b
	Média	1,52 B	1,32 C	1,20 C	4,07 A
CV = 13,74 %					

Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4	0,54 a	0,35 b	0,36 b	0,62 a
	12	0,62 a	0,43 a	0,49 a	0,62 a
	Média	0,58 A	0,39 B	0,43 B	0,62 A
CV = 18,84 %					
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4	0,32 b	0,05 a	0,12 a	0,35 a
	12	0,35 a	0,05 a	0,07 b	0,32 b
	Média	0,33 A	0,05 C	0,10 B	0,33 A
CV = 17,56 %					
PST (%)	4	6,65 b	6,54 b	7,46 b	3,99 a
	12	8,12 a	8,23 a	10,24 a	4,00 a
	Média	7,34 B	7,38 B	8,85 A	3,99 C
CV = 7,85 %					

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro de cada solo.

Os teores de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺ no complexo de troca dos solos aumentaram significativamente ao longo do cultivo de melão (Quadro 5). Esta composição do solo influencia a absorção dos elementos pela planta, justificando os conteúdos acumulados de Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺ na matéria seca (Quadro 3).

Os modelos de regressão ajustados para as variáveis do solo em função da CE da solução de percolação foram crescentes, demonstrando aumento nos valores das variáveis dependentes com a elevação da salinidade das soluções (Figuras 9, 10 e 11).

Apesar dos modelos ajustados para o pH e a CE e serem diferentes para os quatro solos estudados, todos foram crescentes em função da CE da água utilizada e com parâmetros significativos, demonstrando a influência da salinidade das águas de irrigação no pH e CE dos solos (Figura 9). O Cambissolo Háptico e o Neossolo Flúvico foram os solos que mais responderam à salinidade da água utilizada,

enquanto que o Argissolo Vermelho e o Latossolo Vermelho Amarelo apresentaram menores incrementos no pH e CE.

Também foram observados incrementos nos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} (Figura 10), bem como de Na^+ e K^+ (Figura 11), com o uso de águas de valores crescentes de CE, pelo acúmulo de sais destes cátions nos quatro solos estudados. O Ca^{2+} , o Mg^{2+} e o K^+ , por serem elementos essenciais às plantas, não devem acarretar graves problemas à produção agrícola nestes solos, contudo, o crescimento nos teores de Na^+ dos solos com o uso de águas salinas pode causar toxidez às plantas, além de degradação das propriedades físicas dos solos, pela sodificação dos mesmos (FREIRE et al., 2003b).

Mais uma vez, os efeitos são mais visíveis no Cambissolo Háplico e no Neossolo Flúvico, solos menos intemperizados, com maiores teores de argila (Quadro 1) e maior CTC (Quadro 2), dentre os quatro estudados. Entretanto, mesmo os pequenos incrementos nos teores de Na^+ do Argissolo Vermelho e do Latossolo Vermelho Amarelo (Figura 11), são preocupantes, pelas conseqüências sobre a PST dos mesmos (Figura 12). São os solos que apresentam maiores aumentos na PST com a elevação da CE das soluções utilizadas, alcançando valores próximos ao limite de 15% que define a classe de solos sódicos em quase todo o mundo (USSL STAFF, 1954). Como solos mais intemperizados, com pH baixo originalmente, o aumento de pH e PST verificados podem incrementar a dispersão e transporte dos colóides ao longo do perfil dos solos, promovendo a obstrução de poros e conseqüente queda na condutividade hidráulica, limitando o uso dos mesmos com agricultura irrigada (FREIRE et al., 2003a).

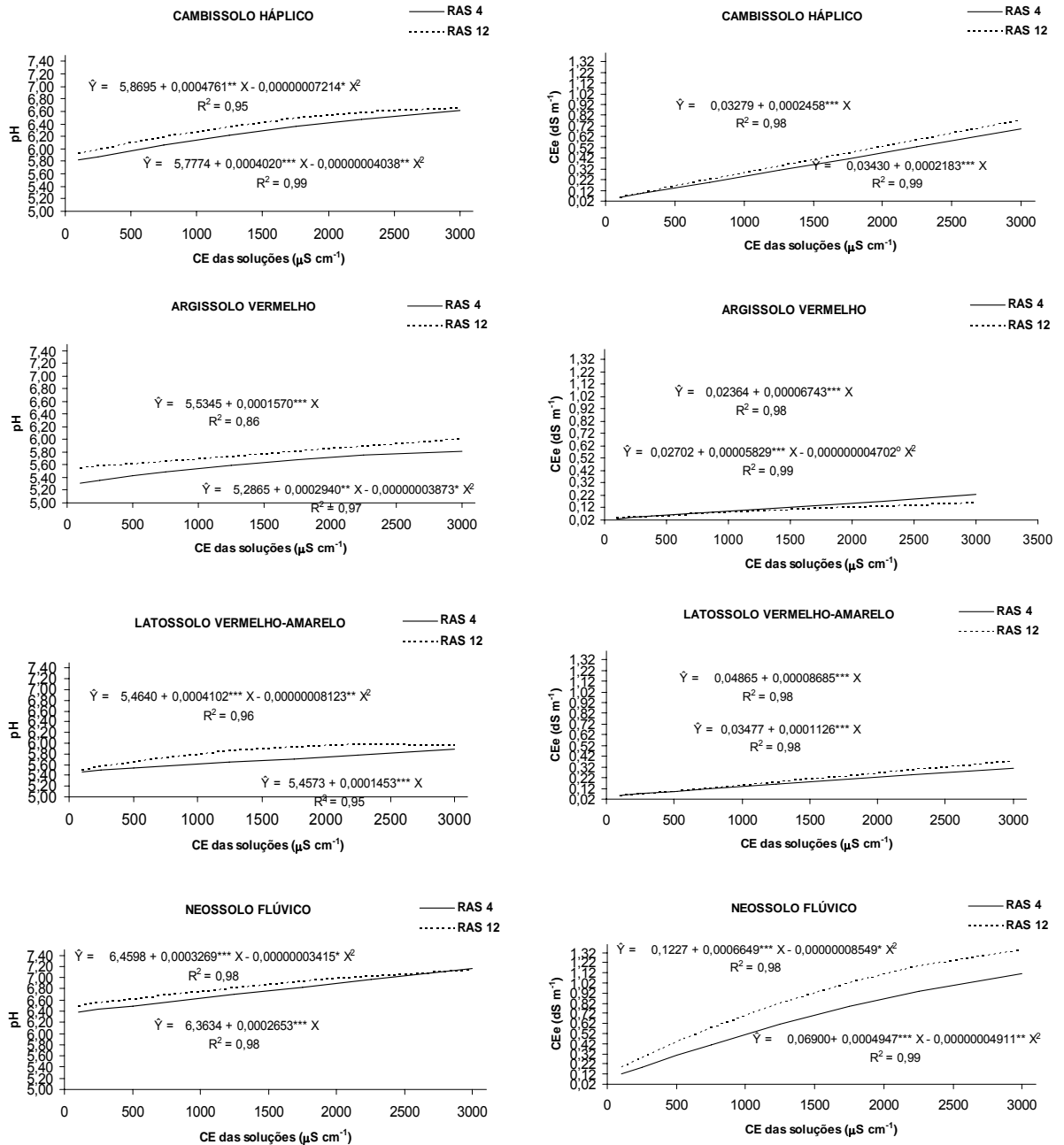


Figura 9. Equações de regressão das variáveis pH e condutividade elétrica do extrato 1:5 (CEe) em função da CE da solução de percolação para o primeiro cultivo do meloeiro.

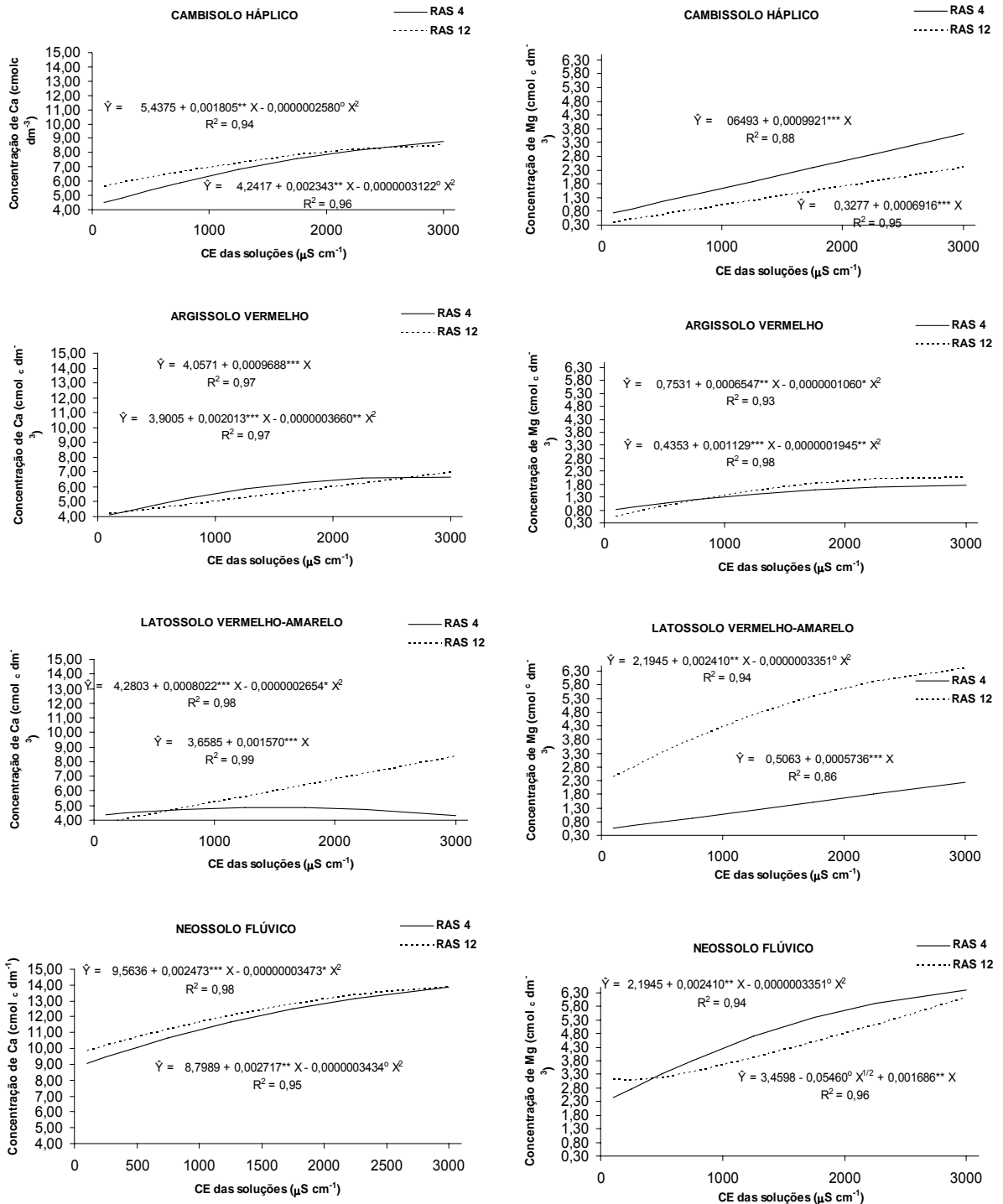


Figura 10. Equações de regressão das variáveis Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis para os quatro solos estudados em função da CE da solução de percolação para o primeiro cultivo do meloeiro.

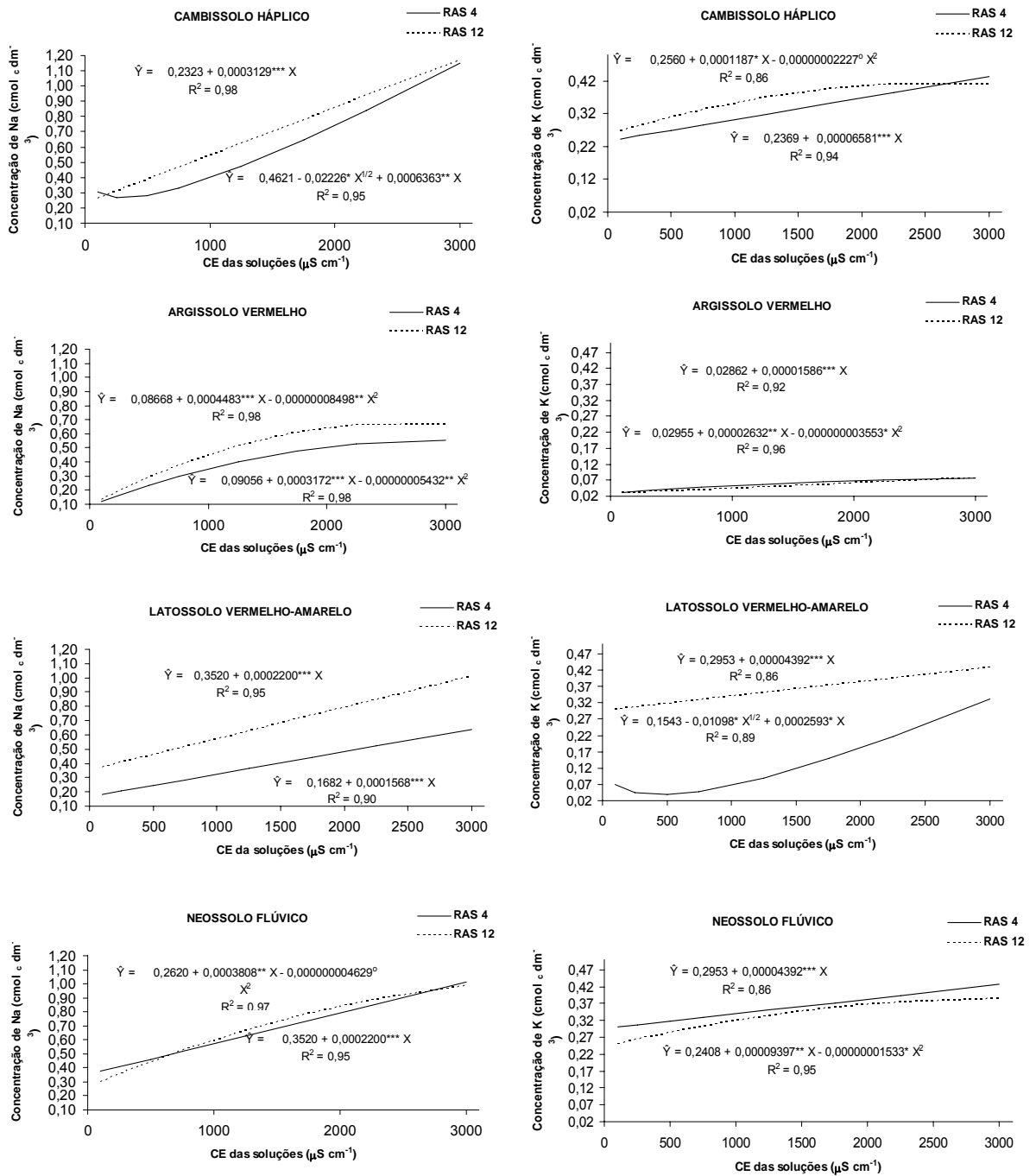


Figura 11. Equações de regressão das variáveis Na⁺ e K⁺ trocáveis para os quatro solos estudados em função da CE da solução de percolação para o primeiro cultivo do meloeiro.

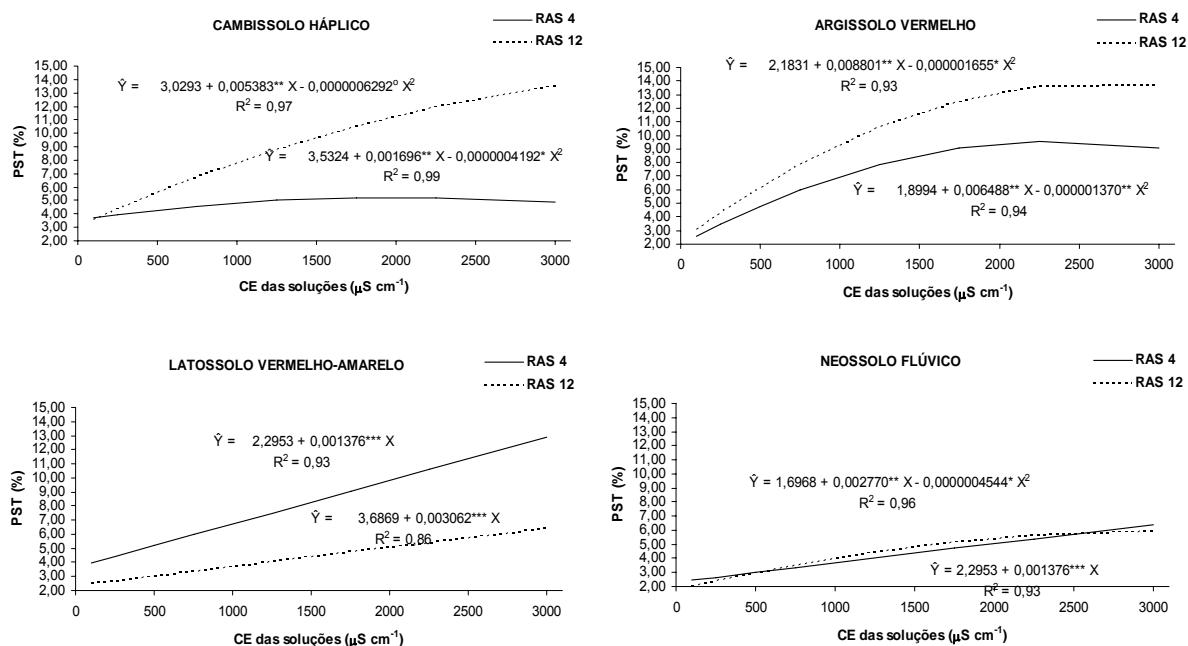


Figura 12. Equações de regressão da percentagem de saturação por sódio (PST) para os quatro solos estudados em função da CE da solução de percolação para o primeiro cultivo do meloeiro.

No final do segundo ciclo, aos 72 dias de aplicação das soluções de percolação, o pH e a CEE dos solos aumentaram em função dos tratamentos de salinidade (Quadro 6). Observou-se que os valores de CEE dos solos irrigados com águas salinas cresceram mais acentuadamente durante o primeiro ciclo, mas continuando em elevação durante o segundo cultivo, apesar deste período ter sido relativamente curto. Resultados semelhantes foram obtidos por Medeiros (1998) e Gurgel et al. (2003).

Após o segundo cultivo de melão, o aumento da RAS proporcionou elevação do pH nos quatro solos estudados e da CE do extrato 1:5 no Cambissolo Háplico e no Neossolo Flúvico, não modificando a CE do extrato no Argissolo Vermelho e no Latossolo Vermelho Amarelo (Quadro 6). Lembrando que esses valores de CE alcançados corresponderam ao extrato solo/solução 1:5, que dilui a solução do solo, reduzindo sua CE.

Foram observados aumentos na PST dos quatro solos estudados, pois os valores desta antes da aplicação dos tratamentos correspondiam a 2,21%, 1,00%, 0,86% e 7,34%, respectivamente, para o Cambissolo Háplico, o Argissolo Vermelho, o Latossolo Vermelho-Amarelo e o Neossolo Flúvico, alcançando valores superiores

Quadro 6. Valores de pH, condutividade elétrica no extrato 1:5 (CEe), teores de Ca, Mg, Na e K trocáveis e percentagem de saturação por sódio (PST) em função da aplicação de soluções de percolação de diferentes valores de RAS para os solos estudados no segundo cultivo de melão.

Variável	RAS	Solo			
		CXve	PVd	LV Ae	RVe
pH	4	6,13 b	5,68 b	5,73 b	6,08 b
	12	6,18 a	5,76 a	5,78 a	6,16 a
	Média	6,15 A	5,72 B	5,75 B	6,12 A
CV = 1,35 %					
CEe (dS m ⁻¹)	4	1,15 b	1,15 a	1,21 a	2,29 b
	12	1,36 a	1,11 a	1,22 a	2,74 a
	Média	1,25 B	1,13 C	1,21 BC	2,52 A
CV = 15,58 %					
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4	7,67 a	3,00 a	3,73 b	14,90 a
	12	7,50 a	2,82 a	4,31 a	14,17 b
	Média	7,58 B	2,91 D	4,02 C	14,54 A
CV = 13,05 %					
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4	1,35 a	0,32 a	0,35 b	4,38 a
	12	1,13 a	0,27 a	0,85 a	4,70 a
	Média	1,24 B	0,29 C	0,60 C	4,54 A
CV = 41,60 %					
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4	1,62 a	1,93 a	1,78 b	2,35 b
	12	1,67 a	1,75 b	1,89 a	2,80 a
	Média	1,64 C	1,84 B	1,83 B	2,57 A
CV = 9,91 %					
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4	0,55 a	0,52 a	0,61 a	0,58 a
	12	0,56 a	0,56 a	0,59 a	0,56 a
	Média	0,55 AB	0,53 B	0,60 A	0,57 AB
CV = 20,33 %					
PST (%)	4	22,36 a	38,67 a	38,12 b	15,69 b
	12	23,02 a	35,22 b	40,57 a	18,68 a
	Média	22,69 C	36,95 B	39,34 A	17,18 D
CV = 10,87 %					

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

a 15% no final do experimento, que classificam os solos como sódicos (Quadro 6). No Neossolo Flúvico, as amostras de solo de alguns tratamentos ficaram um pouco

abaixo desse valor, porque o mesmo apresenta elevados teores de Ca^{2+} , que controla o aumento da PST.

O aumento na salinidade do solo em função da CE das soluções de percolação é acompanhado pela elevação na concentração dos cátions trocáveis e na PST dos solos. Para estes dados, foram ajustadas equações de regressão significativas até ($p = 0,10$), em função da CE das águas de percolação (Figura 13, 14, 15 e 16).

Todas as equações obtidas demonstraram que águas de irrigação com valores crescentes de CE promoveram aumento na concentração de cátions trocáveis no solo, bem como elevação na PST, fato mais preocupante por seus efeitos na condutividade hidráulica dos solos (Figuras 13, 14, 15 e 16). Freire et al. (2003a) observaram decréscimos na condutividade hidráulica de solos pelo uso de águas com valores crescentes de RAS, que promoveram aumentos na PST dos solos.

A salinidade do solo medida ao longo dos dois cultivos consecutivos, em geral, aumentou nos tratamentos irrigados com as águas de CE e RAS diferentes. Esses resultados divergem dos apresentados por Kelley (1963), Cruciani et al. (1996) e Medeiros (1998). Esses autores comentam que o aumento das lâminas de irrigação acompanhando a demanda evotranspirativa da planta provoca a lixiviação dos sais, ou seu afastamento para a periferia do bulbo úmido, distanciando-os do sistema radicular. Por outro lado os resultados obtidos nesse trabalho concordam com as suposições teóricas citadas por USSL Staff (1954), Rhoades & Merrill (1976), Rhoades & Miyamoto (1990) e Ayers & Westcot (1991) para as condições de equilíbrio dinâmico, pois consideram que após várias irrigações sucessivas, quanto menor a fração de lixiviação maior será a concentração de sais.

Dias et al. (2004), estudando a evolução da salinidade do solo ao longo do ciclo do melão, observaram que a salinidade tende a diminuir a partir da metade do ciclo cultural do meloeiro, isso, se deve a menor lâmina de irrigação e uma maior evapotranspiração no primeiro estágio do ciclo do meloeiro que faz com que a concentração de sais aumente. No decorrer do desenvolvimento da cultura, quando a evapotranspiração aumenta e a lâmina também, há uma maior lixiviação desses sais para longe do sistema radicular das plantas. Segundo esses autores, a irrigação com água de menor concentração de sais resulta numa salinidade final próxima ao limite de tolerância da cultura do meloeiro.

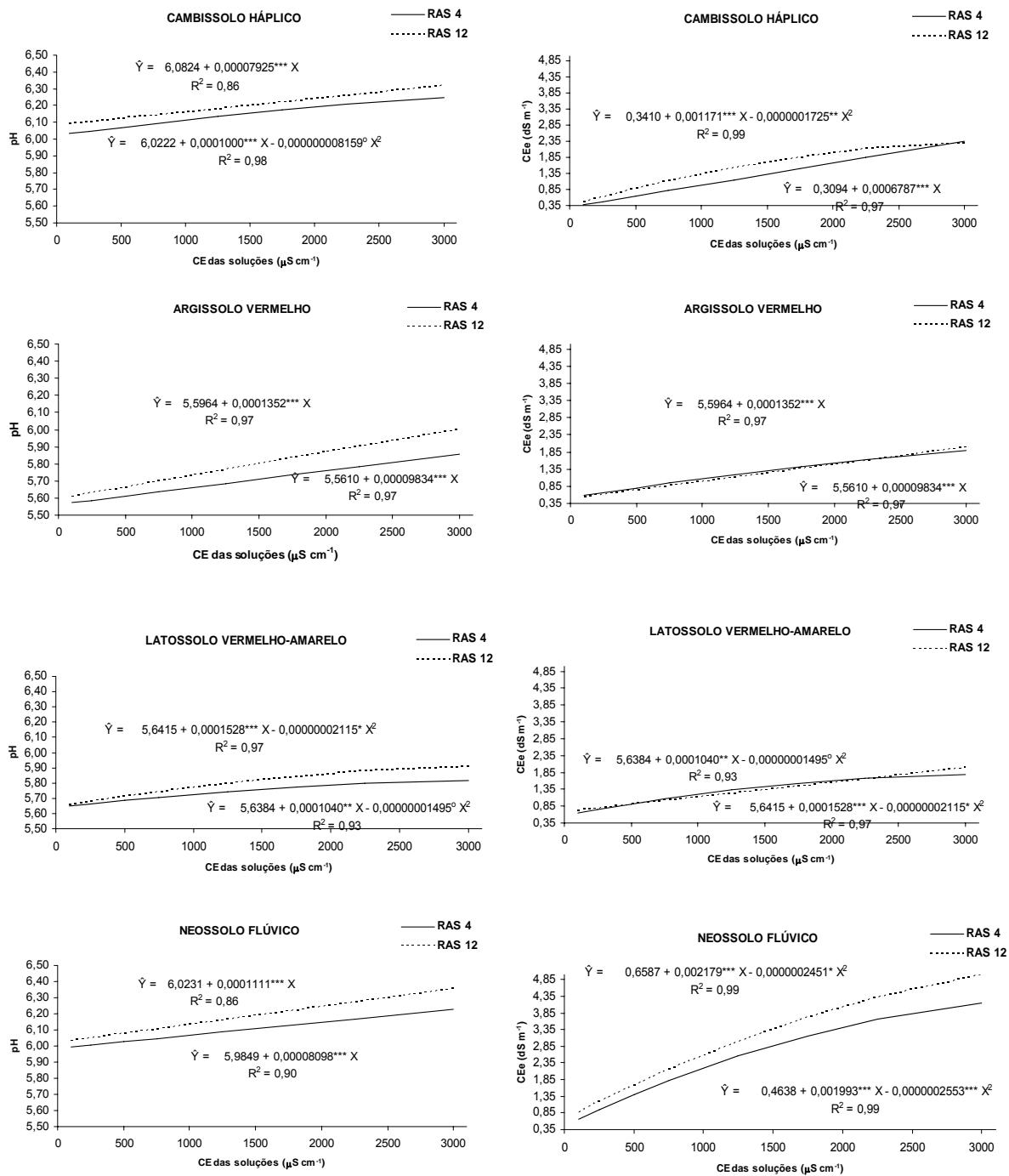


Figura 13. Equações de regressão das variáveis pH, condutividade elétrica do extrato 1:5 (CEE), para os quatro solos estudados em função da CE da solução de percolação para o segundo cultivo do meloeiro.

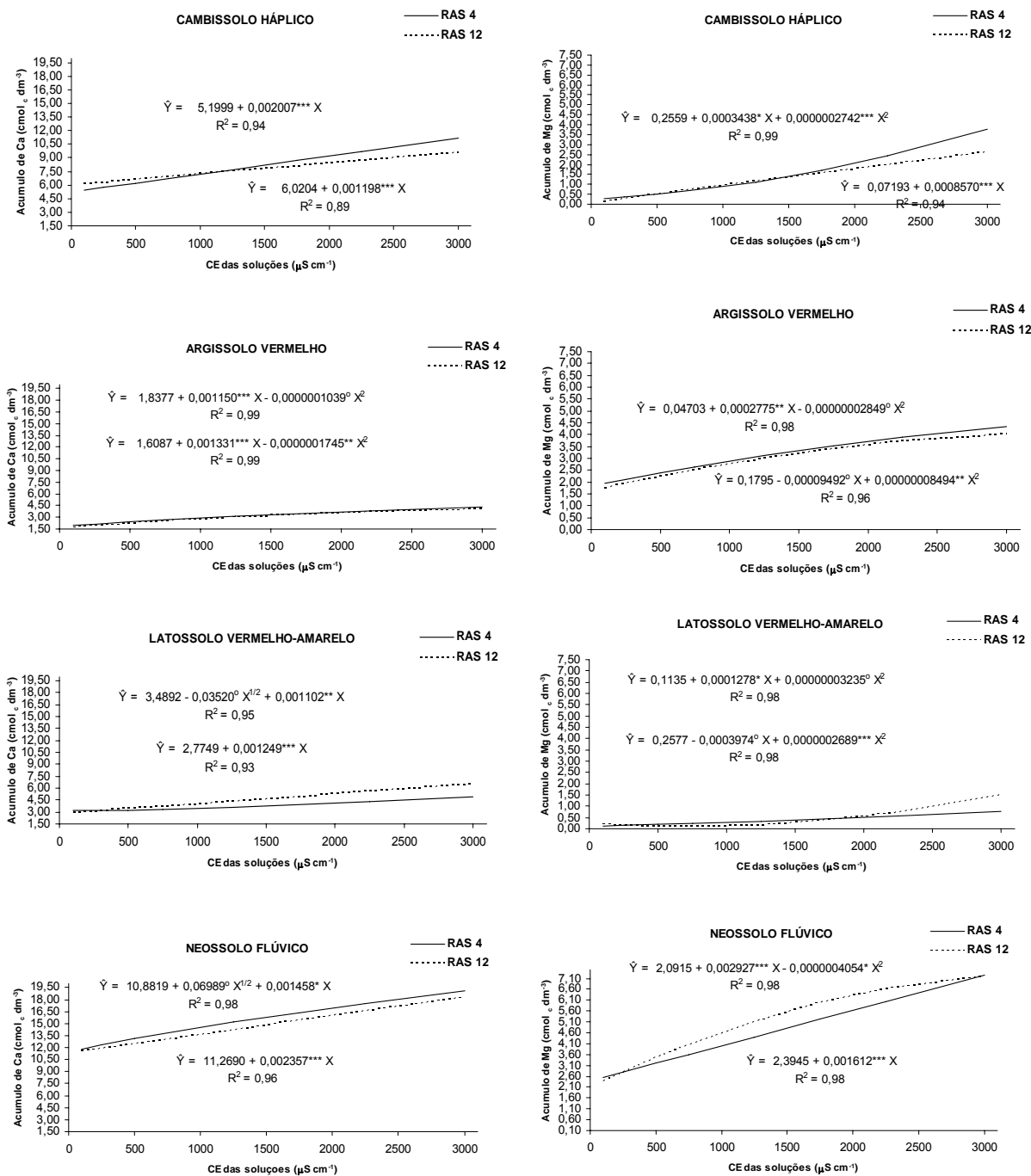


Figura 14. Equações de regressão das variáveis Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis para os quatro solos estudados em função da CE da solução de percolação para o segundo cultivo do meloeiro.

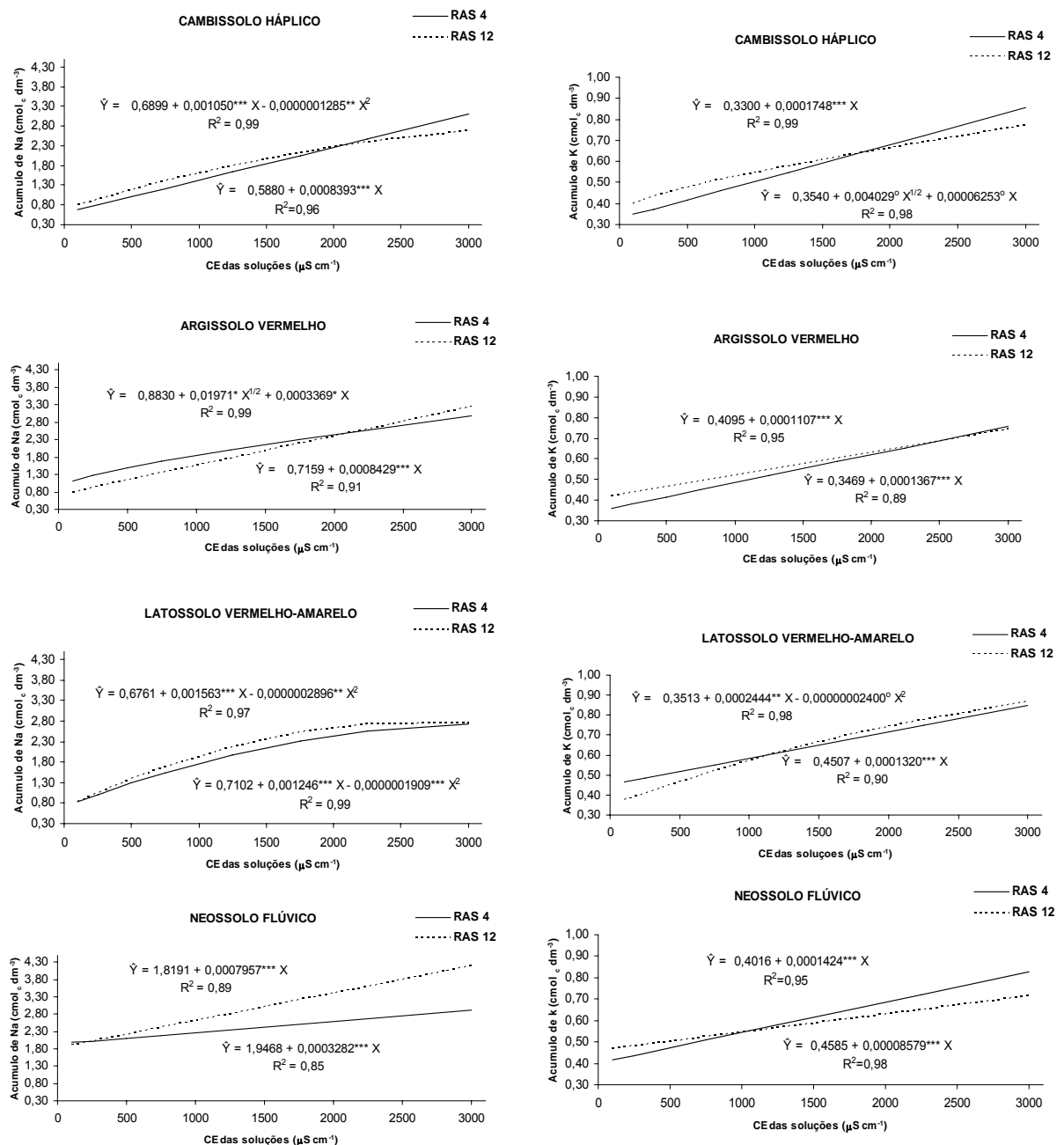


Figura 15. Equações de regressão das variáveis Na⁺ e K⁺ trocáveis para os quatro solos estudados em função da CE da solução de percolação para o segundo cultivo do meloeiro.

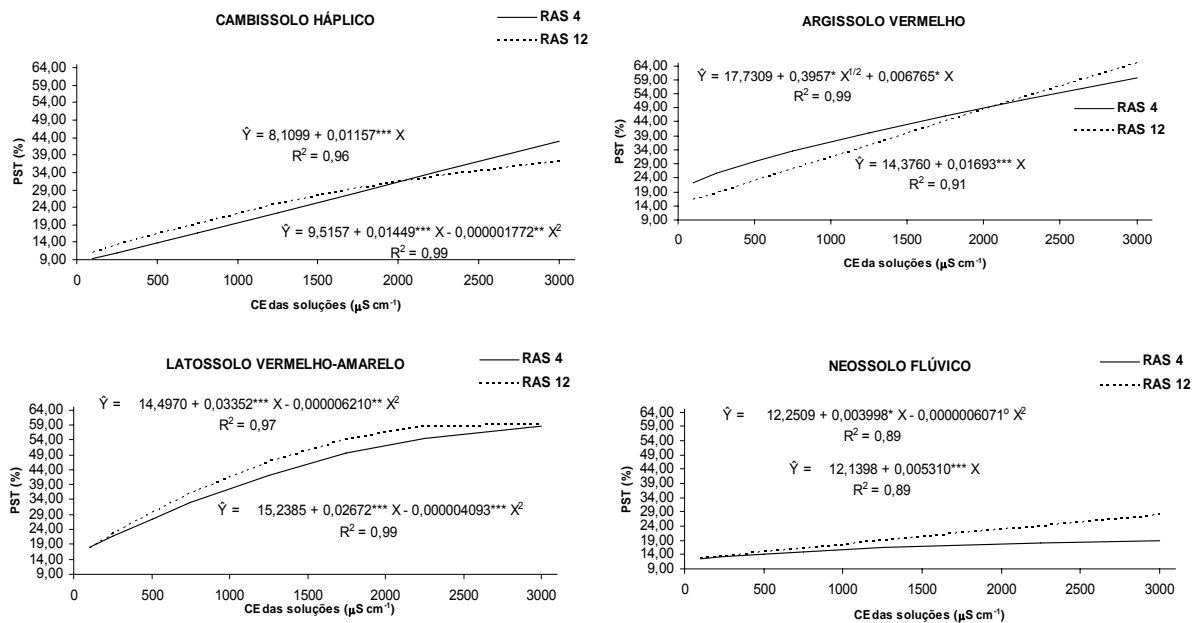


Figura 16. Equações de regressão da percentagem de saturação por sódio (PST) para os quatro solos estudados em função da CE da solução de percolação para o primeiro cultivo do meloeiro.

Do primeiro para o segundo cultivo, continuou ocorrendo elevação na PST dos quatro solos. Apesar do pouco tempo entre o final de cada ciclo (27 dias), o incremento proporcionado na PST foi considerável. É possível que os sete dias em que os vasos ficaram sem receber irrigação, com a elevada evaporação no ambiente protegido, tenham causado este aumento na PST. Com a perda de umidade, elevou-se a concentração da solução do solo e os sais de Na presentes no sistema saturaram o complexo de troca em maiores proporções que os de Ca, elevando a PST. Talvez isso também tenha contribuído para a dificuldade de sobrevivência e morte das plantas no segundo ciclo.

Rhoades (1981) considera que a concentração de sais no solo resultante do uso de água de irrigação está relacionada, primeiramente, ao seu teor de sais e composição. Entretanto alertam no sentido de que o perfil de salinidade pode ser bastante variável. Embora os perfis tenham sido obtidos para uma determinada porção, as variações na salinidade do solo são maiores quando se considera período curto de irrigação, o que concorda com dados obtidos por Medeiros (1998) e Gurgel et al. (2003).

Os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} e Na^{+} no complexo de troca dos solos aumentaram significativamente ao longo do cultivo de melão (Quadro 6). Esta

composição do solo influencia a absorção dos elementos pela planta, justificando os conteúdos acumulados de Ca, Mg, Na e K na matéria seca (Quadro 4). O mesmo foi observado em relação aos teores dos elementos solúveis nos solos após os dois ciclos de cultivo do melão (Quadro 7).

As análises da composição química do extrato de saturação refletem altas concentrações salinas da solução do solo ao final do experimento (Quadro 7), com acréscimos consideráveis em relação aos solos antes da aplicação dos tratamentos, em que a CEes dos quatro solos foi inferior a $1,0 \text{ dS m}^{-1}$, passando a valores superiores a $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ após o experimento em quase todos os tratamentos, exceto no Cambissolo Háplico, para a solução de menor salinidade ($100 \mu\text{S cm}^{-1}$). Nas condições desse experimento, o uso de soluções salinas promoveu a salinização dos quatro solos estudados, provavelmente, devido aos acréscimos dos sais nas águas utilizadas, bem como ao período em que os solos permaneceram sem irrigação entre os dois ciclos do melão.

Santos (1997), estudando os efeitos de níveis de salinidade de água e de lâminas de irrigação na evolução da salinidade do solo, concluiu que houve acúmulos de sais na solução do solo, sendo diretamente proporcionais aos níveis de água de irrigação. Medeiros (1998), Silveira (1999) e Blanco & Folegatti (2002), Gurgel et al. (2003), demonstraram que o acúmulo de sais é maior na solução do solo, quando são feitas irrigações localizadas durante períodos curtos.

Foram observados teores crescentes de Ca, Mg, Na, K, Cl, HCO_3 e da RAS com a elevação da salinidade das soluções de percolação aplicadas em todos os solos, apesar dessas soluções estarem acrescentando apenas Ca, Na e Cl (Quadro 7). É possível que a passagem das soluções esteja promovendo a solubilização de sais naturalmente presentes nos solos, ou mesmo a liberação de elementos de alguns minerais presentes nos solos, fornecendo-os à solução. Destacam-se os altos valores de Na no Neossolo Flúvico, que superam os dos outros cátions e causam os altos valores de RAS neste solo. Têm sido detectados sérios problemas de sodificação em solos desta classe, com conseqüências desastrosas em termos de alterações nas propriedades físicas e em sua capacidade produtiva (FREIRE et al., 2003a e b). Isso vem comprovar que a irrigação com águas salinas pode acarretar sérios riscos de degradação de solos, devendo ser realizado o monitoramento e controle das propriedades químicas e físicas dos solos sob irrigação, especialmente em regiões áridas e semi-áridas.

Quadro 7. Valores de pH, condutividade elétrica no extrato de saturação (CEes), teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- e HCO_3^- solúveis e relação de adsorção de sódio (RAS) em função da aplicação de soluções de diferentes valores de RAS nos solos estudados no final dos cultivos

VARIÁVEL	RAS	SOLO			
		CXVe	PVd	LVAe	NVe
pH	4	6,42 a	5,49 a	5,46 a	6,23 a
	12	6,32 b	5,50 a	5,40 a	6,31 a
	Média	6,37 A	5,49 B	5,43 B	6,27 A
CV – 6,42%					
CEes (dS m^{-1})	4	11,40 b	11,56 b	13,47 b	17,43 b
	12	13,91 a	13,77 a	16,83 a	19,76 a
	Média	12,66 C	12,67 C	15,15 B	18,59 A
CV – 18,18%					
Ca ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	8,14 a	5,59 a	8,00 a	16,63 b
	12	7,01 b	4,26 b	6,94 b	17,58 a
	Média	7,57 B	4,92 C	7,47 B	17,11 A
CV – 11,77%					
Mg ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	1,14 a	0,63 a	1,15 a	2,09 b
	12	1,10 a	0,84 a	1,14 a	3,11 a
	Média	1,12 B	0,73 C	1,15 B	2,60 A
CV – 33,29%					
Na ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	5,56 b	7,50 b	24,79 b	107,51 a
	12	7,78 a	10,73 a	32,35 a	107,22 a
	Média	6,67 D	16,86 C	28,57 B	107,36 A
CV – 18,84%					
K ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	1,55 a	4,58 a	4,88 a	1,60 b
	12	1,47 a	3,65 b	4,01 b	1,92 a
	Média	1,51 D	4,12 B	4,45 A	1,76 C
CV – 8,97%					
Cl ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	10,03 a	9,46 a	11,68 a	15,31 a
	12	10,04 a	9,53 a	10,89 a	15,20 a
	Média	10,04 C	9,49 C	11,28 B	15,26 A
CV – 19,35%					
HCO_3^- ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	1,34 a	1,11 a	1,29 a	1,14 a
	12	1,19 a	1,10 a	1,31 a	1,13 a
	Média	1,26 AB	1,11 C	1,30 A	1,13 BC
CV – 22,15%					
RAS ($\text{cmol}_c \text{L}^{-0,5}$)	4	2,45 b	4,44 b	10,80 b	33,43 a
	12	3,65 a	7,35 a	15,67 a	31,92 b
	Média	3,05 D	9,46 C	13,23 B	32,67 A
CV – 9,19%					

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro de cada solo.

O Neossolo Flúvico foi o que apresentou os maiores valores de CE e teores de Ca, Mg, Na e Cl, além de valores mais elevados de RAS. Solos desse tipo tem uma grande propensão à salinização e sodificação, pela presença de argilominerais do tipo 2:1, além de apresentarem condições de baixa permeabilidade devido a presença de silte em proporções consideráveis, causando problemas de reduzida condutividade hidráulica no solo (FREIRE et al., 2003a e b). De fato, os maiores teores de elementos solúveis ocorrem nas mesmas condições de maiores acúmulos dos mesmos no complexo de troca dos solos em questão (Quadro 6).

Os incrementos na CE das soluções percolantes promoveram aumentos significativos nas concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- e RAS do extrato de saturação dos solos, nos dois cultivos de melão (Figuras 17, 18, 19 e 20). Concordando com os resultados obtidos por Shannon & Francois (1978), Meiri et al. (1982), Barros (1998) e Alencar (2003) e permitindo estimar essas variáveis em função da CE das soluções aplicadas por meio das equações das respectivas figuras.

Para o pouco tempo de avaliação do experimento, a salinidade das soluções promoveu incrementos consideráveis nas variáveis analisadas nas condições do experimento, que comprovam o alto risco de uso de águas salinas na irrigação de culturas com elevadas demandas atmosféricas por umidade.

Na Figura 16 observa-se claramente a influência da CE das soluções utilizadas no aumento do pH e da CE do extrato de saturação dos solos, destacando-se os solos Cambissolo e Neossolo Flúvico. O Latossolo e o Argissolo também respondem aos sais da água, contudo, com menores incrementos no pH e CE do extrato de saturação. Possivelmente, isto se deve ao estágio de intemperismo mais avançado dos dois últimos, com presença de óxidos de ferro e alumínio, que contribuem para a floculação dos colóides dos solos, atenuando em parte os efeitos do sódio fornecido pelas soluções aplicadas (FREIRE, 2001).

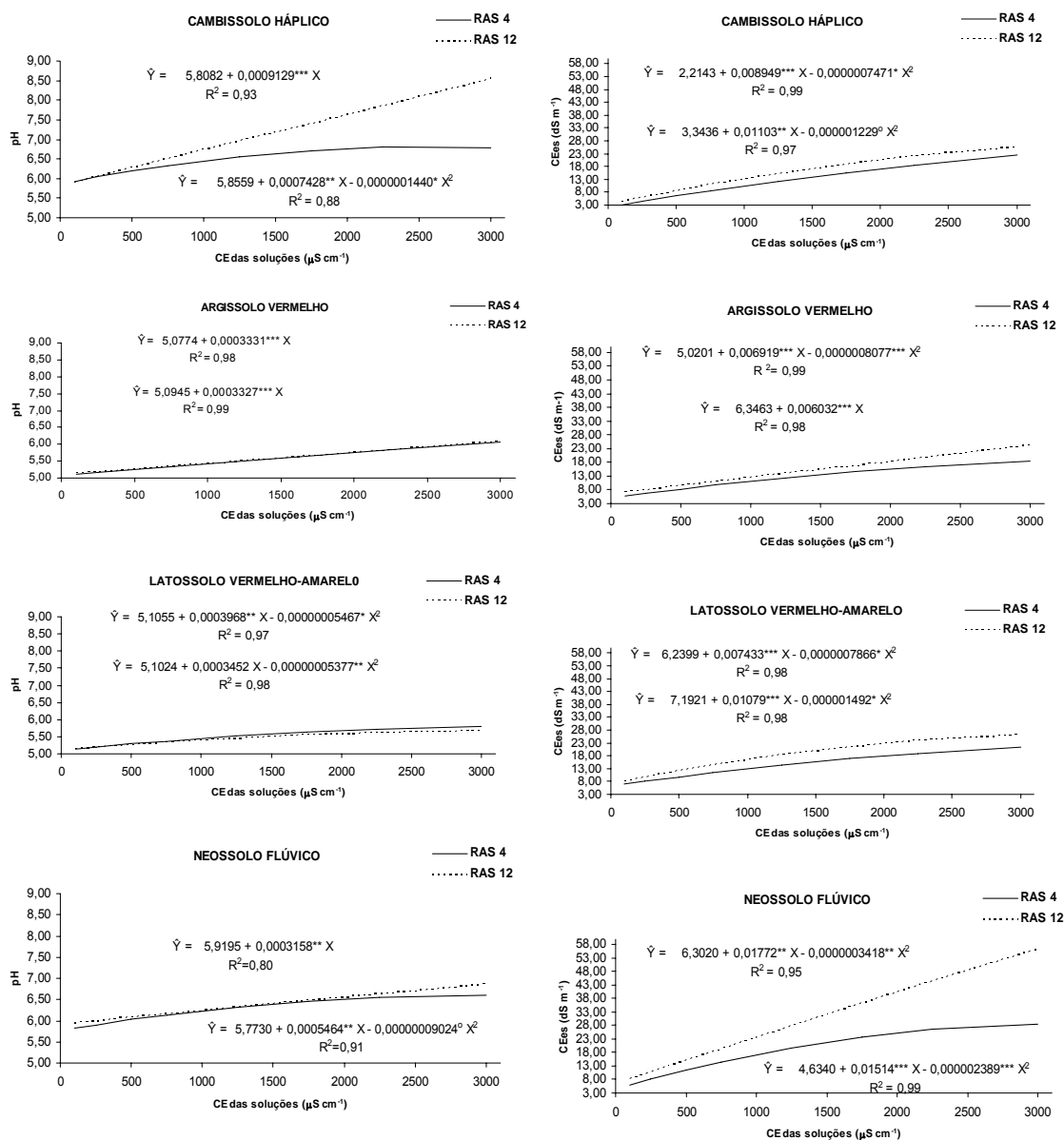


Figura 16. Equações de regressão das variáveis pH, condutividade elétrica do extrato de saturação, em função da CE da solução de percolação para no segundo do cultivo do meloeiro.

O Ca, provavelmente, por ter sido fornecido nas soluções de percolação, foi encontrado em maiores teores no extrato de saturação dos solos do que o Mg (Figura 17). Entretanto, o crescimento nesses teores é observado em todos os solos com o aumento da CE das soluções aplicadas, contribuindo para o aumento na CE dos solos.

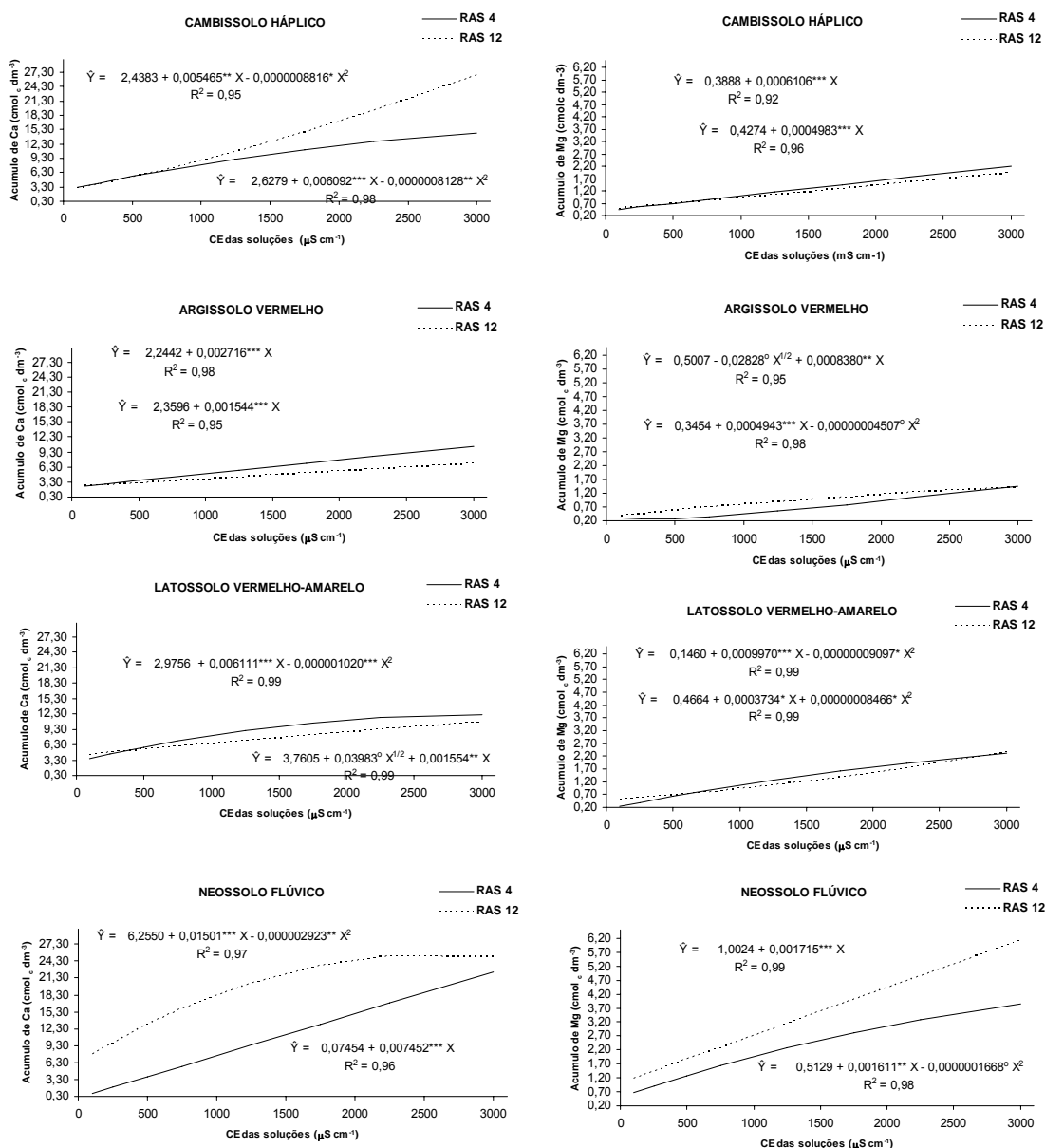


Figura 17. Equações de regressão das variáveis Ca²⁺ e Mg²⁺ solúveis para os quatro solos estudados em função da CE da solução de percolação para no segundo do cultivo do meloeiro.

Conforme comentado anteriormente, o Neossolo Flúvico foi o solo que apresentou maiores teores de sódio na solução do solo (Figura 18), sendo definidos por equações lineares crescentes em função da CE da solução percolante. Este é um fato preocupante, visto que o Na atua na dispersão dos colóides do solo, reduzindo sua condutividade hidráulica (CHURCHMAN et al., 1995).

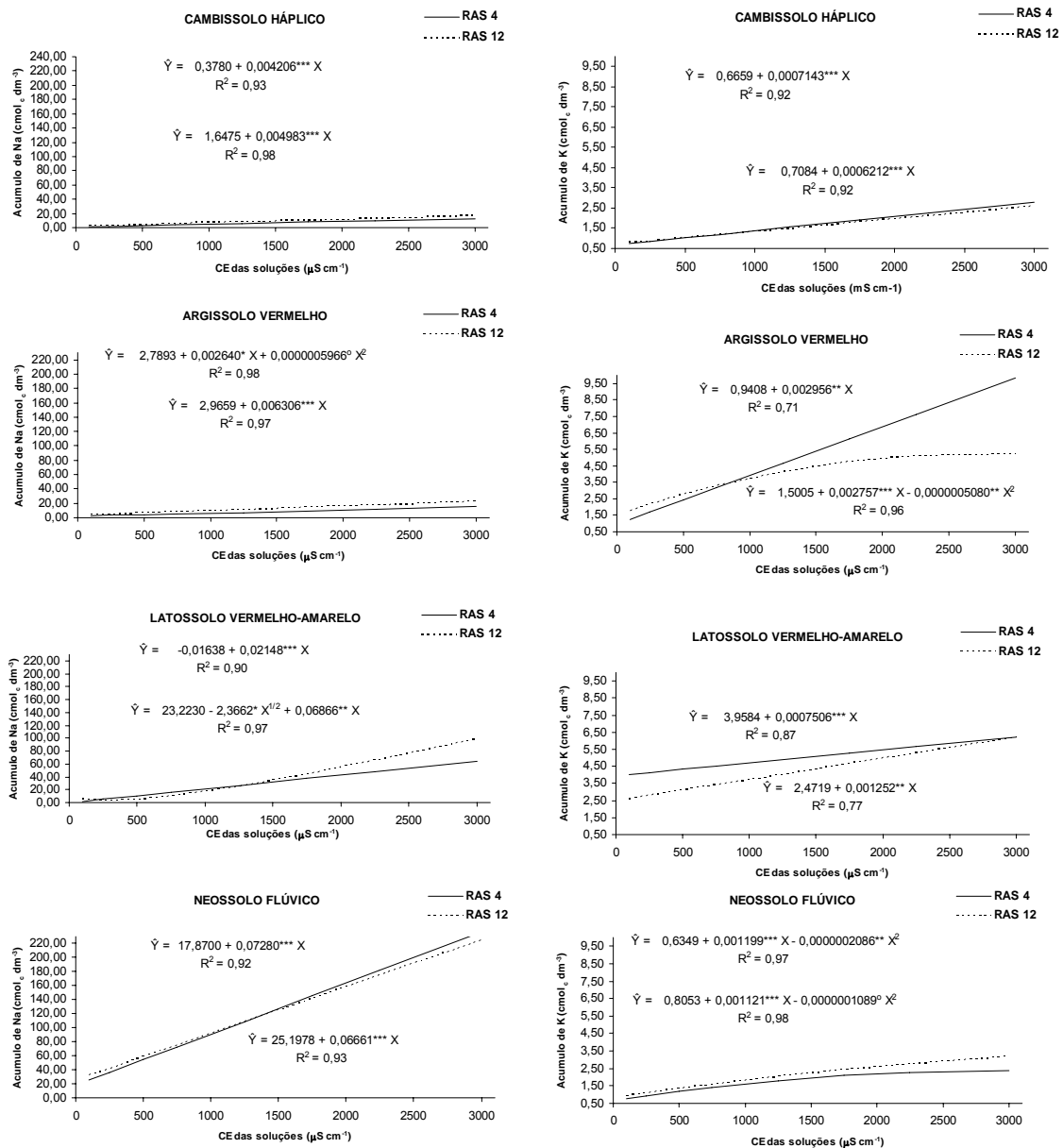


Figura 18. Equações de regressão das variáveis Na^+ e K^+ solúveis para os quatro solos estudados em função da CE da solução de percolação para no segundo do cultivo do meloeiro.

Os teores de Cl superaram os de HCO_3 em todos os solos (Figura 19), contudo, isso ocorreu devido à composição das soluções utilizadas, preparadas com CaCl_2 e NaCl . Portanto, forneceram-se apenas sais de Cl, aumentando sua proporção na solução dos solos. Na prática, as águas de irrigação utilizadas na região apresentam-se variáveis em composição, mas sempre na forma de soluções mistas de sais (OLIVEIRA & MAIA, 1998).

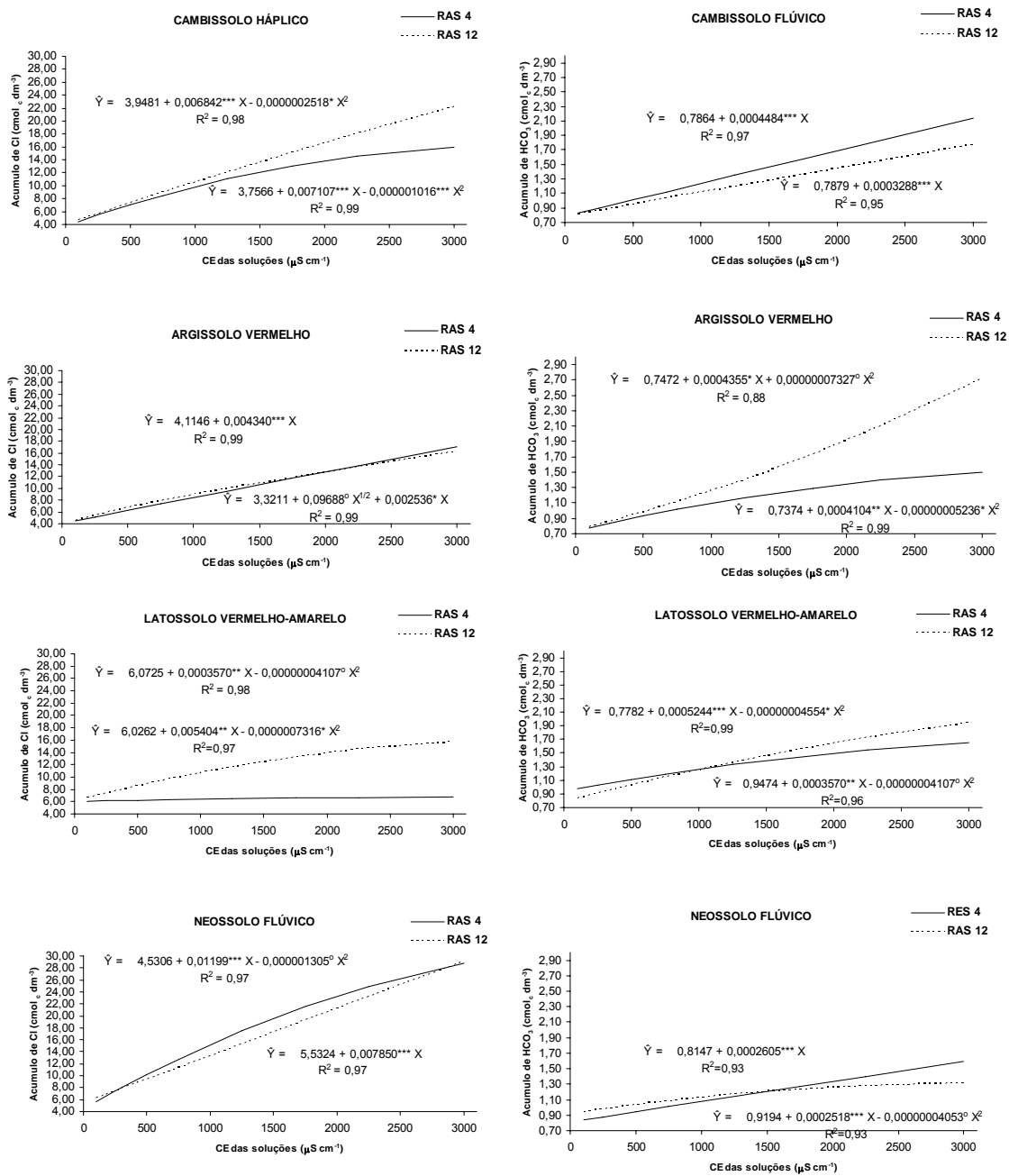


Figura 19. Equações de regressão das variáveis Cl^- e HCO_3^- solúveis e relação de adsorção de sódio (RAS) para os quatro solos estudados em função da CE da solução de percolação para no segundo do cultivo do meloeiro.

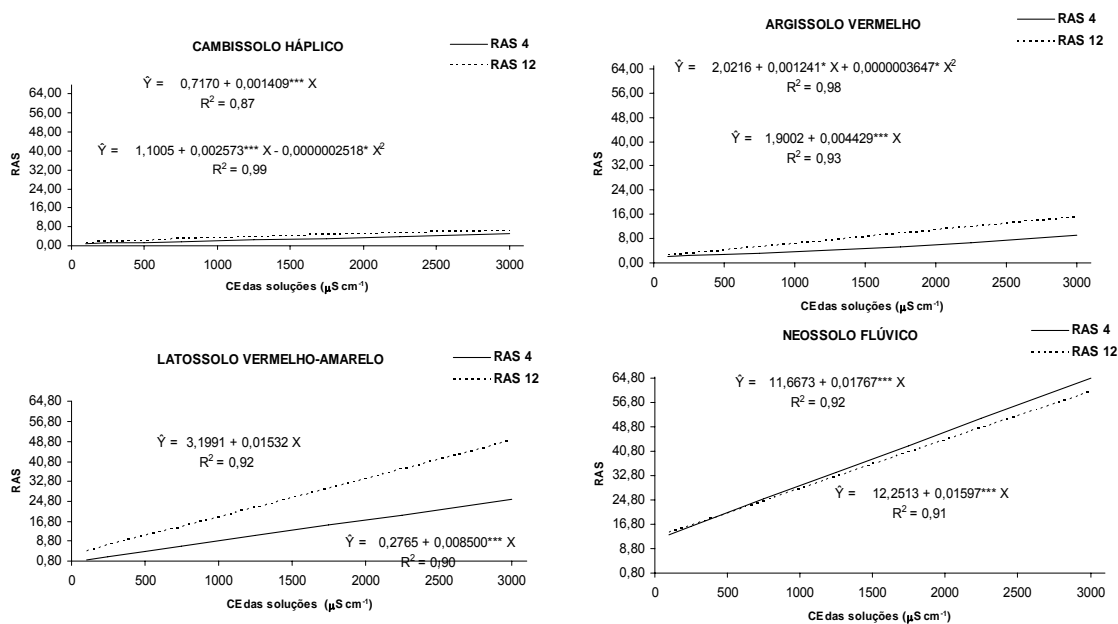


Figura 20. Equações de regressão da relação de adsorção de sódio (RAS) para os quatro solos estudados em função da CE da solução de percolação para no segundo do cultivo do meloeiro.

Finalmente, a RAS dos solos também foi crescente com o aumento na CE das soluções utilizadas (Figura 20), destacando-se o Neossolo Flúvico, que apresentou valores superiores aos demais solos estudados.

4.3 – Composição química do lixiviado

O mesmo comportamento de aumento no pH, na CE, nos teores de elementos analisados e na RAS foi observado na composição química do lixiviado com os incrementos na salinidade das soluções percolantes (Quadros 8, 9 e 10).

Com o aumento da CE do lixiviado com a elevação das concentrações das águas de percolação, ocorreu uma maior lixiviação de sais, verificada pelos teores crescentes dos elementos, principalmente o Ca^{2+} , o Na^{+} e o Cl^{-} , por serem estes os elementos utilizados na composição das soluções de percolação. Esses resultados são coerentes com os obtidos por Jury et al (1979) e Sampaio & Ruiz (1996), os quais afirmam que os cloretos são praticamente lixiviados do solo com aplicação de água correspondente a um volume de poros.

Quadro 8. Resultados de pH, condutividade elétrica (CE), teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- e HCO_3^- e relação de adsorção de (RAS) do lixiviado coletado aos 10 dias do experimento nos quatro solos estudados em função dos diferentes valores de RAS das soluções de percolação

VARIÁVEL	RAS	SOLO			
		CXVe	PVd	LVAe	NVe ¹
pH	4	7,12 a	5,18 b	6,35 a	-
	12	7,18 a	5,42 a	6,37 a	-
	Média	7,15 A	5,30 C	6,36 B	-
CV – 6,56%					
CEes ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	4	1780 a	1620 b	2430 b	-
	12	1800 a	1770 a	2550 a	-
	Média	1790 B	1700 C	2490 A	-
CV – 9,31%					
Ca ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	2,50 a	1,74 b	2,40 a	-
	12	2,47 a	1,92 b	2,02 b	-
	Média	2,48 A	1,83 C	2,21 B	-
CV – 6,88%					
Mg ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	0,83 a	0,57 b	0,79 a	-
	12	0,81 a	0,64 a	0,66 b	-
	Média	0,82 A	0,60 C	0,73 B	-
CV – 7,08%					
Na ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	0,69 a	1,87 a	2,89 a	-
	12	0,51 b	1,93 a	2,89 a	-
	Média	0,60 C	1,90 B	2,89 A	-
CV – 9,34%					
K ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	0,20 a	0,53 a	0,58 a	-
	12	0,20 a	0,49 b	0,56 a	-
	Média	0,20 C	0,51 B	0,57 A	-
CV – 17,89%					
Cl ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	1,44 a	1,71 a	2,11 a	-
	12	1,56 a	1,81 a	2,00 a	-
	Média	1,50 C	1,76 B	2,06 A	-
CV – 18,83%					
HCO_3^- ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	0,60 a	0,59 a	0,47 a	-
	12	0,56 a	0,53 a	0,56 a	-
	Média	0,58 A	0,56 A	0,52 A	-
CV – 34,51%					
RAS ($\text{cmol}_c \text{L}^{-0,5}$)	4	0,56 a	1,79 a	2,36 b	-
	12	0,41 b	1,71 a	2,60 a	-
	Média	0,48 C	1,75 B	2,48 A	-
CV – 11,80%					

¹ Na primeira coleta do lixiviado o Neossolo Flúvico não apresentou material.

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro de cada solo.

O aumento na concentração dos cátions e ânions nos lixiviados torna essas águas mais salinas, podendo aumentar os danos no sistema solo, quando da reutilização dessas águas na irrigação. Como esses elementos são lixiviados no perfil, pode ocasionar aumento da salinidade do lençol freático como também de rios ligados a esses lençóis, trazendo problemas como eutrofização dos mananciais hídricos.

Como a RAS é uma relação entre o teor de sódio e a raiz quadrada da soma dos valores de cálcio e magnésio se há deslocamento de sódio do solo e este posteriormente é lixiviado, isso não implica em uma RAS mais elevada, pois depende da concentração de cálcio e magnésio. Com o uso do cloreto de cálcio, além de ocorrer o deslocamento do sódio, o magnésio também é deslocado, que contribui com o aumento dos teores desses elementos na solução lixiviada. Assim, os valores da RAS devem ser analisados levando-se em consideração o conceito da RAS. Logo, uma RAS maior indica que o Na^+ está saindo do sistema em proporções superiores a soma Ca^{2+} e do Mg^{2+} .

Sabendo-se que o risco de sodicidade é avaliado pela relação de adsorção de sódio (RAS), verificou-se um aumento para todos os solos nas três coletas de lixiviado. Isso é explicado pela combinação da solubilidade, presença de cálcio e deslocamento do sódio e do magnésio do complexo de troca do solo.

O Neossolo Flúvico não apresentou material lixiviado na época da primeira coleta, pois as soluções aplicadas aos tratamentos deste solo não foram em volumes suficientes para promover um excesso de solução a ser lixiviada. Este solo foi o que apresentou maior retenção de umidade e valores bem inferiores de infiltração de água.

A maior quantidade de íons cloreto na solução lixiviada foi retirada justamente das águas que receberam mais cloreto de cálcio e sódio. Isso se deveu a dissolução dos mesmos por apresentar alta solubilidade (PRATHER et al., 1978). Entretanto, a solubilidade do cloreto possibilita a retirada desses sais do sistema com maior facilidade que outros compostos, como defendem Maia et al. (1999), verificando que uma lâmina de irrigação equivalente a 50% da precipitação média da região é suficiente para retirar da camada superficial do solo quantidades significativas de cloreto e diminuir para níveis muito baixos o teor de cloreto do solo. Contudo, Andrade et al. (2004), estudando solos da região da Chapada do Apodi observaram um aumento de até 700% na concentração de cloreto, como também do íon sódio nos solos, onde a precipitação média da região, que chega a 700 mm/ano, não foi

Quadro 9. Resultados de pH, condutividade elétrica (CE), teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- e HCO_3^- e relação de adsorção de (RAS) do lixiviado coletado aos 20 dias do experimento nos quatro solos estudados em função dos diferentes valores de RAS das soluções de percolação

VARIÁVEL	RAS	SOLO			
		CXVe	PVd	LVAe	NVe
pH	4	6,97 a	4,68 b	6,55 a	7,29 b
	12	7,10 a	4,90 a	6,52 a	7,55 a
	Média	7,04 B	4,79 D	6,54 C	7,42 A
CV – 4,41%					
CEes ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	4	2120 a	2640 a	2730 a	3830 a
	12	2300 a	2670 a	2950 a	3550 b
	Média	2210 C	2660 B	2840 B	3690 A
CV – 15,87%					
Ca ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	2,31 a	1,89 a	1,90 a	3,60 a
	12	2,43 a	1,60 a	1,80 a	3,12 b
	Média	2,37 B	1,74 C	1,85 C	3,36 A
CV – 15,87%					
Mg ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	0,88 a	0,93 a	1,00 a	0,87 b
	12	0,91 a	0,95 a	1,06 a	1,47 a
	Média	0,90 C	0,94 BC	1,03 B	1,17 A
CV – 24,86%					
Na ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	0,71 b	2,98 b	3,13 b	2,92 a
	12	0,86 a	3,42 a	3,44 a	2,74 b
	Média	0,79 C	3,20 A	2,29 B	2,83 B
CV – 10,90%					
K ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	0,19 a	0,30 b	0,26 a	0,27 a
	12	0,19 a	0,37 a	0,27 a	0,23 b
	Média	0,19 C	0,34 A	0,27 B	0,25 B
CV – 21,28%					
Cl ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	2,70 a	3,10 b	3,21 a	3,34 a
	12	2,53 a	3,43 a	3,42 a	3,41 a
	Média	2,61 B	3,26 A	3,32 A	3,37 A
CV – 14,62%					
HCO_3^- ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	0,92 a	1,03 a	0,93 a	0,95 a
	12	0,84 a	1,01 a	0,99 a	1,09 a
	Média	0,88 B	1,02 A	0,96 AB	1,02 A
CV – 25,73%					
RAS ($\text{cmol}_c \text{L}^{-0,5}$)	4	0,56 a	2,57 b	2,55 b	1,96 a
	12	0,67 a	3,01 a	2,83 a	1,86 a
	Média	0,61 C	2,79 A	2,69 A	1,91 B
CV – 13,09%					

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro de cada solo.

Quadro 10. Resultados de pH, condutividade elétrica (CE), teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- e HCO_3^- e relação de adsorção de (RAS) do lixiviado coletado aos 30 dias do experimento nos quatro solos estudados em função dos diferentes valores de RAS das soluções de percolação

VARIÁVEL	RAS	SOLO			
		CXVe	PVd	LVAe	NVe
pH	4	6,77 a	3,92 b	5,21 a	7,27 a
	12	6,23 a	4,04 a	5,21 a	7,23 a
	Média	6,50 B	3,98 D	5,21 C	7,25 A
CV – 3,02%					
CEes ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	4	5340 b	3890 a	5620 a	4920 b
	12	5730 a	4010 a	5780 a	5960 a
	Média	5540 A	3950 B	5700 A	5440 A
CV – 10,18%					
Ca ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	4,76 b	2,18 a	3,18 a	3,31 a
	12	5,05 a	1,71 b	2,65 b	3,38 a
	Média	4,91 A	1,94 D	2,92 C	3,35 B
CV – 8,59%					
Mg ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	0,93 a	0,78 b	1,07 a	1,04 b
	12	0,95 a	0,99 a	1,03 a	1,27 a
	Média	0,94 C	0,88 C	1,05 B	1,15 A
CV – 19,39%					
Na ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	3,19 b	6,34 b	5,09 b	3,00 a
	12	4,39 a	8,64 a	5,57 a	3,06 a
	Média	3,79 C	7,49 A	5,33 B	3,03 D
CV – 13,98%					
K ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	0,22 a	0,46 b	0,35 b	0,23 a
	12	0,26 a	0,63 a	0,42 a	0,23 a
	Média	0,24 C	0,54 A	0,39 B	0,23 C
CV – 24,14%					
Cl ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	4,81 a	4,10 a	4,33 a	3,23 b
	12	5,31 a	3,93 a	4,73 a	4,30 a
	Média	5,06 A	4,02 BC	4,53 AB	3,76 C
CV – 25,06%					
HCO_3^- ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4	0,93 a	1,01 a	1,01 b	0,98 a
	12	0,78 b	1,05 a	1,13 a	0,91 a
	Média	0,85 C	1,03 A	1,07 A	0,94 a
CV – 14,23%					
RAS ($\text{cmol}_c \text{L}^{-0,5}$)	4	1,88 b	5,08 b	3,80 b	1,93 a
	12	2,41 a	7,34 a	4,34 a	2,01 a
	Média	2,15 C	6,21 A	4,07 B	1,97 C
CV – 12,34%					

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas, e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro de cada solo.

suficiente para retirar totalmente esses elementos do solo, aumentando assim o risco de degradação de solos.

Mesmo que o cálcio lixiviado seja uma parte das águas de percolação, é importante observar que, nos solos sódicos, tem a função de deslocar o sódio do complexo sortivo do solo para posterior lixiviação do sistema. O cloreto de cálcio, devido a sua alta solubilidade, tem condição de retirar mais eficientemente o sódio do solo em relação aos demais sais de cálcio. Outro ponto a se destacar é o efeito do cloreto de cálcio no deslocamento do magnésio do complexo de troca do solo. Isso é importante porque o magnésio incrementa os efeitos dispersivos do sódio, devido ao tamanho de seu raio iônico hidratado.

Diante desses resultados, o recolhimento das águas de drenagem e sua reutilização na irrigação, devem ser realizados com muito cuidado, pois o incremento da salinidade do solo e das águas tende a aumentar. Andrade et al. (2004), utilizando água reciclada advinda da drenagem constataram que, em dois ciclos de cultivos consecutivos em áreas cultivadas como cajueiros precoces, houve um aumento, a cada ciclo, de cerca de 140% de Na^+ , Cl^- e HCO_3^- , originando mudanças no pH e na salinidade do solo. Semelhante tendência foi observada por Pereira et al. (1986) e Ben-Hur et al. (2001), quando estudaram a ação da lixiviação dos sais adicionados ao solo pela água de irrigação em solos de textura leve.

É importante destacar que o uso de águas de salinidade elevada pode estar promovendo não só a salinização e sodificação dos solos, como também a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos locais, tão importantes numa região com sérios problemas de obtenção e uso de águas de boa qualidade na agricultura.

5. CONCLUSÕES

1. Houve redução na produção de matéria fresca e seca, e aumento no acúmulo de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ e Cl^- nas plantas de melão, no primeiro ciclo de cultivo quando irrigadas com soluções de condutividade elétrica crescente;
2. A salinidade dos solos proporcionou a morte das plantas poucos dias após o transplante do segundo cultivo, com elevados acúmulos de Na^+ e Cl^- no tecido vegetal;
3. O pH, a condutividade elétrica do extrato 1:5 e os teores trocáveis de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ aumentaram com a elevação das concentrações das soluções percolantes no primeiro e segundo cultivos de melão;
4. O aumento na concentração das soluções percolantes promoveu maiores perdas de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- nos lixiviados aos 10, 20 e 30 dias de cultivo de melão;
5. O aumento na relação de adsorção de sódio promoveu o incremento dos efeitos das soluções salinas sobre os solos;
6. O uso de soluções de condutividade elétricas crescentes promoveu a elevação do pH, CEes e dos teores solúveis de Ca, Mg, Na, K, Cl, na pasta de saturação;
7. A aplicação de solução de salinidade crescente ocasionou a sodificação dos quatro solos estudados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, R. D.; PORTO FILHO, F. Q.; MEDEIROS, J. F.; et al. Crescimento de cultivares de melão amarelo irrigadas com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.221-226, 2003.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998, 297p.

ALVAREZ V., V.H.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. **Determinação do fósforo remanescente**. Viçosa, MG: SBCS, 1999.

ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; NESS, R. L. L. et al. Modelagem da concentração de íons no extrato de saturação do solo, na região da Chapada do Apodi. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 33, n.2, p.25-32, 2002.

ANDRADE, E. M.; ALMEIDA, D. M. B. A.; MEIRELES, A. C. M.; et al. Evolução da concentração iônica da solução do solo em áreas irrigadas na chapada de Apodi, CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 35, n. 1. jan-jun, p. 9-16, 2004.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2. ed. Trad. Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F., Damasceno, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1999. 218 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

BARROS, A. D. **Manejo da irrigação por gotejamento, com diferentes níveis de salinidade da água, na cultura do melão**. 2002. 124 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

BEN-HUR, M.; LI, F. H.; KEREN, R.; et al. Water and salt distribution in a field irrigated with marginal water under high water table conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.65-191, 2001.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Métodos análises químicas em plantas**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2004. 165p.

BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V. Salt accumulation and distribution in a greenhouse soil as affected by salinity of irrigation water and leaching

management. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.414-419, 2002.

BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v. 21, p. 73-85, 1974.

CHHABRA, R. **Soil salinity and water quality**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1996. 283 p.

CHURCHMAN, G.J.; SKJEMSTAD, J.O.; OADES, J.M. Effects of clay minerals and organic matter on sodicity. In: NAIDU, R.; SUMNER, M.E.; RENGASAMY, P. (Ed.). **Australian Sodic Soils – Distribution, Properties and Management**. Melbourne, CSIRO, 1995. p.107-119.

COSTA, M. da C. **Efeitos de diferentes lâminas de água com dois níveis de salinidade na cultura do meloeiro**. 1999. 115 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

CRUZ, M. G. M. **Avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas do Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi**. 2001. 66f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

DIAS, N. S. **Evolução da salinidade de um solo Luvissole cultivado com melão irrigado por gotejamento**. 2001. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

DIAS, N. S.; MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; et al. Evolução da salinidade em um Argissolo sob cultivo de melão irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.2/3, p.240-246, 2004.

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

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 1999. 370p.

FARIAS, C. H. A.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MEDEIROS, J. F.; et al. Crescimento e desenvolvimento da cultura do melão sob diferentes lâminas de irrigação e salinidade da água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.445-450, 2003.

FEIGIN, A. Interactive effects of salinity and ammonium/nitrate ratio on growth and chemical composition of melon plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.13, n.10, p.1257-1269, Oct. 1990.

FREIRE, M.B.G.dos. **Saturação por sódio e qualidade da água de irrigação na degradação de propriedades físicas de solos no Estado de**

Pernambuco. 2001. 66 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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

FREIRE, M.B.G.S; RUIZ, H.A.; RIBEIRO, M.R.; et al. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 227-232, 2003b.

GURGEL, M.T.; MEDEIROS, J.F.; NOBRE, R.G.; et al. Evolução da salinidade no solo sob cultivo de melão irrigado com águas de diferentes salinidades. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**. Belo Horizonte, v.3, n.2, p.1-13, 2003.

HEBSUR, N.S.; SHADAKSHARAPPA, G.S.; PATIL, C.V. Effects of ESP and electrolyte concentration on the dispersion of some black and red soils. **J. Maha. Agr. Un.**, v. 15, p. 5-7, 1990.

HENRY, J.L.; JOHNSON, W.E. **The nature and management of salt-affected soils in Saskatchewan**. Saskatoon: University of Saskatchewan, 1977. 26p.

HERNANDEZ, F.B.T. **Efeitos da supressão hídrica nos aspectos produtivos e qualitativos da cultura do melão**. 1995. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

HOSTALÁCIO, S.; VÁLIO, I.F.M. Desenvolvimento de plantas de feijão cv. Goiano precoce, em diferentes regimes de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.19, n.2, p.211-218, 1984.

JURY, W. A., JARRELL, W. M.; DEVITT, D. Reclamation of saline-sodic soils by leaching. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, p.1100-1106, 1979.

KELLEY, W.P. Use of saline irrigation water. **Soil Science**, Baltimore, v.95, p.385-391, 1963.

LIMA, L. A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: Gheyi, H.R.; Queiroz, J.E.; Medeiros, J.F. de (Ed). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997, p.137-169.

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G.J. Crop salt tolerance-current assessment. **Journal Irrigation Drainage Division**, ASCE, v.103, p.115-134, 1977.

MACE, J. E.; AMRHEIN, C. Leaching and reclamation of a soil irrigated with moderate SAR waters. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.199-204, 2001.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. G.; OLIVEIRA, M. Uso de gesso de salina, cloreto de cálcio e húmus de minhoca combinado com manejo da água na recuperação de um solo salino-sódico do perímetro irrigado do ITANS-SABUGI, Rio Grande do Norte. **Caatinga**. Mossoró, v. 12, n. 1/2, p. 41-48, dez. 1999.

MAIA, C. E.; MORAIS, E.R.C.; OLIVEIRA, M. Qualidade da água para fertirrigação por gotejamento. 1. Região da chapada do Apodi, RN. **Engenharia na Agricultura**. v. 5, n. 4, p.293-307, 1997.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, 1989. 201 p.

McNEAL, B.L.; COLEMAN, N.T. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v. 30, p. 308-312, 1966.

MEDEIROS, F. A. S. B.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, M. C. C.; et al. Necessidade hídrica do meloeiro irrigado com águas de diferentes salinidades e cultivado com ou sem cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 234-238, 2005.

MEDEIROS, J.F.; GHEYI, H.R. Manejo do sistema solo-água-planta em solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J. F. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, 1997. C-8, p.239-284.

MEDEIROS, J.F; LISBOA, R. A.; OLIVEIRA, M.; et al. 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, n.3, p.469-472, 2003.

MEIRI, A.; HOFFMAN, G.; SHANNON, M.; et al. Salt tolerance of two muskmelon cultivars under two solar radiation levels. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.107, p.1168-72, 1982.

MENDLINGER, S.; FOSSEN, M. Flowering, vegetative growth, yield, and fruit quality in muskmelons under saline conditions. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v.118, n.6, p.868-872, 1993.

MENDONÇA, F.V. de S.; MENEZES, J. B; GUIMARÃES, A.A. Armazenamento de melão amarelo, híbrido RX 20094, sob temperatura ambiente. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v.22, n.1, p.76-79, 2004.

MINHAS, P.S.; SHARMA, D.R. Hydraulic conductivity and clay dispersion as affected by application sequence of saline and simulated rain water. **Irrigation Science**, New York, v. 63, p. 159-167, 1986.

OLIVEIRA, J.B. **Pedologia aplicada**. Jaboticabal, FUNEP, 2001. 414p.

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**, Campina Grande, v.2, n.1, p.17-21, 1998.

OLSEN, S. R.; COLE, C. V.; WATANABE, F. S.; et al. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. **USDA Circ.**, 1954. 939p.

PAIVA, A. S.; MEDEIROS, J. F.; CASTRO FILHO, M. C.; et al. 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, jan./jun. 2004.

PASTERNAK, D.; AZOULAI, A.; DANON, A.; et al. Irrigation with brackish water under desert conditions. VI. Automated systems to produce a range of salt concentrations in irrigation water for experimental plots. **Agriculture Water Management**, v.12, p.137-147, 1986.

PEREIRA, O. J.; MATIAS FILHO, J.; ANDRADE, E. M. Variação do teor de sais no solo irrigado por aspersão e ação da chuva na sua lixiviação. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.17, n.1, p.61-65, 1986.

PORTO FILHO, F. de Q. **Rendimento e qualidade do melão em função do nível e da época de aplicação de águas salinas**. 2003. 133 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

PRATHER, R. J.; GOERTZEN, J. O.; RHOADES, J. D.; et al. Efficient amendment use in sodic soil reclamation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 42, p. 782-786, 1978.

QUEIROZ, J. H.; GONÇALVES, A. C.; SOUTO, J. S.; et al. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J. F. de (Ed). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. p.69- 111.

RHOADES, J.D.; MERRILL, S.D. Assessing the suitability of water for irrigation: Theoretical and empirical approaches. In: **Prognosis of Salinity and Alkalinity**. Rome: FAO, 1976. p.69-110. (FAO: Soils Bulletin, 31)

RHOADES, J.D.; MIYAMOTO, S. Testing soils for salinity and sodicity. In: WESTERMAN, R.L. (Ed.) **Soil testing and plant analysis**. 3.ed. Madison: SSSA, 1990. cap. 12, p.299-336. (SSSA: Book Series, 3)

RIBEIRO, M.R.; FREIRE, F.J.; MONTENEGRO, A.A. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: CURTI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.G.; et al. (Eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p.165-208.

ROCHA, D.G.F.; HOLANDA, J.S.; MEDEIROS, J.F.; et al. Comportamento de cultivares de melão pele de sapo submetidas a condições de salinidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 10, 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, SBF, 2000. 1 CD-ROM.

SAMPAIO, R. A.; RUIZ, H. A. Características das soluções drenadas na recuperação de solos salino-sódicos com lixiviação parcelada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 13-20, 1996.

SANTOS, J.G.R. **Desenvolvimento e produção da bananeira nanica sob diferentes níveis de salinidade e lâminas de água**. 1997. 173 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

SHANNON, M.; FRANCOIS, L. Salt tolerance of three muskmelon cultivars. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.103, p.127-130, 1978.

SILVA FILHO, S. B.; CAVALCANTE, L.F.; OLIVEIRA, F. A ; et al. Monitoramento da qualidade da água e acúmulo de sais no solo pela irrigação. **Irriga**, Botucatu, v.5, n. 2, 2000.

SILVA JÚNIOR, L.G.A.; GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.11-17, 1999.

SILVEIRA, C.C. Avaliação da salinidade dentro do bulbo úmido na cultura do melão. 1999. 24 f. Conclusão de Curso (Engenharia Agrônômica) – Escola Mossoró: ESAM, 1999. 34p. Monografia Graduação

SOUZA, E. R.; LEVIEN, S. L. A.; MEDEIROS, J. F.; et al. Crescimento de melão irrigado com águas de diferentes níveis de salinidade. **Caatinga**, Mossoró, v. 16, n. 1/2, p. 31-38, dez. 2003.

SUMNER, M.E. Sodic Soils: New Perspectives. In: **NAIDU, SUMNER, RENGASAMY (Eds)** Australian Sodic Soils – Distribution, Properties and Management. Austrália: **CSIRO**, 1995. 351 p.

UNITED STATES SALINITY LABORATORY – USSL STAFF. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, U.S. Department of Agriculture, 1954. 160p. (Handbook 60)