

HAMMADY RAMALHO E SOARES

**CULTIVO HIDROPÔNICO DE ALFACE AMERICANA UTILIZANDO ÁGUAS
SALOBRAS**

RECIFE

FEVEREIRO DE 2014

HAMMADY RAMALHO E SOARES

**CULTIVO HIDROPÔNICO DE ALFACE AMERICANA UTILIZANDO ÁGUAS
SALOBRAS**

Dissertação apresentada ao programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,
UFRPE, como parte das exigências para
obtenção do Título de Mestre em
Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva

RECIFE

FEVEREIRO DE 2014

Ficha Catalográfica

S676c Soares, Hammady Ramalho e
Cultivo hidropônico de alface americana utilizando águas salobras / Hammady Ramalho e Soares. – Recife, 2014.
85 f. : Il.

Orientador (a): Ênio Farias de França e Silva.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) -
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de
Engenharia Agrícola, Recife, 2014.
Referências.

1. *Lactuca sativa* L. 2 .qualidade de água 3. Salinidade 4.
Hidroponia 5. Salinity I. Silva, Ênio Farias de França e,
Orientador II. Título

CCD 630

**CULTIVO HIDROPÔNICO DE ALFACE AMERICANA UTILIZANDO ÁGUAS
SALOBRAS**

HAMMADY RAMALHO E SOARES

Dissertação defendida e aprovada em 26 de Fevereiro pela Banca Examinadora:

Orientador:

Ênio Farias de França e Silva, Prof. Dr.

DEAGRI - UFRPE

Examinadores:

Sérgio Nascimento Duarte, Prof. Dr.

ESALQ - USP

Gerônimo Ferreira da Silva, Dr.

DEAGRI - UFRPE

Dimas Menezes, Prof. Dr.

DEPA - UFRPE

"A mente que se abre a uma nova ideia jamais volta ao seu tamanho original."

Albert Einstein

"O rio atinge seus objetivos porque aprendeu a contornar obstáculos"

Lao Tse

Aos meus Pais, familiares e amigos pelo apoio, a minha esposa Vasti Gomes pelo carinho, dedicação e incentivo em todos os momentos e a minha filha Virgi por iluminar a minha vida,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Expresso meus agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho e, em especial, as seguintes instituições e pessoas:

- A Deus, por estar sempre presente em todos os momentos da minha vida, iluminando os meus pensamentos e me guiando na direção correta;
- A Universidade Federal Rural de Pernambuco por contribuir para a minha formação acadêmica;
- A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Pernambuco (FACEPE), ao CNPq e CAPES pelo apoio financeiro e ao INCTSal/CNPq pelo apoio para a realização da pesquisa científica;
- Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade;
- Aos meus pais Eliel e Inês, por não medir esforços para me educar e ensinar a ser uma pessoa digna honrando os ensinamentos adquiridos;
- Aos meus irmãos Hammond e Ravi, pela amizade, carinho, convivência e amor;
- A minha esposa Vasti, pelo companheirismo, amor e carinho;
- A minha querida filha Virgínia, por ser a minha inspiração;
- A Malú pelos anos de convivência harmoniosa;
- Ao meu orientador, o professor Ênio Farias de França e Silva, pela orientação, confiança, aprendizado e principalmente pela amizade;
- Aos Professores Egídio Bezerra Neto e Levy Paes Barreto, por sanar dúvidas, e principalmente pela confiança;
- Aos professores Newton Stamford e Carolina Etienne pelos anos de convivência e aprendizado;

- A banca examinadora composta pelos professores Sérgio Nascimento Duarte, Gerônimo Ferreira da Silva e Dimas Menezes, pelas contribuições e aceite do convite;
- Aos amigos de graduação André, Diego, Pablo, Vinícius e Amanda;
- Aos amigos do Núcleo de Fixação Biológica de Nitrogênio: Sebastião, Fernando, Wagner, Fabiana, Rosângela, Danielle, Antônio e Augusto;
- Aos amigos da Pós-Graduação, Ana Karina, Eduardo, Alan, Aline, Allysson, Miguel, Gledson, Uilka, Thaís, Patrícia, Anderson, Nadielan, Carlyne, Adriana, Tatyana, Fábio, Janice, Jucicléia, Andrea, Daniel, Diego, Francimar, Gian, Natália, Paty, Robertson, Vilma, Wellington, Suwami, Núbia, Marcelo, Wanderson, Diógenes, Roberto e Célia;
- Em especial a Raquele Mendes de Lira pela ajuda sempre quando solicitada e, principalmente pela amizade incondicional;
- A Alexandre Santos pelo apoio, aprendizado e companheirismo;
- A todos os professores do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola;
- Aos estagiários, Marco, Donato, Raphaela, Márcia, Antunes, pelo apoio e dedicação na condução dos experimentos;
- Aos funcionários do DTR, Lulinha, e Júnior Granja, pela ajuda, sempre quando solicitado;

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO | 9 |
| ABSTRACT | 10 |
| CAPÍTULO I | 11 |
| INTRODUÇÃO GERAL | 11 |
| INTRODUÇÃO | 12 |
| LITERATURA CITADA | 24 |
| CAPÍTULO II | 34 |
| CRESCIMENTO DE ALFACE AMERICANA CULTIVADA COM ÁGUAS SALOBRAS EM SISTEMA HIDROPÔNICO NFT..... | 35 |
| RESUMO | 35 |
| ABSTRACT | 35 |
| INTRODUÇÃO | 36 |
| MATERIAL E MÉTODOS | 38 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO | 45 |
| CONCLUSÕES | 58 |
| LITERATURA CITADA | 59 |
| CAPÍTULO III | 63 |
| NUTRIÇÃO MINERAL DE ALFACE AMERICANA EM CULTIVO HIDROPÔNICO COM ÁGUAS SALOBRAS | 63 |
| RESUMO | 64 |
| ABSTRACT | 64 |
| INTRODUÇÃO | 64 |
| MATERIAL E MÉTODOS | 66 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO | 68 |
| CONCLUSÕES | 79 |
| LITERATURA CITADA | 80 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 85 |

RESUMO

CULTIVO HIDROPÔNICO DE ALFACE AMERICANA UTILIZANDO ÁGUAS SALOBRAS

Autor: Hammady Ramalho e Soares

Orientador: Ênio Farias de França e Silva

A escassez hídrica nas Regiões Semiáridas do Nordeste Brasileiro obriga os produtores a utilizarem as fontes de águas mesmo contendo altas concentrações de sais, seja para atividade humana ou para a agricultura, tornando fundamental o estudo de técnicas e procedimentos que possam viabilizar a utilização dessas águas de qualidade inferior na agricultura moderna. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar o emprego de águas salobras no rendimento, crescimento e aspectos nutricionais da alface americana cultivar ‘Tainá’ em sistema hidropônico NFT (técnica do fluxo laminar de nutrientes) em ambiente protegido. Duas situações estratégicas do uso de águas salobras foram utilizadas: Experimento I – Com águas salinizadas a partir da adição de NaCl em seis níveis de salinidade (0,2; 1,2; 2,2; 3,2; 4,2; 5,2 dS m⁻¹), sendo essas águas utilizadas no preparo da solução nutritiva e na reposição da lâmina evapotranspirada; Experimento II – Os níveis de salinidade foram obtidos pela adição de NaCl no preparo da solução nutritiva como no experimento I, sendo que, na reposição da ETc utilizou-se adição de água de abastecimento. Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental de Agricultura Irrigada Prof. Ronaldo Freire de Moura no Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI) da UFRPE Recife/PE, os Experimentos I e II obedeceram ao delineamento experimental em blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 parcelas experimentais. Houve redução linear para as variáveis: massa fresca da parte aérea (MFPA) de 15,22%, massa seca da parte aérea (MSPA) de 12,67%, área foliar (AF) de 15,6%, diâmetro de planta (DP) de 9,8% e altura de planta (AP) de 6,38%, no Experimento I. O número de folhas não foi afetado pelo aumento da salinidade nos Experimentos I e II. Para o II experimento, reduções percentuais de 8,01% e 6,90% foram encontradas para a (MFPA) e (MSPA), respectivamente. As variáveis (MFR) e (MSR) não sofreram efeitos significativos em função do aumento da salinidade. O comprimento de raiz teve redução percentual por incremento unitário de CE de 12,03%. As variáveis (DP), (Al) e (AF), apresentaram redução de 8,75%, 5,94% e 8,14% em função do aumento dos níveis de salinidade para o II Experimento, respectivamente. Para a variável consumo hídrico houve uma diminuição quantitativa com o aumento dos níveis de salinidade; a avaliação nutricional revelou que houve um aumento na concentração dos níveis de sódio e cloreto no tecido vegetal com o aumento da condutividade elétrica da solução salinizada com NaCl.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., qualidade de água, salinidade, hidroponia

ABSTRACT

HYDROPONIC LETTUCE GROWING AMERICAN USING WATER BRACKISH

Author: Hammady Ramalho e Soares

Advisor: Ênio Farias de França e Silva

Water scarcity in semiarid regions of Northeast Brazil requires producers to use the same water sources containing high concentrations of salts, either to human activity or for agriculture, making the study of fundamental techniques and procedures that can enable the use of these waters inferior in modern agriculture. Thus, the aim of this study was to evaluate the use of brackish water on yield, growth and nutritional aspects of lettuce cultivar Tainá in NFT hydroponic system (technical laminar flow of nutrients) in a protected environment. Two strategic situations the use of brackish water were used: Experiment I - With salty waters from the addition of NaCl in six salinity levels (0,2; 1,2; 2,2; 3,2; 4,2; 5,2 dS m⁻¹), and these waters used in the preparation of nutrient solution and replacement blades evapotranspired; experiment II - the salinity levels were obtained by adding NaCl to prepare the nutrient solution as in experiment I, and the replacement of ETc was used adding the water supply. The experiments were conducted at the Irrigated Agriculture Experimental Station Pr. Ronaldo Freire de Moura in the Department of Agricultural Engineering (DEAGRI) UFRPE Recife / PE, Experiments I and II followed the experimental design in randomized blocks with six treatments and four replications, totaling 24 experimental plots. There was a linear decrease for the variables : fresh weight (MFPA) of 15,22% , shoot dry mass (SDM) of 12,67% , leaf area (LA) of 15,6% , Plant diameter (SD) of 9,8% and plant height (PH) of 6,38% in Experiment I. the number of leaves was not affected by increased salinity in Experiments I and II . In experiment II, percentage reductions of 8,01% and 6,90% were observed for (MFPA) and (SDM), respectively. The variables (MFR) and (MSR) were not significant due to the increased salinity effects. The root length was percentage reduction per unit increase in EC of 12,03%. Variables (DP), (Al) and (AF) fell by 8,75%, 5,94% and 8,14% due to increased levels of salinity for Experiment II, respectively. For variable water consumption there was a quantitative decrease with increasing salinity levels; nutritional assessment revealed that there was an increase in the concentration levels of sodium and chloride in plant tissue with increased electrical conductivity of the solution salinized with NaCl.

Keywords: *Lactuca sativa* L., water quality, salinity, hydroponics

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural importante para a preservação dos ecossistemas e o desenvolvimento da humanidade (VÖRÖSMARTY et al, 2010).

De acordo com a ONU, várias pessoas não têm acesso a água no mundo e esse quadro pode piorar se não houver medidas para conter as taxas de crescimento desordenado. Principalmente nos países em desenvolvimento baseado na agricultura de grande porte como as exportações de *commodities* (ARMANDO, 2013).

A utilização da água na agricultura se destaca com um consumo em torno de 75%, seguida da indústria com 20% e da utilização doméstica com 5%. Esse recurso natural serve a humanidade para geração de energia, navegação, recepção de resíduos, irrigação, fins medicinais e científicos, abastecimento industrial entre várias outras finalidades (D'ISEP, 2010).

O fato de a agricultura ser o maior responsável pelo consumo de água, associado ao crescimento populacional, faz com que essa situação promova uma renovação das idéias em torno do gerenciamento e conservação dos recursos hídricos representando um desafio à sociedade (YU et al., 2010).

O desenvolvimento social, político, econômico e ambiental dependem do uso da água, gerando conflitos entre a necessidade e o abastecimento, devido ao crescimento econômico em várias regiões do mundo (ZENG et al., 2013).

Marcos et al. (2010), ao relacionarem a escassez dos recursos hídricos com as mudanças climáticas, perceberam que existem três correntes de pensamentos entre os pesquisadores sobre o assunto: a primeira corrente considera o aquecimento global sobre responsabilidade humana no processo de produção, a segunda que o aquecimento global é decorrente apenas de processos naturais que o planeta vem vivenciando e por último a terceira corrente que considera que o estágio atual no qual o planeta se encontra de mudanças climáticas afetando os recursos hídricos é devido a inter-relação entre as atividades humanas e os processos naturais.

Para que possa ocorrer um aumento da produção de alimentos para as próximas gerações, é preciso investimentos em tecnologias viáveis com verdadeiras reformas nas instituições juntamente com a gestão consciente dos recursos oriundos da agricultura em um mundo globalizado (HERRERO et al., 2010).

O Brasil possui 12% das reservas de água doce superficial do mundo (SILVA, 2012). Segundo Souza et al., (2013), O Aquífero Alter do Chão ocorre na região centro-norte do Pará e leste do Amazonas e ocupa uma área de 312.574 km². Caracteriza-se por ser confinado e livre sendo representado por intercalações de argilitos, silitos e arenitos. Em relação à qualidade da água é considerada boa com valores de sólidos totais inferiores a 100 mg/L e pH em torno de 4,8.

Dentro do nosso país, o Rio Amazonas, em razão do volume de água, é o maior do mundo despeja cerca de 175 milhões de litros de água por segundo no Oceano Atlântico, contudo, devido ao aumento da população, principalmente nos últimos anos, torna a escassez hídrica uma realidade (VICTORINO, 2007).

A escassez hídrica não é causada apenas por fatores geográficos ou climáticos, tendo em vista que o ciclo hídrico permanece o mesmo a bilhões de anos, e sim é resultado da ação antrópica (ARMANDO, 2013; SOUZA et al., 2011). Sendo um problema diagnosticado em países como o Brasil, com grandes regiões semiáridas, e devido ao atual cenário de pequena oferta de água potável, projetos de pesquisa que viabilizem a utilização de águas salobras na produção de alimentos são relevantes (PAULUS et al., 2010).

A distribuição heterogênea de chuvas nas regiões semiáridas e o fato de mais de 10 milhões de habitantes dessas regiões terem o sustento principalmente da pecuária e agricultura, contribuem para que essas atividades fiquem comprometidas em função dos períodos de seca (IPEA, 2011).

As regiões semiáridas possuem altas taxas de evaporação, e solos rasos e ainda para completar o quadro um regime de chuvas que se concentra em poucos meses do ano, tudo isso dificulta a produção agrícola nessas regiões (ALADOS et al., 2011).

As águas subterrâneas são as principais fontes que garantem as necessidades de várias comunidades, principalmente em regiões onde as águas de superfície são insuficientes. No cenário atual, em torno de 70% da água subterrânea é utilizada na agricultura (GHODRATI & GHAZARYAN, 2013).

A água subterrânea flui, lentamente, através dos poros das rochas. Como um componente do ciclo hidrológico, esse fluxo é influenciado pela permeabilidade, (parâmetro geológico que traduz a capacidade de uma rocha de transmitir fluidos), e essa facilidade de transmitir fluidos está relacionada com o volume e tamanho dos poros, a variação do tamanho dos grãos e a distribuição (IRITANI & EZAKI, 2009).

Essas águas se localizam, em sua grande maioria, no embasamento rochoso, ou seja, um conjunto de rochas sedimentares e cristalinas (CABRAL & SANTOS, 2007).

De acordo com o Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2013) existem atualmente 233.727 poços cadastrados no Brasil para captação de águas subterrâneas, sendo o Piauí o local onde se encontra o maior número de poços cadastrados 27.465, Pernambuco vem em segundo lugar com 22.221 poços cadastrados, o Amapá com 105 poços sendo o estado com menor número de poços cadastrado no país.

A relação de convivência com a seca pode ser minimizada através da exploração das reservas subterrâneas no semiárido, todavia, a maior parte da área é composta por rochas impermeáveis (embasamento cristalino), o que diminui o armazenamento subterrâneo, outro fator é a baixa vazão dos poços tubulares em torno de $4 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ com elevadas concentrações de sais (REBOUÇAS, 2002; COSTA et al., 2006). A região semiárida possui 50% de rochas do embasamento cristalino e junto com as baixas vazões inviabiliza a utilização dessas águas na agricultura convencional (CABRAL & SANTOS, 2007).

Os pesquisadores têm como um grande desafio buscar práticas em relação ao manejo dessas águas salobras que possam possibilitar o uso na agricultura irrigada com o máximo de retorno econômico reduzindo cada vez mais os impactos ambientais devido ao uso inadequado (OLIVEIRA et al., 2011 b).

As pressões sobre as reservas de água doce para atender às necessidades de produção de alimentos têm aumentado no mundo em função da rápida industrialização e urbanização (HASSANLI et al., 2009). Além desse fator a escassez hídrica e a má qualidade da água são sérias questões em diversas áreas do globo. O aumento da população acompanhado da melhoria dos padrões de vida, com a escassez de água, torna necessário o uso de fontes alternativas de recursos hídricos como a reutilização de águas não potáveis para irrigação (GENHUA & RAUL, 2010).

A principal preocupação de utilização dessas fontes de águas alternativas é o nível de sal (GENHUA & RAUL, 2010). Sendo a sua qualidade o principal obstáculo para estender o seu uso, uma vez que, a salinidade é um fator limitante ao desenvolvimento da maioria das culturas (FERNANDEZ et al., 2010).

Na agricultura, em muitas regiões, na prática nem sempre é possível fornecer água de boa qualidade para irrigação. As águas com níveis elevados de sais quando utilizadas na agricultura convencional podem salinizar o solo devido a grandes

quantidades de sais o que eleva a concentração de vários íons na planta tornando inadequado para o cultivo (KALAVROUZOTIS et al., 2010).

Segundo Sachit & Veenstra (2014), os recursos de água doce no mundo vêm diminuindo progressivamente, devido ao crescimento populacional. A água é um recurso natural utilizado para os mais diversos fins em todo mundo. A maior parte das águas encontradas no planeta são águas do mar, salobra, ou subterrânea. Segundo o autor, 97% das águas no planeta é salgada, sendo 1,98% localizada em calotas polares e geleiras, enquanto que 0,59% são águas subterrâneas, e 0,014% da água do planeta está disponível como água de boa qualidade doce. Portanto, muitas regiões semiáridas não dispõem de água doce superficial como rios e lagos. Consequentemente, a água do mar e salobras se tornam alternativas para serem utilizadas em função de crescimento populacional e uso indiscriminado das águas de boa qualidade, sendo as águas doces caracterizadas por apresentar um teor de sólidos totais dissolvidos inferior ao valor de 1000 mg/L^{-1} , as águas salobras esse valor situa entra a faixa de $1000 - 10000 \text{ mg/L}^{-1}$ de sólidos totais dissolvidos e a água do mar considerada salina contém de $10000 - 60000 \text{ mg/L}^{-1}$ de sólidos totais dissolvidos.

Na análise da qualidade da água para irrigação devem ser observados vários parâmetros físico-químicos e biológicos que podem definir se é apropriada ou não. Os principais atributos a serem analisados são: pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e íons como sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloretos, sulfatos, carbonatos e bicarbonatos (ALMEIDA, 2010). Estes íons específicos podem ser tóxicos para vários processos fisiológicos das plantas e também podem causar distúrbios nutricionais (RAGHUPATHI & GANESHAMURTHY, 2013).

Em termos de solos, 7% da superfície terrestre do planeta são ocupados por solos salinos, é esperado que até a metade do século XXI essa área aumente 50 % (RUIZ-LOZANO et al., 2012). A salinidade prejudica a produção de agrícola, principalmente pelo fato de restringir o uso de terras, o que limita a produção de alimentos afetando o desenvolvimento das culturas diminuindo a produção (PORCEL et al., 2012).

De acordo com Evelin et al. (2012), além de causar danos às plantas prejudicando a fotossíntese e a respiração, pode ocorrer desequilíbrio nutricional nas plantas submetidas ao estresse fisiológico quando crescem em ambientes salinos.

A água é necessária ao metabolismo vegetal, na abertura e fechamento dos estômatos, na penetração do sistema radicular e no metabolismo vegetal, sendo o principal constituinte do tecido vegetal (TAIZ & ZEIGER, 2004).

A maior parte das áreas cultivadas no planeta tem a presença de solos afetados pela salinização e as causas são o manejo inadequado da irrigação e utilização de forma contínua de fertilizantes (FAO, 2008).

Os íons Na^+ e Cl^- são os responsáveis pelo componente osmótico do estresse salino causando distúrbios nutricionais que, conseqüentemente, ocorre diminuição da taxa de crescimento (MUNNS & TESTER, 2008).

De acordo com López et al. (2014), a salinidade afeta 19,5% das áreas irrigadas do mundo incluindo as áreas de sequeiro e de pastagens e a tendência é aumentar essas áreas em decorrência do manejo inadequado da irrigação, utilização de águas de qualidade inferior. Nas regiões semiáridas a produção agrícola pode ser limitada em função da salinidade porque os mecanismos que as plantas desenvolveram ou evoluíram para a absorção de nutrientes, transporte e translocação de nutrientes pode não funcionar de forma ótima nessas condições. As concentrações de Na^+ e Cl^- podem exceder as concentrações dos outros nutrientes essenciais, o que pode resultar em distúrbios na absorção de Ca^{2+} e K^+ pela modificação na absorção radicular desses nutrientes e translocação na planta. O aumento da salinidade pode provocar mudanças na absorção dos macronutrientes e micronutrientes nos tecidos vegetais tornando as plantas mais sensíveis a distúrbios nutricionais.

A produção de biomassa e a taxa de crescimento representam bons critérios para avaliar os efeitos da salinidade sobre as plantas, ou seja, o grau do estresse e a capacidade de superá-lo, pois, o crescimento da planta é sensível ao efeito dos sais (Morais et al., 2011). De acordo com Echer et al. (2010) a taxa de crescimento pode ser reduzida ou até impedida em função do decréscimo na turgescência, e, até, pequenas diminuições do conteúdo de água.

Segundo Maggio et al. (2011), existem diferenças entre o tempo de exposição das plantas ao estresse salino se o tempo de exposição ao estresse dura vários dias, as lesões devido à presença dos sais devem se expressar nas folhas mais velhas devido a uma redução de emissão de folhas provocando maior impacto nas folhas do que nas raízes, sintomas típicos do estresse hídrico. A exposição aos sais durante semanas dependendo da sensibilidade ao estresse pode causar a morte das folhas mais velhas, se

durar mais meses as folhas mais novas também podem morrer e toda a planta antes de completar o período de maturação das sementes.

Existem outros fatores nos quais os efeitos da salinidade dependem: espécie, cultivar, fenologia da cultura, intensidade e duração do estresse salino, tipos de sais, condições edafoclimáticas, manejo e irrigação (TAIZ & ZEIGER, 2009).

A irrigação transporta os sais através da água os quais ficam depositados no solo, na medida em que essa água evapora ou é consumida pelas plantas. A disponibilidade de água para as plantas é afetada diretamente pela salinidade do solo o que diminui a produtividade das culturas de maneira geral. As culturas reagem de forma diferente à salinidade, têm plantas que conseguem produzir mesmo em níveis elevados de salinidade, já outras são sensíveis a níveis baixos de salinidade e tudo isso ocorre em função da capacidade das plantas através da adaptação osmótica (AYERS & WESTCOT, 1999).

A salinidade tem reflexo negativo no desenvolvimento das plantas, em especial na redução do sistema radicular, redução da área foliar, da atividade fotossintética e da capacidade de reprodução das plantas, de modo geral (MUNNS & TESTER, 2008; RIGON et al., 2012).

Nas culturas sensíveis, os danos devido a exposição a salinidade podem ocorrer, mesmo em concentrações baixas, e manifestam-se como queimaduras nas bordas e clorose na área internerval das folhas, e se o acúmulo de íons for elevado, produzirá redução de forma significativa nos rendimentos (AYERS & WESTCOT, 1999). De acordo com os autores, os problemas relacionados com a toxidez ocorrem quando os íons constituintes do solo ou da água são absorvidos e acumulados nos tecidos das plantas.

Os efeitos dos sais nas regiões semiáridas são aumentados, de forma a prejudicar o crescimento das culturas, devido à combinação da evaporação intensa e precipitação pluviométrica reduzida manifestando-se por meio da pressão osmótica elevada e da ação tóxica de alguns íons como o Na^+ e o Cl^- , responsáveis por promover vários distúrbios fisiológicos nas culturas, levando-as à morte (OLIVEIRA et al., 2009).

Os sintomas de toxidez de sódio alcançam níveis tóxicos após vários dias ou semanas nas folhas mais velhas e em suas bordas, à medida que o estresse salino é prolongado, o problema se agrava causando necrose que se espalha pela área internervural até o centro das folhas. Tipicamente, a característica principal do sintoma

de toxidez do sódio são queimaduras ou necrose ao longo das bordas das folhas. No cloreto, os sintomas têm início no ápice das folhas. O nível de toxidez do sódio nas folhas encontra-se em concentrações acima de 0,25 a 0,50% do peso seco (DIAS & BLANCO, 2010).

Segundo Zanella et al. (2008), no sistema hidropônico, a técnica NFT (técnica de fluxo laminar de nutrientes) consiste na passagem de uma lâmina intermitente de solução nutritiva em um ambiente contendo as plantas, porém, o material e os intervalos de irrigações neste ambiente podem influenciar na produção vegetal. Trata-se de uma técnica caracterizada pela forma de aplicação da solução nutritiva que, por sua vez, pode influenciar tanto na disponibilidade de água como a de nutrientes para as plantas.

De acordo com Domingues et al. (2012), o sistema NFT é uma técnica para cultivar as plantas onde as mesmas crescem com suas raízes dentro de canais, com paredes impermeáveis, pelo qual essas raízes entram em contato com uma solução nutritiva circulante. Trata-se de um sistema fechado. O manejo adequado da solução nutritiva pode ser decisivo para o sucesso de um cultivo hidropônico.

A hidroponia possui inúmeras vantagens como a independência da safra estar atrelada a condições ambientais como veranico, geadas, granizo, ventos inundações e utilização de áreas impróprias para o cultivo convencional baseado no solo, o que permite a produção durante todo o ano. A questão das capinas e preparo do solo, muito comum em cultivo convencional para controlar as plantas invasoras, o que reduz o custo com operários, e ainda por cima a atividade em hidroponia é mais suave comparando com a agricultura convencional. Outro fator importante é o tempo de colheita reduzido em decorrência da redução do ciclo da planta o que representa retorno financeiro e dispensa a rotação de culturas, otimização de nutrientes, preservação ambiental pelo uso racional das águas, altos rendimentos pela padronização dos processos e redução dos custos (DOMINGUES et al., 2012)

A principal vantagem do cultivo hidropônico é a possibilidade de reduzir os riscos provocados por patógenos de solo, o que representa um dos principais fatores que prejudicam a produtividade da maioria das hortaliças (LOPES et al., 2005).

Existem algumas desvantagens em utilizar a hidroponia como sistema de produção, por exemplo, o alto custo de instalação dos sistemas e necessidade de monitoramento contínuo do seu funcionamento, com ênfase no controle da solução nutritiva e fornecimento de energia elétrica, técnicas apropriadas de controle de pragas e

doenças, além da mão de obra especializada, tudo isso, pode influenciar de maneira direta na qualidade do produto final. A não observação desses aspectos pode acarretar em prejuízo para os produtores (DOMINGUES et al., 2012).

De acordo com Silva et al. (2013), as plantas respondem de maneira diferente ao se tratar de salinidade no cultivo hidropônico comparando com o cultivo convencional pelo fato que no cultivo em solo a umidade varia entre os eventos de irrigação ocorrendo a diminuição do potencial mátrico, no cultivo hidropônico o potencial mátrico é insignificante e isso devido ao fato do estado de saturação das plantas, significando uma vantagem ao se produzir com águas salobras devido a uma maior facilidade de absorção de água e nutrientes.

Em cultivo hidropônico, a absorção de nutrientes é influenciada por fatores como o pH, salinidade, oxigenação, temperatura, condutividade elétrica da solução nutritiva, luz, fotoperíodo e umidade relativa do ar. Os macronutrientes têm pelo menos uma função dentro das plantas, ou seja, a falta ou o excesso pode causar sintomas de deficiência ou toxidez (FURLANI et al., 1999).

Vários estudos sobre tolerância das plantas ao estresse salino têm sido realizados como os de (SOARES et al., 2007; PAULUS et al., 2010; DIAS et al., 2011a, 2011b; OLIVEIRA et al., 2011a). A possibilidade do uso de águas salobras está diretamente relacionada com a tolerância das culturas ao estresse, sendo a maioria destes trabalhos realizados com hortaliças folhosas. A principal hipótese destes trabalhos se baseia no fato de que em cultivo convencional as respostas das plantas a salinidade é superior quando comparado com o cultivo hidropônico, devido à ausência do potencial mátrico no cultivo hidropônico (SOARES et al., 2007).

Segundo Ayers & Westcot (1999), a região semiárida apresenta dificuldades em relação ao plantio, devido à elevada concentração de sais nos mananciais em épocas de secas o que pode ocasionar problemas através do retardamento do crescimento em altura e diâmetro do caule, inibição da germinação das sementes e redução da parte aérea.

De acordo com Furlani et al. (1999), ainda se sabe pouco sobre as cultivares de alface em cultivo hidropônico NFT. Em 1990 as cultivares Brisa (tipo crespa) e Regina (tipo lisa) foram bastante utilizados devido à adaptação ao sistema.

Eloi et al. (2011), estudaram a influência de diferentes níveis de salinidade nas características sensoriais do tomate e concluíram que os índices de salinidade utilizados não interferiram na aceitação do tomate pelo consumidor.

A viabilidade técnica do cultivo hidropônico também foi verificada em outras culturas como no coentro, com a utilização de rejeito salino (REBOUÇAS et al., 2013), no melão por Dias et al. (2010), na produção de tomate hidropônico utilizando rejeito da dessalinização na solução nutritiva aplicados em diferentes épocas por Cosme et al. (2011). Na Rúcula, por Neta et al. (2013), Silva et al. (2011) e Santos et al. (2012), no crescimento inicial do mamoeiro Sá et al. (2013).

Portanto, a utilização de águas salobras no cultivo hidropônico pode representar uma alternativa viável, contudo, em função dos resultados variáveis em cada tipo de sistema estudado, e levando em consideração que as águas subterrâneas, devido as altas concentrações de sais que podem prejudicar as culturas, é preciso ampliar a gama de informações técnicas para os produtores a respeito dos efeitos da salinidade em culturas de importância econômica.

A alface (*Lactuca sativa* L.), é uma espécie autógama originária da Ásia, é uma das hortaliças folhosas mais consumidas no país (FILGUEIRA, 2008). De acordo com Filgueira (2008), a alface é uma dicotiledônea anual que pertence à família Asteraceae, subfamília Cichorioideae e do gênero *Lactuca*. A planta é constituída de caule não ramificado e curto, ao quais as folhas amplas se prendem crescendo em roseta, em torno do seu caule. Pode formar ou não a cabeça, possuindo várias tonalidades das cores verdes ou roxas, tudo isso depende da cultivar, e são essas características que definem a preferência pelo consumidor (MAROTO, 2002; RODRIGUES, 2002; FILGUEIRA, 2008). Trata-se de uma planta que possui grande variabilidade no que se refere à cor, textura das folhas e formas (CARVALHO FILHO et al., 2009).

Além de a cultura ser considerada uma hortaliça de grande consumo, é também a hortaliça folhosa mais comercializada no Brasil. Está presente em várias dietas no país, principalmente nas saladas, devido ao seu baixo valor calórico (FERNANDES et al., 2002).

A alface possui alto teor de vitamina A (ZÁRATE et al., 2010). É a hortaliça folhosa mais consumida no país, rica em vitamina A, C, cálcio e fósforo, e na medicina popular também é indicada como calmante. Seu frescor e limpeza são as principais características observadas pelos consumidores (CEAGESP, 2013). De acordo com a CEASA-PE (2014), o preço da alface americana no atacado tem valor máximo de R\$ 1,50 o pé.

Segundo Santos et al. (2011), as cultivares de alface são agrupadas em seis tipos com base em algumas características como na formação ou não da cabeça e características das folhas. Quando a alface atinge o crescimento máximo de folhas e dá início ao alongamento do caule, se dá o encerramento da fase de crescimento vegetativo.

Durante o período de crescimento vegetativo as cultivares de alface se desenvolvem bem em climas amenos. Em condições climáticas como temperatura elevada o ciclo da cultura pode ser acelerado, o que pode resultar em plantas menores em função da emissão do pendão floral ocorrer precocemente. Os tipos cultivados no Brasil são: Repolhuda Lisa que tem como característica apresentar folhas lisas e macias e nervura saliente e forma cabeça compacta (Babá de Verão e Aurora); Repolhuda Crespa ou Americana que apresenta como característica as folhas crespas e crocantes e cabeça grande e compacta (Crespa Repolhuda e Tainá); Solta Lisa com folhas delicadas e sem a formação de cabeça compacta (Regina 440 e Regina 579); Solta Crespa com folhas de textura macia sem formação de cabeça podendo ter coloração verde ou roxa (Vera e Verônica); Solta Crespa Roxa com folhas duras, alongadas (Maravilha e Quatro Estações); Tipo Romana com folhas alongadas e nervuras claras, cabeça fofa e na forma de cone (Branca de Paris e Romana Balão) (EMBRAPA, 2009).

As mais consumidas no Brasil dentre as variedades são: alface crespa com 70% do mercado, em segundo lugar alface americana com 15%, Lisa com 10% e outras como mimosa, vermelha e romana com 5% (OHSE, 1999; SALA et al., 2008).

Segundo Yuri et al. (2002), a alface americana tem-se destacado atualmente principalmente devido as características apresentadas por esse grupo. Uma das características que destaca a alface americana dos demais grupos é apresentar folhas externas de coloração verde escura e folhas internas com coloração amarela ou branca crocantes. Até a década de 1990, a aceitação do mercado consumidor era da alface do tipo lisa, porém hoje no país, a alface americana vem demonstrando maiores índices de crescimento (SALA & COSTA, 2012).

A tolerância da alface à salinidade em cultivo convencional é moderadamente sensível, e o maior rendimento alcançado quando a condutividade elétrica do extrato de saturação atinge valores menores de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$, valores acima é esperado uma redução de 13% em seu rendimento por acréscimo unitário de CE (AYERS & WESTCOT, 1999).

O cultivo da alface em ambiente protegido acelera os parâmetros de crescimento, fato observado através de várias pesquisas que têm sido realizadas em condições adversas (VIANA et al., 2013).

A possibilidade de controle das condições adversas de cultivo favorece o desenvolvimento das plantas, permitindo a produção de hortaliças de melhor qualidade, em função dessa característica, o cultivo em ambiente protegido é bastante utilizado na produção de hortaliças folhosas (HELBEL JÚNIOR et al., 2007).

De acordo com Costa & Leal (2009), a técnica NFT (fluxo laminar de nutrientes) é a mais utilizada em sistemas hidropônicos em ambiente protegido. Trata-se de um sistema de produção muito adotado para o cultivo de alface, e um dos fatores principais, é o ciclo de cultivo que corresponde a 45-60 dias e aceitação do mercado.

De acordo com Porto et al. (2012), a cultura da alface (*Lactuca sativa* L.), é de grande importância socioeconômica e pode ser conduzida em diferentes sistemas como orgânico, convencional e hidropônico. É uma hortaliça das mais vendidas no país sendo comercializada em feiras livres e grandes estabelecimentos comerciais.

Segundo Marcelino (2010), ao estudar o comportamento de duas cultivares de alface quando expostas a ambiente naturalmente contaminado, observou que para a cultura, os climas temperados são os mais favoráveis, em regiões quentes o gosto fica um pouco amargo, por outro lado, em climas muito frios e úmidos as plantas se desenvolvem de forma lenta. Segundo o autor, as temperaturas ótimas para o desenvolvimento durante o dia são de 18-20 °C e durante a noite de 10-15° C. Em cultivo convencional em solos ácidos, as plantas se desenvolvem mal, o pH ótimo em torno de 6,8, podendo ter influência no rendimento da cultura.

A necessidade de pesquisas com finalidade de diminuir os efeitos da salinidade das culturas através de tecnologias viáveis para a utilização de águas salobras se torna uma realidade principalmente para a região semiárida na qual o uso destas águas muitas vezes é a única opção para os produtores (SOUSA et al., 2012).

Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho foi observar o efeito da salinidade no desenvolvimento da alface americana em cultivo hidropônico NFT com utilização de águas salobras em ambiente protegido, de forma a produzir diretrizes na sua produção em função do estresse salino.

Os objetivos específicos foram: avaliar o crescimento da alface americana em cultivo hidropônico NFT com utilização de águas salobras na reposição da lâmina

evapotranspirada; verificar o desenvolvimento da alface americana em cultivo hidropônico NFT com utilização de águas salobras no preparo da solução nutritiva e utilização de água de abastecimento na reposição da lâmina evapotranspirada; estimar as reduções percentuais dos parâmetros biométricos como área foliar, altura de planta, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, número de folhas e diâmetro de cabeça da alface americana em cultivo hidropônico utilizando água salobra para preparar a solução nutritiva e águas salobra e doce para a reposição da lâmina evapotranspirada; estimar o consumo hídrico da alface americana em duas situações de manejo de reposição de águas para reposição da ETc; verificar o efeito da salinidade na nutrição mineral da alface americana em sistema hidropônico NFT por meio da absorção dos nutrientes nas plantas.

LITERATURA CITADA

ALADOS, C. L.; PUIGDEFABREGAS, J.; MARTINEZFERNANDEZ, J. Ecological and socio-economical thresholds of land and plant-community degradation in semi-arid Mediterranean areas of southeastern Spain. **Journal of Arid Environments**, v. 75, n. 12, p. 1368-1376, 2011.

ARMANDO, N. H.; VALADÃO, M. A. O. A Domínia Privada dos Recursos Hídricos em face do Desenvolvimento Sustentável. **Revista do Direito Público**, v. 8, n. 2, p. 35-62, 2013.

ALMEIDA, O. A. de. **Qualidade da água de irrigação**. Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

AYERS, R. S., WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Trad. GHEYI, H. R., MEDEIROS, J. F., DAMASCENO, F. A. V. UFPB, 1999. 218 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 revisado 1).

CABRAL, J. J. S. P.; SANTOS, S. M. **Água Subterrânea no Nordeste Brasileiro**. In: CABRAL, J. J. S. P (Cord.). O Uso Sustentável dos Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas. Ed. Universitária da UFPE, cap. 3, p 40-63, 2007.

CARVALHO FILHO, J. L. S.; GOMES, L. A. A.; MALUF, W. R. Tolerância ao florescimento precoce e características comerciais de progênies F4 de alface do cruzamento Regina 71 x Salinas 88. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 1, p. 37-42. 2009.

CEAGESP (Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo) 2013. **Alface**. Disponível em: <<http://www.ceagesp.gov.br/produtos/produtos/alface>> Acesso em: 12 set 2013.

CEASA-PE. Central de Abastecimento da Secretaria de Agricultura de Pernambuco: Cotação diária de preço – Hortaliça 2014. Recife: Secretaria de Agricultura. Disponível

em: <<http://www.ceasape.org.br/verCotacao.php?tipo=hortalicas>> Acesso em: 09 de janeiro de 2014.

COSME, C. R.; DIAS, N. S.; OLIVEIRA, A. M.; OLIVEIRA, E. M. M.; NETO, O. N. S. Produção de tomate hidropônico utilizando rejeito da dessalinização na solução nutritiva aplicados em diferentes épocas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 499–504, 2011.

COSTA, A. M. B.; MELO, J. G.; SILVA, F. M. Aspectos da salinização das águas do aquífero cristalino no Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 20, n. 1, p. 67-82, 2006.

COSTA, E.; LEAL, P. A. M. Produção de alface hidropônica em três ambientes de cultivo. **Revista Engenharia Agrícola**. v. 29, n. 3, p. 358-369, 2009.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Sistema de informação de águas subterrâneas – SIAGAS**. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br>>. Acesso em: 16 de Janeiro de 2014.

D'ISEP, Clarissa Ferreira Macedo. **Água juridicamente sustentável**. Revista dos Tribunais, 2010.

DIAS, N. S.; JALES, A. G. O.; SOUSA NETO, O. N.; GONZAGA, M. I. S.; QUEIROZ, I. S. R.; PORTO, M. A. F. Uso de rejeito da dessalinização na solução nutritiva da alface, cultivada em fibra de coco. **Revista Ceres**, v. 58, n. 5, p. 632-637, 2011a.

DIAS, N. S.; SOUSA NETO, O. N.; COSME, C. R.; JALES, A. G. O.; REBOUÇAS, J. R. L.; OLIVEIRA, A. M. Resposta de cultivares de alface à salinidade da solução nutritiva com rejeito salino em hidroponia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 10, p. 991-995, 2011b.

DIAS, N. S.; LIRA, R. B.; BRITO, R. F.; NETO, O. N. S.; NETO, M. F.; OLIVEIRA, A. M. Produção de melão rendilhado em sistema hidropônico com rejeito da

dessalinização de água em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 755–761, 2010.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. **Efeitos dos sais no solo e na planta**. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados, INCTsal – Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010.

DOMINGUES, D. S.; TAKAHASHI, H. W.; CAMARA, C. A. P.; NIXDORF, S. L. Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 84,p. 53–61, 2012.

ELOI, W. M.; DUARTE, S. N.; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F. Influência de diferentes níveis de salinidade nas características sensoriais do tomate. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 16–21, 2011.

EVELIN, H.; GIRI, B.; KAPOOR, R. Ultrastructural evidence for AMF mediated salt stress mitigation in *Trigonella foenum-graecum*. *Mycorrhiza* 2012, in press, <http://dx.doi.org/10.1007/s00572-012-0449-8>.

ECHER, F. R.; CUSTÓDIO, C.C.; HOSSOMI, S. T.; DOMINATO, J. C.; MACHADO NETO, N.B. Estresse hídrico induzido por manitol em cultivares de algodão. **Revista Ciência Agronômica**. v. 41, n. 4, p. 638-645, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (**EMBRAPA**)
Disponível em www.cnph.embrapa.br/serie_documentos/publicações2009/cot_75.pdf
Aceso em 22/01/2014.

FAO. **Land and Plant Nutrition Management Service**; 2008.

FERNANDEZ, G. J.; CLAYTON, J. A. R. and ARANZAZU, P. Soil Quality as Affected by Wastewater Irrigation in a Semi-arid Agricultural Land. Challenges for soil management Book Series: **Advances in Geocology**. 41, 63-70, 2010.

FERNANDES, A. A.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA P. R. G.; FONSECA, M. C. M. Produtividade, acúmulo de nitrato e estado nutricional de cultivares de alface, em hidroponia, em função de fontes de nutrientes. **Horticultura Brasileira**. v. 20, n. 2, p. 195-200, 2002.

FILGUEIRA F. A. R. **Novo Manual de Olericultura**: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. UFV, 2008, 402 p.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. IAC, 1999. 52p. (Boletim técnico, 180).

GENHUA, N. and RAUL, C. Growth and Physiological Responses of Landscape Plants to Saline Water Irrigation: A Review. **Hortscience**. v. 45, n. 11, p. 1065-1609, 2010.

GHODRATI, M.; GHAZARYAN, S. Agriculture water supply in semi-arid zone by underground dams. **European Journal of Experimental Biology**. v. 33, p. 706-711, 2013.

HASSANLI, A. M., AHMADIRAD, S. and BEECHAM, S. Evaluation of the influence of irrigation methods and water quality on sugar beet yield and water use efficiency. **Agricultural Water Management**. v. 97, p. 357–362, 2009.

HELBEL JÚNIOR, C.; REZENDE, R.; FRIZZONE, J. A.; SANTOS, H. S.; DALLACORT, R. Produção hidropônica da cultura da alface com soluções nutritivas e vazões distintas. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v.29, p.391-395, 2007.

HERRERO, M.; THORNTON, P. K.; NOTENBAERT, A.; WOOD, S.; MSANGI, S.; FREEMAN, H. A.; BOSSIO, D.; DIXON, J.; PETERS, M.; VAN DE STEEG, J.; LYNAM, J.; PARTHASARATHY RAO, P.; MACMILLAN, S.; GERARD, B.; MCDERMOTT, J.; SERÉ, C. & ROSEGRANT, M.. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop–livestock systems. **Science**, v. 327, 822–825, 2010.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. (2011). **Transposição do Rio São Francisco: Análise de oportunidade de projeto**. César Nunes de Castro. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

IRITANI, MARA AKIE; EZAKI, SIBELE. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SMA, 2009. 104p. 2ª edição.

KALAVROUZOTIS, I. K.; KOUKOULAKIS, P. H.; MEHRA, A. **Quantification of elemental interaction effects on Brussels sprouts under treated municipal wastewater**. *Desalination*, 254, 6 – 11, 2010.

LÓPEZ, U. P.; APODACA, J. M.; PETITE, A. M.; RUEDA, A. M. Responses of nutrient dynamics in barley seedlings to the interaction of salinity and carbon dioxide enrichment. **Environmental and Experimental Botany**. v. 99, p. 86–99, 2014.

LOPES, C. A.; CARRIJO, O. A.; MAKISHIMA, N. Contaminação com patógenos em sistemas hidropônicos: como aparecem e como evitar. **Comunicado Técnico**. 2005.

MAGGIO, A.; DE PASCALE, S.; FAGNANO, M.; BARBIERI, G. Saline agriculture in Mediterranean environments. **Italian journal of Agronomy**, n. 6, p. 36-43, 2011.

MARCELINO, M. C. **Comportamento de duas variedades de alface (*Lactuca sativa* L.) quando expostas a ambiente naturalmente contaminado**. 2010. 66 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

MAROTO, J. V. **Horticultura herbácea especial**. 5 ed. Madrid. Mundi-Prensa, 2002. 702 p.

MARCOS, D. S. A.; JOSICLÊDA, D. G.; SOELMA, B. M. M. Os recursos hídricos e as mudanças climáticas: discursos, impactos e conflitos. **Revista Geográfica Venezuelana**, v. 51, n. 1, p. 59-68, 2010.

MORAIS, F. A. de; GURGEL, M. T.; OLIVEIRA, F. H. T.; MOTA, A. F. Influência da irrigação com água salina na cultura do girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 327-336, 2011.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651-681, 2008.

NETA, M, L. S.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, R. T.; SOUZA, A, T.; OLIVEIRA, M. K. T.; MEDEIROS, J, F. Efeitos da salinidade sobre o desenvolvimento de rúcula cultivada em diferentes substratos hidropônicos. **Revista Agroambiente**, v. 7, n. 2, p. 154-161, 2013.

OLIVEIRA, F. A.; CARRILHO, M. J. S. O.; MEDEIROS, J. F.; MARACAJÁ, P. B.; OLIVEIRA, M. K. T. Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 771-777, 2011 a.

OLIVEIRA, F. A.; CAMPOS, M. S.; OLIVEIRA, F. R. A.; OLIVEIRA, M. K. T.; MEDEIROS, J. F.; MELO, T. K. Desenvolvimento e concentração de nitrogênio, fósforo e potássio no tecido foliar da berinjela em função da salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 37-45, 2011 b.

OLIVEIRA, F. A.; MENESES, Ê. F.; FILHO, N. T. A.; OLIVEIRA, R. C.; CAMPOS, A. R. F. Tolerância de cultivares de algodoeiro herbáceo à salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 13, n. 3, p. 91-97, 2009.

OHSE, S. Rendimento, composição centesimal e teores de nitrato e vitamina c em alface sob hidroponia. 1999. 103f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PAULUS, D.; DOURADO NETO, D.; FRIZZONE, J. A.; SOARES, T. M. Produção e indicadores fisiológicos de alface sob hidroponia com água salina. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 1, p. 29-35, 2010.

PORTO, M. L. A.; ALVES, J. C.; SOUZA, A. P.; ARAÚJO, R. C.; ARRUDA, J. A.; JÚNIOR, U. A. T. Doses de nitrogênio no acúmulo de nitrato e na produção da alface em hidroponia. **Revista Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 3, p. 539-543, 2012.

PORCEL, R.; AROCA, R.; RUIZ-LOZANO, J. M. Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, p. 181–200, 2012.

RAGHUPATHI, H. B.; GANESHAMURTHY, A. N. Deterioration of irrigation water quality. **Current Science**, v. 105, n. 6, 25 2013.

RODIGUES, L. R. F. **Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido**. Jaboticabal: Funep, 2002. 762 p.

REBOUÇAS, J. R. L.; NETO, M. F.; DIAS, N. S.; NETO, O. N. S.; DINIZ, A. A.; LIRA, R. B. Cultivo hidropônico de coentro com uso de rejeito salino. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 624-634, 2013.

REBOUÇAS, A. C. A inserção da água subterrânea no Sistema Nacional de Gerenciamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 7, n. 4, p. 39-50, 2002.

RUIZ-LOZANO, J. M.; PORCEL, R.; AZCON, R.; AROCA, R. Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants. New challenges in physiological and molecular studies. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, p. 4033–44, 2012.

RIGON, J. P. G.; BELTRÃO, N. E. M.; CAPUANI, S.; BRITO NETO, J. F.; SILVA, F. V. F. Análise não destrutiva de pigmentos fotossintéticos em folhas de gergelim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 258-261, 2012.

SACHIT, D. E.; VEENSTRA, J. N. Analysis of reverse osmosis membrane performance during desalination of simulated brackish surface waters. **Journal of Membrane Science**. v. 453, p. 136–154, 2014.

SÁ, F. V. S.; PEREIRA, F. H. F.; LACERDA, F. H. D.; SILVA, A. B. Crescimento inicial e acúmulo de massa seca de cultivares de mamoeiro submetidas à salinidade da água em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 8, n.3, p. 435-440, 2013.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p.187-194, 2012.

SALA, F. C.; COSTA, C. P.; TEIXEIRA, L. D.; FABRI, E.G.; BLAT, S. F. Reação de cultivares de alface a *Thielaviopsis basicola*. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 3, p. 398-400, 2008.

SANTOS, D; MENDONÇA, R. M. N.; SILVA, S. M.; ESPÍNOLA, J. E. F.; SOUZA, A.P. Produção comercial de cultivares de alface em Bananeiras. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 609-612, 2011.

SANTOS, R. S. S.; DIAS, N. S.; DUARTE, S. N.; LIMA, C. J. G. S. Uso de águas salobras na produção de rúcula cultivada em substrato de fibra de coco. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 113-118, 2012.

SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; DUARTE, S. N.; MÉLO, R. F.; JORGE, C. A.; SILVA, E. M. B. Produção de alface utilizando águas salinas em sistema hidropônico. **Irriga**, v. 12, n. 2, p. 235-248, 2007.

SOUSA, G. G.; MARINHO, A. B.; ALBUQUERQUE, A. H. P.; VIANA, T. V. A. V.; AZEVEDO, B. M. Crescimento inicial do milho sob diferentes concentrações de biofertilizante bovino irrigado com águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 237-245, 2012.

SOUZA, E. L.; GALVÃO, P. H. F.; PINHEIRO, C. S. S.; BAESSA, P. M.; DEMÉTRIO, J. G. A.; BRITO, W. R. R. Síntese da hidrogeologia nas bacias sedimentares do Amazonas e do Solimões: Sistemas Aquíferos Içá Solimões e Alter do Chão. **Revista Geologia USP**, série científica, v. 13, n. 1, p. 107- 117, 2013.

SOUZA, S. H. B.; MONTENEGRO, S. M. G L.; SANTOS, S. M.; PESSÔA, S. G.; NÓBREGA, R. L. B. Avaliação da qualidade da água e da eficácia de barreiras sanitárias em sistemas para aproveitamento de água de chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 3, p. 81-93, 2011.

SILVA, C. H. R. T (2012). **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável no Brasil**. Boletim Legislativo, n. 3. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br>>. Acesso em: 18 jan. 2013. Verificar Dimas.

SILVA, F. V.; DUARTE, S. N.; LIMA, C. J. G. S.; DIAS, N. S.; SANTOS, R. S. S.; MEDEIROS, P. R. F. Cultivo hidropônico de rúcula utilizando solução nutritiva salina. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.3, p.476-482, 2013.

SILVA, A. O.; SILVA, D. J. R.; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; SANTOS, A. N.; ROLIM, M. M. Produção de rúcula em sistema hidropônico NFT utilizando água salina do Semiárido-PE e rejeito de dessalinizador. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 147-155, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3ªed. Artmed, 2009. 719 p.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3ª ed. Piracicaba, Artmed, 2004. 720 p.

VIANA, E. P. T.; DANTAS, R. T.; SILVA, R. T. S.; COSTA, J. H. S.; SOARES, L. A. A. Cultivo de alface sob diferentes condições ambientais. **ACSA – Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 2, p. 21 – 26, 2013.

VICTORINO, C. J. A. Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. 231 p.

VÖRÖSMARTY, C. J.; MCINTYRE, P.; GESSNER, M. O.; DUDGEON, D.; PRUSEVICH, A.; GREEN, P.; GLIDDEN, S.; BUNN, S. E.; SULLIVAN, C.A.; LIERMANN, C. R.; Global threats to human water security and river biodiversity. **Nature**. v. 467, p. 555–561, 2010.

YURI, J. E.; SOUZA, R. J.; FREITAS, S. A. C.; RODRIGUES JÚNIOR, J. C.; MOTA, J. H. Comportamento de cultivares de alface tipo americana em Boa Esperança. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 229-232, 2002.

YU, Y.; HUBACEK, K.; FENG, K. S.; GUAN, D. B. Assessing regional and global water footprints for the UK. **Ecological Economics**, v. 69, n. 5, p. 1140- 1147, 2010.

ZANELLA, F.; LIMA, A. L. S.; SILVA, F. F. J.; MACIEL, S. P. A. Crescimento de alface hidropônica sob diferentes intervalos de irrigação. **Ciência Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 366-370, 2008.

ZÁRATE, N. A. H.; VIEIRA, M. C.; HELMICH, M.; HEID, D. M.; MENEGATI, C. T. Produção agroeconômica de três variedades de alface: cultivo com e sem amontoa. **Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 646-653, 2010.

ZENG, Z.; LIU, J.; SAVENIJE, H. H. G. A simple approach to assess water scarcity integrating water quantity and quality. **Ecological Indicators**. v. 34, p. 441–449, 2013.

CAPÍTULO II

CRESCIMENTO DE ALFACE AMERICANA CULTIVADA COM ÁGUAS SALOBRAS EM SISTEMA HIDROPÔNICO NFT

Crescimento de Alface Americana cultivada com águas salobras em sistema hidropônico NFT

Resumo: A utilização de águas salobras para a produção de alimentos é uma alternativa a ser considerada no Nordeste do Brasil, tendo em vista a deficiência hídrica regional e as características qualitativas das águas subterrâneas. Com o objetivo de avaliar o efeito da salinidade no crescimento da alface americana utilizando águas salobras no preparo da solução nutritiva, os experimentos foram conduzidos em ambiente protegido no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco em cultivo hidropônico NFT, Houve redução de 15,22% e 12,67% para as massas fresca e seca da parte aérea por incremento unitário da CE, respectivamente, 15,6% para a área foliar, de 9,83% e 6,38% por acréscimo unitário da CE para o diâmetro de planta e altura de planta, respectivamente. O número de folhas não foi afetado pelo aumento da salinidade. Utilizando água de abastecimento na reposição da evapotranspiração a salinidade proporcionou reduções por acréscimo unitário da CE de 8,01%, 6,90%, 8,14%, 5,94%, 12,03% e 8,75% para a massa fresca e seca da parte aérea, área foliar, altura de planta comprimento de raiz e diâmetro de planta, respectivamente.

Palavras chave: hidroponia, salinidade, hortaliças

Abstract: The use of brackish water for food production is an alternative to be considered in the Northeast of Brazil, in view of the regional water deficiency and qualitative characteristics of groundwater. In order to evaluate the effect of salinity on growth of lettuce using brackish water in the preparation of nutrient solution , experiments were conducted in greenhouse at the Department of Agricultural Engineering, Federal Rural University of Pernambuco in hydroponics NFT was reduced by 15,22 % and 12,67 % for fresh and dry weight of shoots per unit increase in EC, respectively, 15,6 % for leaf area , 9,83 % and 6,38 % per unit increase of the EC to the diameter of the plant and plant height, respectively. The number of leaves was not affected by increasing salinity. Using water supply in replacement of evapotranspiration the salinity reductions provided by the EC unit increase of 8,01 % , 6,90 % , 8,14 % , 5,94 % , 12,03 % and 8,75 % for fresh and air dry matter, leaf area, plant height, root length and diamete , respectively.

Keywords: hydroponics, salinity, vegetables

INTRODUÇÃO

A diminuição da disponibilidade de água doce para a irrigação em todo mundo ocorre em função da competição com o desenvolvimento urbano e industrial, da mesma maneira em que a utilização de água de qualidade inferior para a irrigação se torna cada vez mais um desafio. Para se utilizar essas águas de qualidade inferior na agricultura deve-se levar em consideração o manejo racional, buscando alternativas economicamente viáveis para que se tenham produtos de boa qualidade e diminuição dos riscos por meio da salinização dos solos (Medeiros et al., 2007).

Em países como o Brasil de dimensões continentais de grande região semiárida, em virtude da pouca oferta de água de boa qualidade torna importante a realização de pesquisas para a utilização de águas salobras na produção agrícola (Paulus et al., 2010).

É permanente a necessidade de encontrar novas tecnologias para o uso das águas salobras com seu maior aproveitamento na produção vegetal de maneira a diminuir os impactos ambientais (Santos et al. 2010). Uma possibilidade é o cultivo hidropônico. Soares et al. (2007), afirmam que a alternativa que condiz com a realidade do semiárido nordestino é a hidroponia por ter maior disponibilidade de águas para as plantas e devido a tolerância das plantas a salinidade ser maior em cultivos hidropônicos que em sistemas convencionais baseados no solo.

A importância de se estudar a cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) reside no fato de ser das hortaliças folhosas a mais popular e consumida no mundo inteiro (FILGUEIRA, 2003). No Brasil, a alface está presente em todas as regiões e principalmente na agricultura familiar, contudo, Em função das mudanças nos hábitos alimentares e o crescimento das redes de “fast foods” o mercado para a alface americana aumentou de forma notória (SALA & COSTA, 2012).

A alface americana possui folhas externas de coloração verde-escura, folhas internas com cor amarelada ou branca, semelhantes ao repolho e crocantes (YURI et al., 2002). Outro fator importante é que a alface americana apresenta maior durabilidade pós-colheita, o que de certa forma, facilita o transporte o que permite a produção em regiões distantes dos principais mercados consumidores (DECATEAU et al., 1995).

A utilização de águas salobras no cultivo hidropônico especificamente na cultura da alface tem sido estudada por vários autores. Santos et al. (2010) verificaram que em espécies e cultivares de uma mesma espécie a tolerância das plantas à salinidade pode

ser influenciada por fatores como condições ambientais, estágio de crescimento, porém, o estudo em questão revelou que não houve diferenças entre as cultivares Babá de Verão, Verônica e Quatro Estações, todavia, ocorreu redução do número de folhas e massa seca da parte aérea em função dos três níveis salinos obtidos pela adição de NaCl à solução nutritiva.

De acordo com Oliveira et al. (2011) ao estudar o desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação verificou que os parâmetros de crescimento foram reduzidos linearmente com o aumento da salinidade, resultados também encontrados por Soares et al. (2010); Santos et al. (2011); Alves et al. (2011).

A utilização de águas salobras em sistema hidropônico NFT para a produção de alface americana pode representar uma alternativa de renda para aqueles agricultores que dispõem desse tipo de água em sua propriedade, portanto, pesquisas utilizando águas salobras no preparo da solução nutritiva e na reposição da lâmina evapotranspirada para a cultura da alface são de extrema importância. O objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento e o desenvolvimento da alface americana cultivar Tainá em condições de utilização de águas salobras no preparo da solução nutritiva comparando estratégias de manejo de reposição da lâmina evapotranspirada.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em ambiente protegido nos meses de fevereiro e junho de 2013, no Departamento de Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Pernambuco (UFRPE), localizada a 8° 01' 05" de latitude Sul e 34° 56' 48" de longitude Oeste, e altitude de 6,5 m, foi utilizada casa de vegetação com as seguintes dimensões: 7,0 m de largura e 24,0 m de comprimento e 3,0 m de pé direito e 4,5 m na parte mais alta da estufa. As paredes laterais e frontais foram confeccionadas com telas, possuindo um rodapé de 20 cm em concreto armado (Figura 1).

O piso foi revestido com manta geotêxtil (bidim), com o objetivo de melhorar as condições fitossanitárias, bem como minimizar os efeitos da poeira sobre o sistema de bombeamento. Foi confeccionada uma estrutura hidropônica composta por 24 parcelas (Figura 2).

Cada parcela representava um sistema NFT (técnica do fluxo laminar de nutrientes) (RODRIGUES, 2002) independente, composto por um perfil de 3 m de comprimento feito em polipropileno com aditivo antiultravioleta, uma eletrobomba de circulação, um reservatório para solução nutritiva com 50 L para a parcela com perfil pequeno e um reservatório de abastecimento automático com volume de 15 L para reposição da água evapotranspirada (SOARES et al., 2009).



Figura 1. Vista frontal do ambiente protegido.



Figura 2. Interior do ambiente protegido e as parcelas experimentais.

O espaçamento foi de 0,25 m entre as plantas e 0,30 m entre perfis, sendo montados quatro a quatro, com uma tela por baixo dos perfis para a sustentação das plantas e espaçamento de 0,80 m entre cada grupo de quatro perfis para facilitar a circulação e operacionalidade. A altura média de instalação dos perfis em relação ao solo foi de 0,85 m para o perfil de 75 mm possuindo quatro pontos de apoio e uma inclinação de 5,0%.

A cultura utilizada foi a alface americana cv. Tainá cultivada em sistema hidropônico NFT. A produção de mudas foi realizada utilizando espuma fenólica, tratada com hidróxido de potássio KOH 0,01N, A espuma fenólica é um material estéril produzido a base de resina fenólica, comercializada em placas de 33 x 40 cm e espessura de 2 cm, com células pré-marcadas de 2 x 2 cm, com 315 células por placa. Após a semeadura, as placas foram mantidas em local escuro por aproximadamente 24 horas para germinação das sementes, conforme Figura 3. Posteriormente foram levadas ao berçário, sendo fornecida solução nutritiva diluída em 50%, onde permaneceram por 15 dias. Em seguida, 15 dias após a semeadura (DAS), ocorreu o transplântio para unidades experimentais, onde permaneceram por mais 21 dias. Nesses 21 dias após o transplântio (DAT) as plantas receberam solução nutritiva padrão ou salinizada de acordo com cada tratamento.



Figura 3. Semeadura da alface e produção de mudas no berçário.

Para o Experimento I as plantas foram submetidas aos tratamentos representados pelas condutividades elétricas de 0,2, 1,2, 2,2, 3,2, 4,2 e 5,2 dS m^{-1} (T1, T2, T3, T4, T5 e T6), respectivamente. Os níveis de salinidade da água foram obtidos pela adição de NaCl, tanto para o preparo da solução nutritiva como para a reposição da lâmina evapotranspirada.

Para cada tratamento, com exceção do T1 (0,2 dS m^{-1}), a solução nutritiva foi preparada com NaCl e a reposição da lâmina evapotranspirada com sua respectiva solução salobra. Nesse experimento, foi simulado o uso mais simplista das águas salobras pelos agricultores, não sendo adotado qualquer tipo especial de manejo que não o usual à hidroponia com água de boa qualidade.

No Experimento II, também foram utilizados 24 perfis hidropônicos com diâmetro de 75 mm, as mesmas dimensões do Experimento I.

Os níveis de salinidade da água para o Experimento II foram obtidos pela adição de NaCl no preparo da solução nutritiva obtendo as seguintes condutividades elétricas: (0,2; 1,2; 2,2; 3,2; 4,2; 5,2). O tratamento T1 a testemunha não foi salinizada com NaCl, tal solução nutritiva usada na hidroponia foi preparada de acordo com a metodologia de Furlani (1998).

No experimento II, os tratamentos foram mantidos com salinidade constante ao longo do ciclo de cultivo, com a finalidade de estudar a tolerância da cultura e simular situações em que o agricultor mais tecnificado possa fazer um controle da CE_{sol} mediante a utilização de água doce.

A temperatura da solução nutritiva foi registrada diariamente, através de um datalog por meio de termopares (Figura 4), obtendo leituras a cada 15 minutos, a cada hora e a cada dia. O pH e a condutividade elétrica da solução nutritiva foram

monitorados a cada dia alternado. Todas as leituras foram realizadas no período da manhã, mais especificamente às 9:00 h, com o objetivo de que os dados representassem leituras em um período de 24 horas.



Figura 4. Oxigenação e sensor de temperatura da solução nutritiva.

O pH da solução não foi ajustado durante todo o ciclo, para que desta forma fosse simulado as condições reais de campo, no qual o agricultor não dispõe de material para realizar o ajuste para faixa ideal entre 5,5-6,5.

Após o transplante para as parcelas experimentais as plantas foram submetidas aos tratamentos indicados juntamente com a solução nutritiva proposta por Furlani (1998) para hortaliças folhosas (Tabela 1).

Tabela 1. Quantidades de fertilizantes e a respectiva concentração de nutrientes para o preparo de 1000 L de solução nutritiva para cultivo hidropônico de culturas folhosas

| Fertilizantes | (g m ⁻³) | NH ₄ | NO ₃ | P | K | Ca | Mg | S | B | Cu | Fe | Mn | Mo | Zn |
|---------------------|----------------------|-----------------|-----------------|----|-------|-------|----|----|------|------|------|------|------|------|
| Nitrato de Cálcio | 750,0 | 7,5 | 108,8 | | | 142,5 | | | | | | | | |
| Nitrato de Potássio | 500,0 | | 65 | | 182,5 | | | | | | | | | |
| MAP | 150,0 | 16,5 | | 39 | | | | | | | | | | |
| Sulfato de magnésio | 400,0 | | | | | | 40 | 52 | | | | | | |
| Sulfato de Cobre | 0,2 | | | | | | | | | 0,02 | | | | |
| Sulfato de Zinco | 0,3 | | | | | | | | | | | | | 0,07 |
| Sulfato de Manganês | 1,5 | | | | | | | | | | | 0,39 | | |
| Ácido Bórico | 1,8 | | | | | | | | 0,31 | | | | | |
| Molibdato de Sódio | 0,2 | | | | | | | | | | | | 0,06 | |
| Fe-EDTA-13% Fe | 16,0 | | | | | | | | | | 2,08 | | | |
| Recomendação | | 24 | 173,8 | 39 | 182,5 | 142,5 | 40 | 52 | 0,31 | 0,02 | 2,08 | 0,39 | 0,06 | 0,07 |

Fonte: FURLANI (1998)

A área foliar foi analisada pela metodologia dos discos. O método por discos foliares é o mais tradicional e consiste em determinar a área foliar a partir do produto entre massa total de folhas secas e sua massa foliar específica, obtida pela pesagem de discos foliares de área conhecida, usualmente coletados da parte central das folhas com um perfurador metálico (Pereira & Machado, 1987).

Para reposição da água consumida foram montados sistemas de abastecimentos automáticos dotados de uma régua graduada individualizada para cada parcela construídos com tubulações de PVC de seção contínua e diâmetro de 150 mm, permitindo a saída automática de água para reservatório de solução nutritiva mediante torneira-boia e possibilitando leituras diárias a fim de determinar o volume evapotranspirado por planta (V_{ETc}) durante o cultivo conforme equação 1:

$$V_{ETc} = \frac{(L_f - L_i) \times \pi \times D^2}{4 \times n \times \Delta t} \times 10^5 \quad (\text{eq. 1})$$

Em que:

V_{ETc} - volume evapotranspirado, em mL planta⁻¹ dia⁻¹;

L_f - leitura final do nível de água no depósito de abastecimento automático, cm;

L_i - leitura inicial do nível de água no depósito de abastecimento automático, cm;

D - diâmetro interno do depósito de abastecimento automático, m;

ΔT - intervalo de tempo entre as leituras, dias;

n - número de plantas no perfil no intervalo de tempo, ΔT .

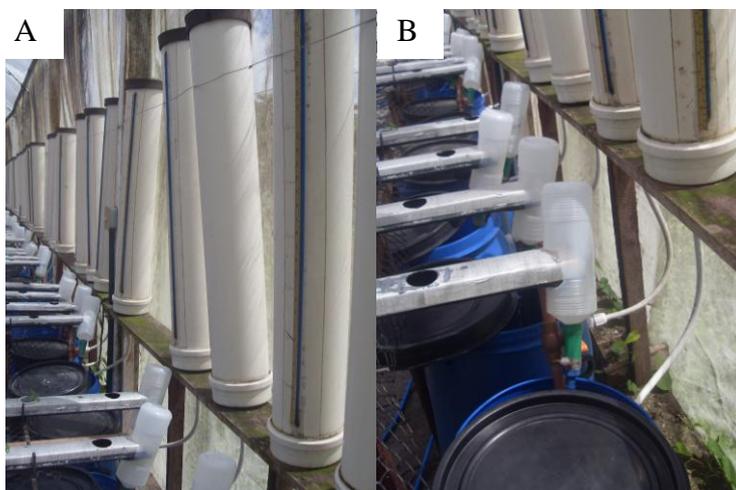


Figura 5. Abastecedor automático interligado a uma torneira boia em (A); retorno da solução nutritiva em (B).

A determinação do consumo hídrico foi realizada a partir de leituras diárias valores médios de consumo hídrico obtido pelas leituras dos abastecedores automáticos.

No primeiro experimento a alface foi colhida aos 21 DAT, no dia 21 de Fevereiro de 2013. Durante o experimento não foi efetuada a reposição de nutrientes, exceto aos 14 DAT tendo em vista que a condutividade elétrica da solução nutritiva para o tratamento 1 estava abaixo de 1 dS m^{-1} .

No Experimento II a alface foi colhida aos 30 DAT, no dia 28 de junho de 2013. O delineamento experimental para ambos os experimentos foi em blocos ao acaso com seis tratamentos e com quatro repetições, totalizando 24 parcelas experimentais.

A taxa de crescimento absoluto encontrada no experimento com a cultivar Tainá se no tratamento T6 se aproxima dos encontrados por Garcia et al. (1982) onde observaram taxas de crescimentos de alface da cultivar Brasil 48 em torno de $0,8 \text{ g dia}^{-1}$ entre os 62 e 72 dias após o transplante em cultivos convencionais. Valores também encontrados por Fernandes et al. (1971).

De acordo com a (Figura 6), algumas etapas do experimento realizado em ambiente protegido em cultivo hidropônico NFT com a alface americana utilizando águas salobras foram realizadas:



Figura 6. Germinação (A). Berçário (B), sistema NFT (C) e efeito da salinidade (D).

Foram realizadas três coletas de plantas no 1º ciclo com o objetivo de avaliar a taxa de crescimento em função dos níveis de salinidade no primeiro ciclo da cultura. A primeira coleta no dia 08, a segunda no dia 15 e a terceira no dia 21 de Fevereiro de 2013, aos 7, 15 e 21 DAT, respectivamente.

Após cada coleta o material vegetal foi pesado em balança analítica para determinar a massa fresca da parte aérea e levado a estufa com circulação de ar à temperatura de 70°C durante 96 horas, para obtenção das respectivas massas de matéria seca, também por meio de pesagem.

As Taxas de Crescimento foram calculadas pelas equações de (Hunt, 1990):

Taxa de crescimento absoluto - TCA

$$TCA = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1} \text{ (g dia}^{-1}\text{)}, \quad \text{Eq.(1).}$$

Taxa de crescimento relativo - TCR

$$TCR = \frac{\log_n m_2 - \log_n m_1}{t_2 - t_1} \text{ (g g}^{-1}\text{ dia}^{-1}\text{)}. \quad \text{Eq.(2).}$$

Em que:

m = massa fresca da parte aérea em gramas e t = tempo em dias.

As variáveis analisadas foram a altura de planta, área foliar, condutividade elétrica, pH, diâmetro de planta, massa fresca da parte aérea e massa seca da parte aérea.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e quando constatado efeito significativo os graus de liberdade dos tratamentos foram desdobrados e os dados submetidos à análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 7 encontram-se representados os valores de condutividade elétrica e de pH da solução nutritiva dos tratamentos. Houve um aumento da CE ao longo do experimento I, devendo-se o fato ao acúmulo de sais provenientes do incremento dos níveis de salinidade da água utilizada para o preparo da solução nutritiva e da menor absorção de nutrientes nestes tratamentos.

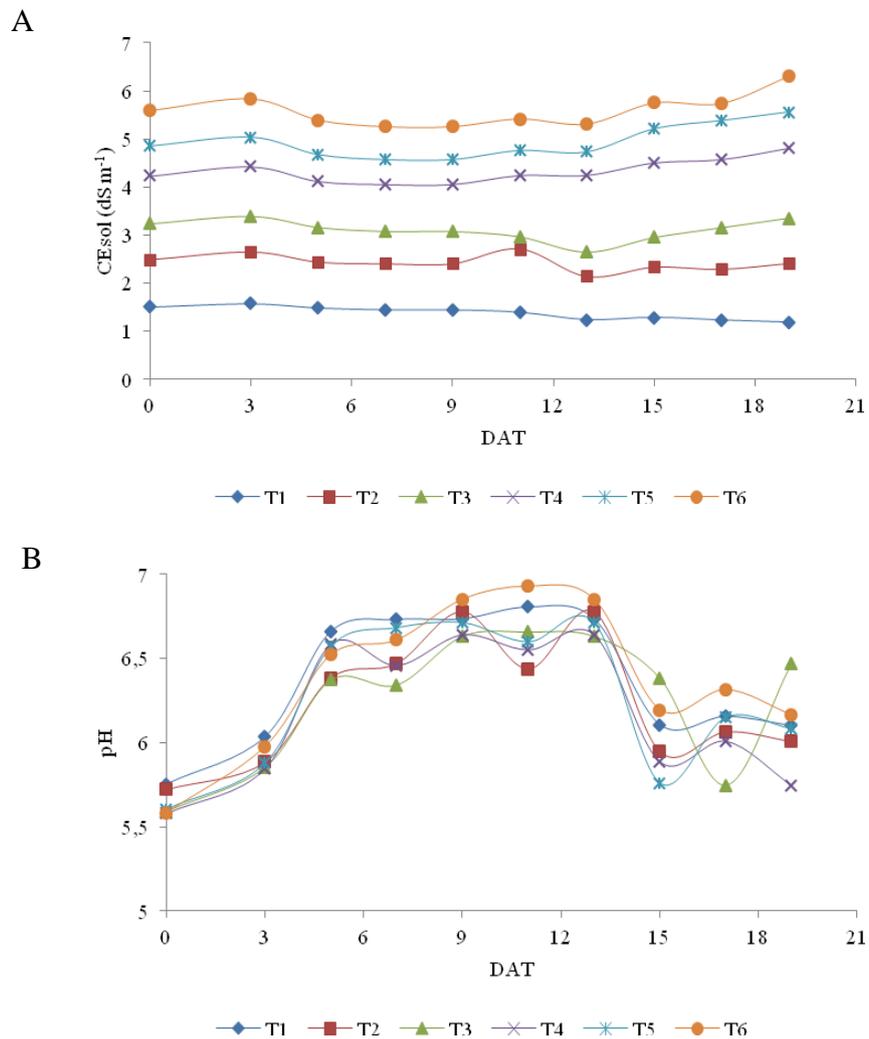


Figura 7. Valores médios da condutividade elétrica (A) e do pH (B) da solução nutritiva ao longo do experimento I.

A reposição da lâmina evapotranspirada ter sido realizada com água salobra proporcionou o aumento na CE, porém, no tratamento T1 no qual a solução nutritiva foi preparada somente com água de abastecimento ($0,2 \text{ dS m}^{-1}$) houve um decréscimo na CEsol em decorrência do tempo (Figura 7A) podendo se atribuir o fato a reposição da ETc ter sido realizada com água de abastecimento, e daí a medida em que as plantas consumiam os nutrientes necessários ao seu desenvolvimento ocorria a diminuição da salinidade e conseqüentemente, a diminuição da condutividade elétrica da solução.

Os resultados obtidos neste trabalho corroboram com aqueles encontrados por Soares et al. (2010),

Verificou-se de maneira geral, o pH da solução oscilou dentro da faixa de 5,5 a 6,5 (Figura 7B), isto é dentro de uma faixa na qual o pH não influencia de forma negativa as culturas (MACIEL et al., 2012). De acordo com Furlani et al. (1999) as variações de pH na faixa de 4,5 a 7,5 não afetam o desenvolvimento das plantas em sistemas hidropônicos, todavia em situações de acidez inferior a 4 prejudicam a integridade da membrana das células, por outro lado em situações de alcalinidade acima de 8 pode ocorrer deficiência de nutrientes como por exemplo, o fósforo.

O aumento da salinidade da solução nutritiva em detrimento do aumento da salinidade da água, à excessão do número de folhas (NF), afetou todas as variáveis de crescimento e de desenvolvimento analisadas (Tabela 2).

De acordo com a análise de regressão aplicada aos dados, verifica-se que houveram reduções lineares em função do aumento da salinidade da água utilizada, tendo-se constatado decréscimos percentuais com o aumento unitário da salinidade da água da ordem de 15,22% para a massa fresca da parte aérea (MFPA), 15,67% para a massa seca da parte aérea (MSPA), 6,38% para altura de planta e de 15,6% para a área foliar (Figuras 8A, 8B, 8C, 8D e 8E, respectivamente).

Tabela 2. Análise de variância para as características estudadas da alface hidropônica (cv. Tainá) em função da salinidade da solução nutritiva.

| Fonte de Variação | Teste F | | | | | | |
|-------------------|---------|------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|
| | GL | MFPA | MSPA | DP | AL | AF | NF |
| Salinidade | 5 | 61,2801 ** | 21,8706 ** | 35,5404 ** | 3,7654 * | 38,3749 ** | 0,1592 ns |
| Bloco | 3 | 0,6150 ns | 7,6471 ** | 3,0620 ns | 1,0563 ns | 0,9860 ns | 1,3820 ns |
| CV (%) | | 12,42 | 15,54 | 9,07 | 15,28 | 16,58 | 18,57 |

* e ** significativo pelo teste F a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente, ns - não significativo. MFPA = massa fresca da parte aérea, MSPA = massa seca da parte aérea, DP = diâmetro de planta, AL = altura de planta, AF = área foliar, NF = número de folhas.

O número de folhas não diferiu estatisticamente entre si em função do aumento da salinidade. Soares et al. (2010) não encontraram efeitos sobre o número de folhas em estudos com a alface cultivar Verônica e seis quantidades de NaCl aplicados à solução nutritiva, todavia, ocorreu redução da massa foliar em função do tamanho das folhas, sem deixar de produzi-las. De acordo com Silva Júnior (2007), o parâmetro número de folhas nem sempre é apontado para indicar tolerância à salinidade tendo em vista que a planta pode apresentar uma redução da sua área foliar em função do aumento dos níveis salinos sem ter seu número total de folhas reduzido.

Para a área foliar ocorreu uma redução de 15,5% com o incremento dos níveis de salinidade a 1% de probabilidade para a alface americana cultivar Tainá (Figura 8E). O que também contribuiu para a redução das massas fresca e seca da parte aérea. O efeito da salinidade da água foi linear, sendo as folhas dos tratamentos T5 (4,2 dS m⁻¹) e T6 (5,2 dS m⁻¹) as mais afetadas em termos de área foliar, o modelo permite estimar teoricamente que a declividade por incremento unitário de CEa (dS m⁻¹) para os tratamentos foi de 15,5% indicando um valor alto de declividade percentual para área foliar, representando um efeito significativo da salinidade da solução nutritiva para a cultivar. Paulus (2008), avaliando o efeito da salinidade sobre a alface cultivar Verônica, encontrou reduções percentuais abaixo de 10% o que pode ser explicado de certa forma pelas condições ambientais no respectivo experimento: temperatura média de 21 °C no interior da casa de vegetação. A redução da área foliar ocorre devido à diminuição do volume de células, segundo Mittova et al. (2002) e Sultana et al. (2002), as reduções da fotossíntese e da área foliar contribuem para a adaptação da cultura às condições salinas, de maneira que essa redução de área foliar em função da salinidade pode ser um mecanismo de sobrevivência permitindo a conservação de água pela menor área transpiratória das plantas.

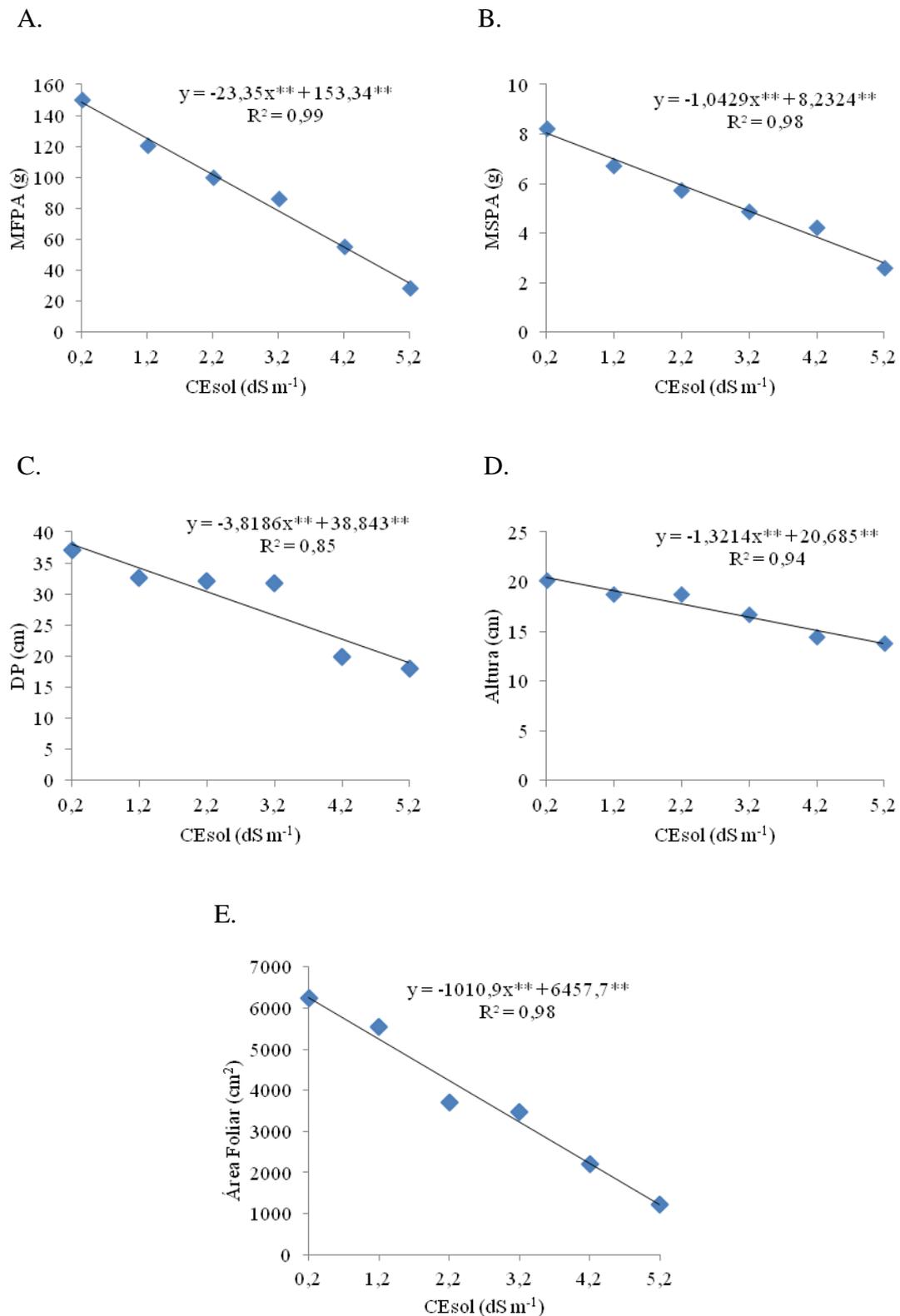


Figura 8. Produção de massa fresca (MFPA) (A) e seca (MSPA) (B) da parte aérea, diâmetro de planta (DP) (C), altura de planta (D) e área foliar (E) de plantas de alface americana cultivar Tainá, em função da condutividade elétrica da água usada no preparo da solução nutritiva.

A redução de 15,22% para MFPA (Figura 8A) e de 12,67% para a MSPA (Figura 8B) por incremento unitário da CE_{sol} encontrada neste experimento condiz com os dados encontrados na literatura. Analisando a produção de alface cultivar “Verônica” sob hidroponia com águas salinas em Piracicaba-SP, Paulus et al. (2010) verificaram perdas de 7,80% para a MFPA e de 10,62% para a MSPA. Da mesma forma constataram Santos et al. (2010) uma redução da ordem de 17,06% ($dS\ m^{-1}$) para a alface crespa “Vera”, porém com águas salobras de origem subterrânea.

Em relação às taxas de crescimento absoluto (TCAMF) e relativo (TCRMF), percebe-se que os maiores valores de crescimento absoluto (TCAMF) foram encontrados nos tratamentos onde não foi utilizado NaCl para o preparo da solução nutritiva e reposição da lâmina evapotranspirada verifica-se que a taxa de crescimento absoluto aos 7 DAT foi de $1,40\ g\ dia^{-1}$ para o tratamento T1, enquanto que para o nível mais elevado de salinidade ($5,2\ dS\ m^{-1}$) foi de $0,40\ g\ dia^{-1}$ (Figura 9A). Faquin et al. (1996) encontraram resultados semelhantes, taxa de crescimento absoluto que foi de $1,4\ g\ dia^{-1}$, trabalhando com alface cultivar Verônica tipo crespa em sistema hidropônico NFT no período entre 15 e 20 DAT.

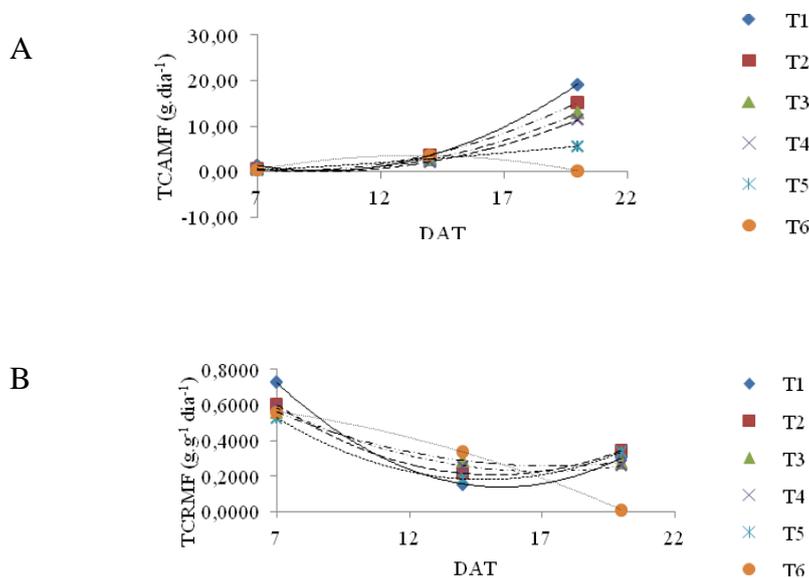


Figura 9. Taxa de crescimento absoluto (A) e taxa de crescimento relativo (B) de alface americana cultivar ‘Tainá’ em função da condutividade elétrica da água usada no preparo da solução nutritiva.

Observa-se que a taxa de crescimento relativo da massa fresca aos 7 DAT para a cultivar Tainá foi de $0,56 \text{ g dia}^{-1}$ (Figura 9B). A taxa de crescimento relativo está muito mais relacionada com as características genéticas da planta e com as modificações do ambiente. Na Figura 10 encontram-se representados valores de condutividade elétrica e de pH da solução nutritiva dos tratamentos estudados no II experimento.

Diferentemente do experimento I onde a reposição da ETc foi feita com água salobra, e que constatou-se pequeno incremento da condutividade elétrica da solução ao longo do ciclo, no experimento II, onde a reposição da ETc foi feita com água doce. A condutividade elétrica da solução nutritiva apresentou um comportamento diferente, tendo apresentado uma pequena redução ao longo do ciclo e uma redução mais acentuada ao final do ciclo (Figura 10A).

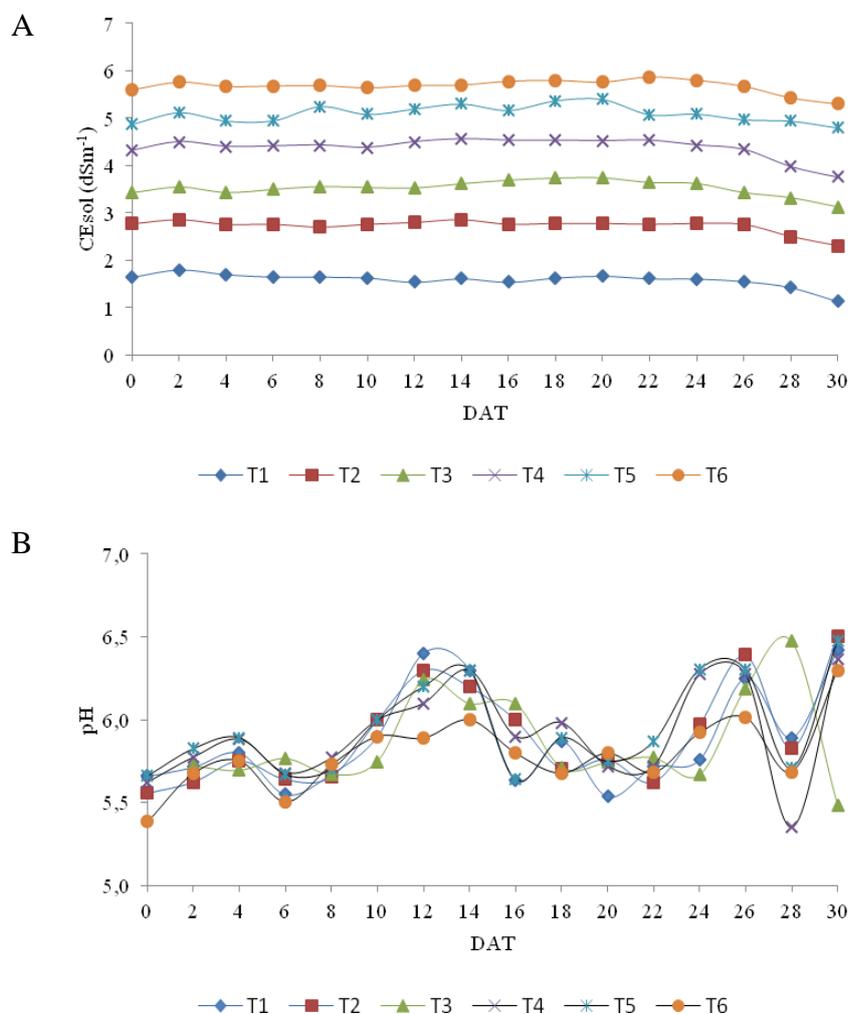


Figura 10. Valores médios da condutividade elétrica (CEsol) (A) e do pH (B) da solução nutritiva ao longo do experimento II.

O pH da solução nutritiva não foi corrigido durante esse experimento simulando condições de campo onde o agricultor não dispõe de material para o ajuste. Consta-se que o pH da solução se manteve dentro da faixa onde a maioria dos nutrientes são disponibilizados para as plantas entre 5,5 e 6,5 (Figura 10B). Segundo Furlani et al. (1999) variações na faixa de 4,5 a 7,5 ainda podem ser toleradas, porém, em cultivo hidropônico valores na faixa de 4,0 podem causar danos a membrana celular e na faixa superior a 6,5 pode ocorrer sintomas de deficiência de alguns micronutrientes como, por exemplo, o Fe. De acordo com os dados de temperatura média da solução nutritiva obtidos na casa de vegetação, percebe-se que a mesma variou para o segundo experimento de 25,5 °C média mínima a 29,13 °C média máxima (Figura 11).

A temperatura média do ar variou entre 25,5 e 29,2 °C para as temperaturas média das mínimas e média das máximas (Figura 12), respectivamente, chegando a valores máximos de 34 °C. Os valores encontrados ultrapassam os recomendados para a alface de 15-25°C (GOTO, 1998).

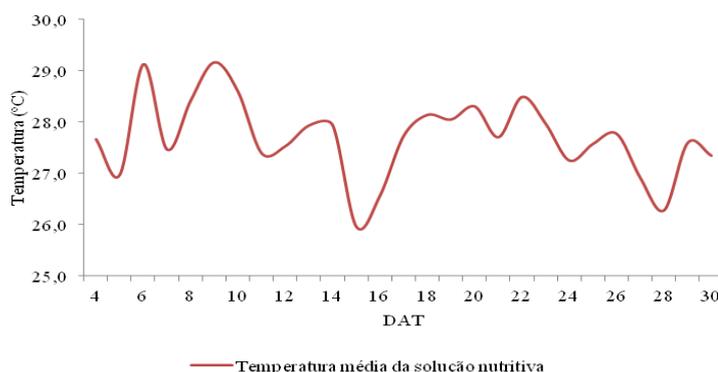


Figura 11. Temperatura da solução nutritiva ao longo do experimento II.

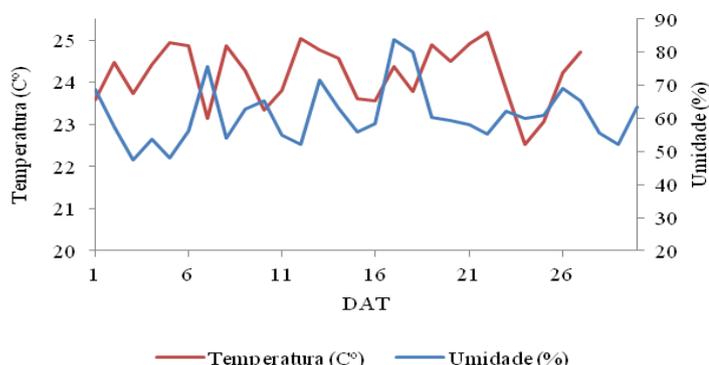


Figura 12. Temperatura mínima do ar e umidade relativa máxima do ambiente protegido ao longo do experimento II para a cultura da alface americana cultivar Tainá.

Os dados obtidos no segundo experimento, onde a reposição da lâmina evapotranspirada no cultivo hidropônico de alface americana foi realizada mediante a utilização de água doce, foram submetidos à análise de variância de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 3. Análise de variância para as características estudadas da alface hidropônica (cv. Tainá) em função da salinidade da solução nutritiva.

| Fonte de Variação | Teste F | | | | | | | | | |
|-------------------|---------|------------|------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | GL | MFPA | MSPA | DP | AL | AF | NF | MFR | MSR | CR |
| Salinidade | 5 | 21,4776 ** | 20,7879 ** | 71,5635 ** | 30,5966 ** | 173,9171 ** | 1,9359 ns | 0,2530 ns | 2,7597 ns | 51,9027 ** |
| Bloco | 3 | 3,5012 * | 0,1814 ns | 0,2869 ns | 1,6490 ns | 0,4244 ns | 0,5056 ns | 1,2190 ns | 3,8736 * | 1,0692 ns |
| CV (%) | | 8,87 | 7,17 | 5,21 | 4,79 | 3,26 | 5,98 | 16,65 | 13,33 | 9,67 |

* e ** significativo pelo teste F a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente, ns - não significativo. MFPA = massa fresca da parte aérea, MSPA = massa seca da parte aérea, DP = diâmetro de planta, AL = altura de planta, AF = área foliar, NF = número de folhas, MFR = massa fresca de raiz, MSR = massa seca de raiz e CR = comprimento de raiz.

De acordo com a análise de variância da Tabela 3, observa-se que as variáveis MFPA, MSPA, DP, AL, AF e CR foram influenciados significativamente pelos tratamentos utilizados. Por outro lado as variáveis número de folhas (NF), matéria fresca (MFR) e seca (MSR) de raiz não sofreram influência dos tratamentos utilizados. o comprimento de raiz foi afetado pelo aumento da salinidade (Figura 13), sofrendo redução de 12,03% em função do acréscimo unitário da CE como pode ser observado na (Figura 14 E).

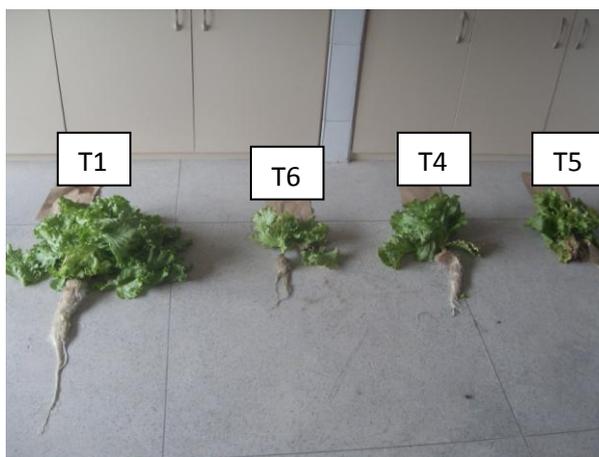


Figura 13. Raízes de alface americana produzidas com água salobra na solução nutritiva e reposição água doce.

O crescimento radicular normalmente é favorecido com o pH variando entre 5,5 e 6,5. É controlado geneticamente dependendo da disponibilidade de fotoassimilados e nutrientes. Nas raízes a redução do crescimento é consequência do déficit hídrico a nível celular (MUNNS et al., 2002).

Durante todo o experimento não foi realizada troca da solução nutritiva, exceto aos 16 DAT no tratamento T1 (testemunha), em virtude de encontrar valores da CE menores que 1 dS m^{-1} , devido ao consumo de nutrientes pelas plantas.

De forma geral, ao comparar os dois experimentos, encontramos reduções percentuais em função do acréscimo unitário da CE menores no segundo ciclo, fato que pode ser explicado em função da reposição da lâmina evapotranspirada ter sido realizada com água doce. Na medida em que se tinha uma solução nutritiva com CE ao final do ciclo crescente (Experimento I) quando a reposição da ETc foi realizada com água salobra, naturalmente as plantas sentiram o efeito da salinidade principalmente ao final do ciclo, fase onde ocorre um maior crescimento vegetativo tendo um incremento de sais na solução nutritiva.

A reposição com água doce no segundo experimento manteve a CE constante por todo o experimento tendo um leve decréscimo ao final do ciclo de cultivo. O maior crescimento vegetativo ao final do ciclo ocorreu em função da diminuição da salinidade e maior tempo de cultivo 22 DAT e 30 DAT para os experimentos I e II, respectivamente, por isso encontramos maiores valores dos parâmetros biométricos da alface americana.

Aos 30 DAT para o segundo experimento a MFPA foi de 192,69 g em média para o tratamento T6 e 7,425 g em média para a MSPA com reduções percentuais de 8,01% e 6,90% por incremento unitário de CE, respectivamente para a alface americana na reposição com água doce. Estes valores sofreram reduções percentuais de forma mais suaves quando comparados com o 1º experimento em função da redução da salinidade ao final do experimento (Figura 14A e 14B).

A testemunha obteve peso de massa fresca da parte aérea de 366,12g em média, valor superior aos encontrados no 1º ciclo devido ao tempo de cultivo. Resultados semelhantes de 339,55g para testemunha foram encontrados por Alves et al. (2011) aos 24 DAT para a cultivar Verônica.

O diâmetro de planta, altura de planta e área foliar, sofreram reduções percentuais de 8,75%, 5,94% e 8,14% por acréscimo unitário da CE como mostra a (Figura 14F, 14D, 14C), respectivamente.

O desenvolvimento da alface americana nos níveis de salinidade obtida nos experimentos I e II demonstra que para os agricultores é possível se produzir mesmos, em condições salinas esta cultivar, pois, mesmo com as diferentes reduções percentuais em função do acréscimo unitário da CE, o stand de plantas permaneceu homogêneo. Pode-se afirmar que a reposição da ETc com água doce, produziu plantas com parâmetros biométricos superiores, e isto pode representar uma alternativa para os produtores que possuem os dois tipos de água em sua propriedade.

Apesar dos tratamentos serem os mesmos nos dois experimentos (0,2; 1,2; 2,2; 3,2; 4,2; 5,2 dS m⁻¹), obtidos pela adição de NaCl no preparo da solução nutritiva, percebe-se que através do controle da condutividade elétrica da solução nutritiva mediante o uso de água doce, foi possível obter menores valores de reduções percentuais por acréscimo unitário de CE, fato que pode ser explicado devido às variações de CE nos dois experimentos. No experimento I e II, na medida em que as plantas consumiam os nutrientes a CE para a testemunha diminuía em média aos 15 DAT, isso devido a reposição de ETc ser realizado com água doce nos dois experimentos para a testemunha. Nos demais tratamentos de salinidade crescente, observamos que para o primeiro experimento, houve uma variação da CE maior devido à reposição ser feita com água salobra, ou seja, chega um ponto que a planta consome água e não tem como, por exemplo, compartimentalizar o sódio e o cloreto e quando esse limite é ultrapassado o sal deve ser excluído do citosol para evitar a inibição de um grande número de enzimas.

O controle da CE mediante a utilização de água doce para repor a lâmina evapotranspirada, fez a salinidade permanecer constante ao longo do ciclo de tal forma que as plantas desenvolveram mecanismos de adaptação ao estresse durante o ciclo, e isso, provavelmente, foi responsável pelos valores dos parâmetros biométricos do segundo experimento, não apresentar reduções percentuais por incremento unitário de CE maiores quando comparados ao experimento que a reposição da ETc foi com água salobra.

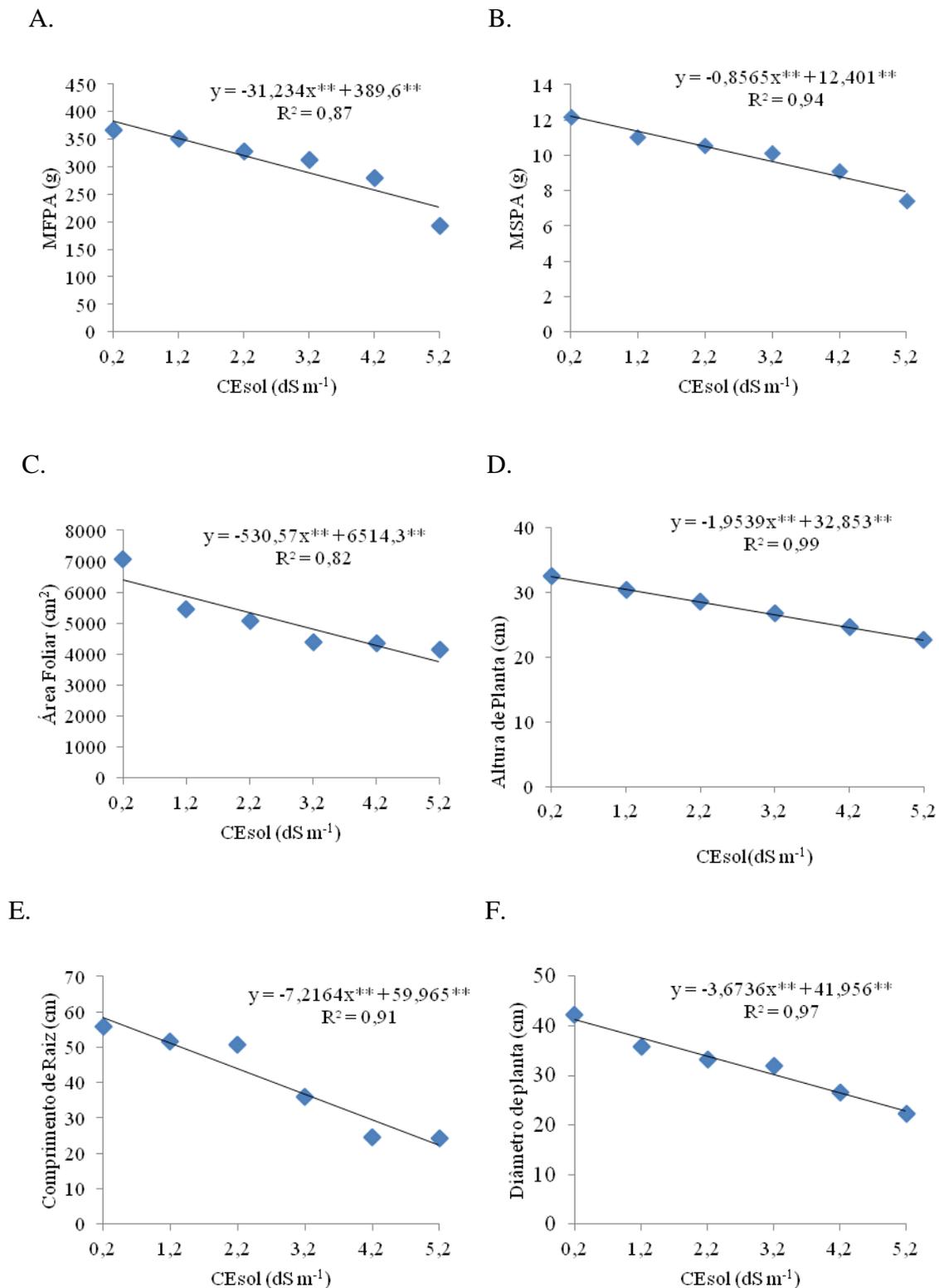


Figura 14. Produção de massa fresca (MFPA) (A) e seca (MSPA) (B) da parte aérea, área foliar (C), altura de planta (D), comprimento de raiz (E) e diâmetro de planta (F) de plantas de alface americana cultivar ‘Tainá’, em função da condutividade elétrica da água usada no preparo da solução nutritiva e reposição da ETc com água doce.

O aumento da salinidade provocou reduções no consumo hídrico nos dois experimentos de acordo com a (Figura 15A e 15B). Essa diminuição do consumo hídrico, tanto na reposição com água salobra como na reposição com água doce, pode ser explicada em função de que em condições salinas ocorre um déficit hídrico em função da redução do potencial osmótico, ou seja, a absorção de água que é fundamental para o crescimento celular é inibida pelo baixo potencial hídrico no espaço radicular, caracterizando o estresse osmótico e em função da menor área foliar.

Existem vários mecanismos que as plantas desenvolveram para conviver em ambientes salinos como, por exemplo, a diminuição da área foliar para reduzir a superfície de transpiração, ou ainda, a retenção de água nos tecidos para reduzir a transpiração, o período de crescimento vegetativo também é encurtado. Além disso, outros fatores podem influenciar no consumo hídrico, como o fotoperíodo, a temperatura do ambiente e área fotossintética. As testemunhas nos Experimentos I e II consumiram em média 4,0 litros por planta, e nos tratamentos mais salinos (5,2 dS m⁻¹), 2,30 l/pl e 2,73 l/pl para a reposição com água salobra e doce, respectivamente. Verificou-se, nos experimentos I e II, diminuição linear do consumo hídrico em função do aumento da salinidade, com reduções percentuais de 8,83% e 5,63% para cada g. L⁻¹ de NaCl nas reposições com águas salobra e doce, respectivamente. Valores próximos aos encontrados por Soares et al. (2010), combinando água doce e salobra na produção de alface cv. Verônica em cultivo hidropônico de 9,22% quando utilizou água salobra para o preparo da solução nutritiva e reposição com água doce, e 3,69% quando utilizou água doce no preparo da solução nutritiva e reposição com água salobra.

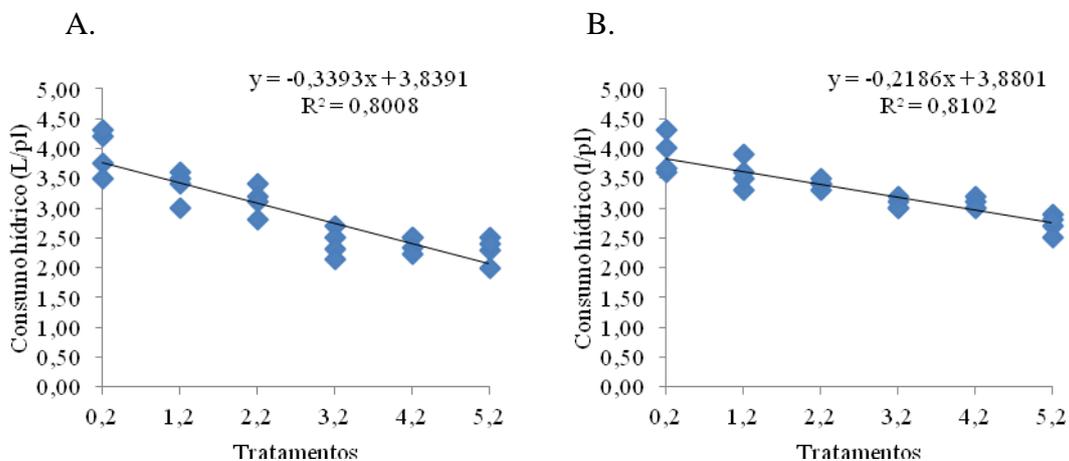


Figura 15. Consumo hídrico por planta da cultura da alface americana em função da salinidade da água do experimento I (A), e II (B).

Ao analisar o aspecto visual das plantas desde o início do experimento, percebe-se que não houve alterações que prejudicassem o aspecto de produção, porém nos tratamentos onde a CE atingiu valores de $5,2 \text{ dS m}^{-1}$, as plantas apresentaram queima dos bordos não sendo observados sinais de clorose entre as plantas do experimento.



Figura 16. Formação da cabeça da alface americana.

A má formação da cabeça foi outro aspecto interessante percebido ao final do ciclo, mais especificamente aos 30 DAT. A alface americana cultivar Tainá se caracteriza pela formação da cabeça, mas, devido às condições ambientais como temperatura, luminosidade encontrada no experimento, as plantas não conseguiram fechar completamente a cabeça.

De acordo com Wurr e Fellours (1991), ao estudarem o efeito da temperatura e da radiação solar no desenvolvimento de ‘cabeças’ de alface americana chegaram a conclusão que existe uma correlação entre o peso da cabeça e a radiação solar assim como também existe uma correlação entre o peso da cabeça e a temperatura durante o processo de formação, sendo a primeira uma correlação positiva e a segunda negativa. Valores de umidade relativa do ar ótima para a cultura da alface estão na faixa de 60 A 80% e as temperaturas críticas ao seu desenvolvimento entre 10-12 °C, temperatura acima de 30 °C necessita de variações de amplitude térmica para a formação de cabeça.

De acordo com Neto et al. (2010), a exposição a altas temperaturas na fase de crescimento vegetativo, a planta passa para a fase reprodutiva desvalorizando a produção comercial.

CONCLUSÕES

1. O uso de água salobra no preparo da solução nutritiva e na reposição da lâmina diária evapotranspirada resultou na redução de todas as variáveis de crescimento e desenvolvimento avaliados, sendo as reduções por incremento unitário da CE para o experimento II de menor magnitude em relação ao experimento I.
2. Utilizar água salobra obtida pela adição de NaCl a solução nutritiva para o cultivo da alface americana cultivar Tainá é viável tendo em vista que as características visuais da produção não foram afetadas mesmo nos níveis mais salinos.
3. É preferível a utilização de água doce para a reposição da lâmina evapotranspirada a águas salobras, tendo em vista menores reduções por incremento da CE, utilizando águas salobras obtidas pela adição de NaCl no preparo da solução nutritiva.
4. A alface americana cv. Tainá apresentou reduções das taxas de crescimento absoluto e relativo em função do aumento da salinidade quando a reposição da lâmina evapotranspirada foi realizada com água salobra.
5. É viável produzir alface americana utilizando água salobra e com a reposição da lâmina evapotranspirada tanto com água salobra como com água doce, porém com redução de produtividade.

LITERATURA CITADA

ALVES, M. S.; SOARES, T. M.; SILVA, L. T.; FERNANDES, J. P.; OLIVEIRA, M. L. A.; PAZ, V. P. S. Estratégias de uso de água salobra na produção de alface em hidroponia NFT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.5, p.491–498, 2011.

DECATEAU D. R. et al. **The lettuce growing handbook**: botany, field procedures, growing problems, and postharvest handling. Illinois: Oak Brook. 1995. 60 p.

COMETTI N. N.; MATIAS, G. C. S.; ZONTA E.; MARY, W.; FERNANDES M. S. Efeito da concentração da solução nutritiva no crescimento da alface em cultivo hidropônico–sistema NFT. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 252-257, 2008.

FAQUIN, V.; FURTINI, N. A. E.; VILELA, L. A. A. **Produção de alface em hidroponia**. UFLA. 50 p, 1996.

FERNANDES, P. D.; OLIVEIRA, G. D.; HAAG, H. P. **Nutrição mineral de hortaliças**. XIV. Absorção de macronutrientes pela cultura da alface. *O solo* 63: 7-10, 1971.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2 ed. UFV, 2003. 418 p.

FURLANI, P. R. Hydroponic vegetable production in Brazil. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 481, p. 777-778, 1999.

FURLANI, P. R. **Instruções para o cultivo de olerícolas de folhas pela técnica de hidroponia NFT**. 1. ed. IAC, 1998. 30p. Boletim técnico, 168.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. 1.ed. IAC, 1999. 52p. Boletim técnico, 180.

GARCIA, L. L. C.; HAAG, H.P.; MINAMI, K.; DECHEN, A. R. Nutrição mineral de hortaliças. XLIX. **Concentração e acúmulo de macronutrientes em alface** (*Lactuca sativa* L.) cv. Brasil 48 e Clause's Aurélia. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"* 39: 455-484, 1982.

GOTTO, R.; TIVELLI, S. W. **Produção em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: Editora UNESP, 1998. 319 p.

HUNT, R. **Basic Growth Analysis**. London: Unwin Hyman. 112 p, 1990.

MACIEL, M. P.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; RESENDE, E. P. L.; OLIVEIRA, G. X. S. Produção de girassol ornamental com uso de águas salobras em sistema hidropônico NFT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 165-172, 2012.

MAKSIMOVIĆ, I.; BELIĆ, S.; PUTNIK-DELIĆ, M. & GANI, I. **The effect of sodium concentration in the irrigation water on pea yield and composition**. Proceedings of ECO Conference 2008, Novi Sad, pp. 231-235, 2008.

MAKSIMOVIĆ, I.; PUTNIK-DELIĆ, M.; GANI, I.; MARIĆ, J. & ILIN, Ž. Growth, ion composition, and stomatal conductance of peas exposed to salinity. **Central European Journal of Biology**, 5, 682-691, 2010.

MEDEIROS, J. F.; SILVA, M. C. C.; SARMENTO, D. H. A.; BARROS, A. D. Crescimento do meloeiro cultivado sob diferentes níveis de salinidade, com e sem cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 248-255, 2007.

MEDEIROS, L. A. M. MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P.; BONNECARRÉRE, R. A. G. Crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) conduzida em estufa plástica com fertirrigação em substratos. **Ciência Rural**, v. 31, n. 2, p. 199 – 204 2001.

MITTOVA, V.; TAL, M.; VOLOKITA, M.; GUY, M. Salt stress induces up-regulation of an efficient chloroplast antioxidant system in the salt-tolerant wild tomato species but not in the cultivated species. **Physiologia Plantarum**, v. 115, p. 393-400, 2002.

MUNNS, R.; HUSAIN, S. RIVELLI, A. R.; RICHARD, A. J.; CONDON, A. G.; MEGAN, P. L.; EVANS, S. L.; SCHACHTMAN, D. P.; HARE, R.A. Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. **Plant and Soil**, v.247, p. 93-105, 2002.

OLIVEIRA, F. A.; CARRILHO, M. J. S. O.; MEDEIROS, P. B. M.; OLIVEIRA, M. K. T.; MARACAJÁ, P. B. Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.8, p.771–777, 2011.

PAULUS, Dalva. **Produção, qualidade e parâmetros fisiológicos e bioquímicos de alface sob hidroponia com águas salinas**. 2008. 267 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

PAULUS, D.; DOURADO NETO D.; FRIZZONE, J. A.; SOARES, T. M. Produção e indicadores fisiológicos de alface sob hidroponia com água salina. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 1, p. 29-35, 2010.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidade vegetais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1987. (Boletim n.114)

RODRIGUES, L. R. F. **Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido**. 1 ed. FUNEP, 2002. 762p.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 187-194, 2012.

SANTOS, A. N.; SILVA, E. F. F.; SOARES, T. M.; DANTAS, R. M. L.; SILVA, M. M. Produção de alface em NFT e Floating aproveitando água salobra e o rejeito da dessalinização. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 319-326, 2011.

SANTOS, A. N.; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; SILVA, D. J. R.; MONTENEGRO, A. A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p.961-969, 2010.

SEGOVIA, J. F. O.; ANDRIOLO, J. L.; BURIOL, G. A.; SCHNEIDER, F. M. Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) no interior

e no exterior de uma estufa de polietileno em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, v.27, n.1, p.37-41, 1997.

SILVA JÚNIOR, G. S. **Respostas biométricas, ecofisiológicas e nutricionais em genótipos diplóides de bananeira (*Musa spp*) submetidos à salinidade**. Tese (Doutorado em Botânica). Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2007. 106p.

SOARES, T. M.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F.; JORGE, C. Combinação de águas doce e salobra para produção de alface hidropônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 705-714, 2010.

SOARES, T. M.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F.; MELO, R. F.; JORGE, C.A.; OLIVEIRA, A. S. Experimental structure for evaluation of saline water use in lettuce hydroponic production. **Irriga**, v.14, p.102-114. 2009.

SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; DUARTE, S. N.; MELLO, R. F.; JORGE, C. A.; SILVA, E. M. B. Produção de alface utilizando águas salinas em sistema hidropônico. **Irriga**. v. 12, n. 2, p. 235-248, 2007.

SULTANA, N.; KEDA, T.; KASHEM, M. A. Effect of seawater on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. **Photosynthetica**, v. 40, p. 115-119, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3^a. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 719p.

WURR, D. C. E.; FELLOURS, J. R. The Influence of solar radiation and temperature on de head weight of crisp lettuce. **The Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v. 66, n. 2, p. 183-190, 1991.

YURI, J. E. et al. **Alface Americana**: cultivo comercial. UFLA, 2002. 51 p.

CAPÍTULO III

**NUTRIÇÃO MINERAL DE ALFACE AMERICANA EM CULTIVO
HIDROPÔNICO COM ÁGUAS SALOBRAS**

Nutrição Mineral de alface americana em cultivo hidropônico com águas salobras

Resumo: No semiárido brasileiro a disponibilidade hídrica é restrita e muitas vezes a única fonte de água possui alta concentração de sais. Como alternativa a hidroponia permite o uso de água salobra com viabilidade técnica para diversas hortaliças, entretanto, a salinidade pode ocasionar distúrbios nutricionais. Diante deste contexto o referido trabalho tem como objetivo estudar os efeitos nutricionais na alface americana cultivada em sistema hidropônico NFT com águas salobras, utilizando águas salobras tanto no preparo da solução nutritiva e na reposição da água evapotranspirada e apenas no preparo da solução nutritiva. Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental de Agricultura Irrigada Prof. Ronaldo Freire de Moura da UFRPE Recife/PE, com delineamento experimental em blocos ao acaso com seis tratamentos (0,2; 1,2; 2,2; 3,2; 4,2 e 5,2 dS m⁻¹) e quatro repetições totalizando 24 parcelas experimentais para cada experimento. O aumento da salinidade da solução nutritiva independente da estratégia de reposição da lâmina evapotranspirada proporcionou redução nos teores foliares de fósforo e potássio e, aumento nos teores de cloreto e sódio.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., salinidade, horticultura

Abstract: In the Brazilian semiarid region water availability is limited and often the only source of water has a high concentration of salts. Alternatively hydroponics allows the use of brackish and technical feasibility for various vegetables, however, the salinity can cause nutritional disorders. Given this context that the work aims to study nutritional effects on lettuce grown in NFT hydroponic system with brackish water using brackish waters both in the preparation of the nutrient solution and the replenishment of water transpired and only in the preparation of nutrient solution. The experiments were conducted at the Irrigated Agriculture Experimental Station Pr. Ronaldo Freire Moura UFRPE Recife / PE, with experimental design in randomized blocks with six treatments (0,2; 1,2; 2,2; 3,2; 4,2 and 5,2 dS m⁻¹) and four replicates totaling 24 plots for each experiment. The salinity of the nutrient solution regardless of the repositioning strategy of evapotranspired blade provided a reduction in foliar phosphorus and potassium, and increased levels of sodium chloride.

Keywords: *Lactuca sativa* L., salinity, horticulture

INTRODUÇÃO

A alface é uma das hortaliças de maior consumo. Em 2011 a produção mundial ficou em torno de 24 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2011).

A planta possui vários nutrientes que são importantes para a alimentação humana, e também é conhecida por ter vários pigmentos fotossintéticos como clorofilas e carotenóides, ajudando na dieta, portanto tem um papel importante na prevenção de várias doenças que se relacionam com o estresse oxidativo (PINTO et al., 2014).

Com uma representação de 80% da produção hidropônica total a alface é a hortaliça mais utilizada em sistemas hidropônicos NFT no Brasil (FURLANI, 1999). Neste sistema, através do monitoramento da composição da solução nutritiva, é possível se ter um controle maior da eficiência dos nutrientes (HEINEN et al., 1991).

A absorção de nutrientes é influenciada não só pela espécie vegetal como também pelo ambiente e cultivares em cultivos hidropônicos (ADAMS, 1994). No solo, tanto a absorção como a translocação dos elementos na planta é influenciada por fatores como espécie, pH, textura, matéria orgânica, CTC, condições ambientais e o manejo da agricultura (PAUGET et al., 2012, PEREZ- ESTEBAN et al., 2013).

O acúmulo e a extração de nutrientes pelas plantas dependem da condutividade elétrica existindo uma proporcionalidade em relação às concentrações dos íons responsáveis pelo potencial osmótico da solução nutritiva afetando a absorção da água, nutrientes, produtividade entre outros distúrbios fisiológicos (SHANNON, 1997).

Estudos sobre diferentes concentrações de solução nutritiva na cultura da alface foi realizado por Luz et al. (2010) nas cultivares Mimososa e Romana. Cometti et al. (2008) verificaram o crescimento da alface cv. Vera utilizando solução nutritiva proposta por Furlani (1998) a 50% da concentração original que foi possível produzir a mesma massa de parte aérea em comparação com a solução a 100%.

De acordo com Soares et al. (2007) em sistemas hidropônicos, a tolerância das plantas à salinidade é maior quando comparado com o sistema de produção convencional, pois, o potencial hídrico não vai sofrer influência do potencial mátrico que é praticamente inexistente na hidroponia afetando a absorção de água pelas plantas, consequentemente, é possível em cultivo hidropônico se produzir com utilização de águas salobras.

Contudo, condutividades elétricas elevadas podem mudar a taxa de absorção de nutrientes nas plantas em decorrência da diminuição da absorção de água sendo influenciada pelo potencial osmótico do meio nutritivo consequentemente a absorção de nutrientes (HUETT, 1994; COSTA et al., 2001).

Sais presentes na água podem proporcionar a precipitação de nutrientes em sistemas hidropônicos. Tanto o desenvolvimento como a produtividade das plantas estará limitada, mesmo com uma lista grande de nutrientes, àquele que apresentar a menor concentração em relação à necessidade do vegetal, relação conhecida como “Lei do Mínimo” (MALAVOLTA, 2006).

A salinização sobre as plantas pode causar efeitos pela dificuldade de absorção de água, toxicidade de íons específicos e também pela própria interferência dos sais nos processos fisiológicos reduzindo o desenvolvimento das plantas. Dependendo do grau da salinidade pode ocorrer plasmólise, ou seja, a planta poderá perder água que se encontra em seu interior, em vez de absorver (DIAS & BLANCO, 2010).

O desequilíbrio nutricional em função da salinidade ocorre, sobretudo, da redução na absorção de nutrientes essenciais à planta devido à competição na absorção e transporte, às modificações estruturais nas membranas (ARAGÃO et al., 2010).

Diante desse contexto o objetivo do trabalho é avaliar a nutrição mineral da alface americana cultivar Tainá em função de níveis crescentes de águas salobras no preparo da solução nutritiva.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em ambiente protegido na Estação Experimental de Agricultura Irrigada Prof. Ronaldo Freire de Moura, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco Recife/PE nos meses de fevereiro e junho do ano de 2013.

A técnica de cultivo empregada foi a hidroponia NFT, em virtude de se estudar o efeito da salinidade no desenvolvimento de hortaliças tendo em vista o aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis no semiárido, pois, trata-se de um sistema fechado que apresenta economia de água.

A produção de mudas foi realizada utilizando espumas fenólicas tratadas com KOH 0,01N, comercializada em placas de 33 x 40 cm e espessura com 315 células por

placa. Após a semeadura as placas foram mantidas em local escuro por aproximadamente 24 horas para a germinação das sementes, 15 dias após a semeadura (DAS) ocorreu o transplântio para os dois experimentos.

O espaçamento entre os perfis foi de 0,30 m, montados em grupos de quatro com altura de instalação em relação ao solo de 0,80 m com inclinação de 5 %. Entre plantas o espaçamento foi de 0,25 m (Figura 1).



Figura 1. Vista frontal das parcelas experimentais em (A), e eletrobombas de circulação em (B).

A estufa hidropônica tinha 24 metros de comprimento, 7 metros de largura e as paredes laterais e frontais foram confeccionadas com telas.

Não foi utilizado qualquer tipo de defensivo nos experimentos apenas um dos métodos de controle de pragas usados no MIP que é o método mecânico baseado na catação manual dos insetos coleta manual e destruição dos insetos-alvo.

Nos dois experimentos os níveis de salinidade da água utilizada no preparo da solução nutritiva foram obtidos pela adição de NaCl para as seguintes condutividades elétricas: 0,2; 1,2; 2,2; 3,2; 4,2 e 5,2 dS m⁻¹, porém, a reposição da lâmina evapotranspirada foi realizada no primeiro experimento hidropônico com água salobra e no segundo experimento a reposição foi feita com água de abastecimento.

A temperatura da solução nutritiva e do ar foram obtidas a partir da instalação de sensores por meio de termopares na solução nutritiva conectados a um datalog obtendo leituras a cada 15 minutos, a cada hora e leituras diárias de temperatura do ar e da solução nutritiva.

As sementes utilizadas nos experimentos foram da SAKATA (alface americana cv. Tainá) semeadas em um total de duas sementes por quadrante de espuma fenólica dimensões de 2,0 x 2,0 x 2,0 cm, totalizando 240 mudas para cada experimento.

Após a germinação das sementes as mudas foram transplantadas para o berçário onde receberam solução nutritiva (FURLANI 1998) a 50% de diluição. Ao se passar uma semana a solução nutritiva foi trocada utilizando 100% da força iônica da solução.

A irrigação tanto do berçário como do experimento foi controlado por um temporizador mecânico que foi programado para realizar de 15 em 15 minutos a irrigação.

Quando se instalou o experimento, a programação do sistema de irrigação foi de 15 em 15 minutos de 5:00 h até 18:00 h, a partir daí o sistema de irrigação era acionado 15 minutos ligados e 45 minutos desligado por se tratar de período noturno.

Aos 21 e 30 DAT para os experimentos I e II, respectivamente, a alface americana foi colhida nos dois respectivos ciclos de cultivo hidropônico. Nesse período, todo o material vegetal foi pesado para obtenção da massa fresca em balança analítica e em seguida levado para estufa de circulação de ar à temperatura de 70 °C durante 96 horas, até atingir peso constante, para obtenção dos respectivos pesos das massas secas, por pesagem.

Todo material foi moído, armazenado em recipientes plástico e devidamente etiquetado, separando-se as raízes da parte aérea para posterior análise de tecido vegetal. Realizou-se a digestão nítrico-perclórica para determinação de Na, K, P, S, Ca e Mg, e a digestão sulfúrica para determinação de N-total de acordo com a metodologia proposta por Bezerra Neto & Barreto (2011), onde:

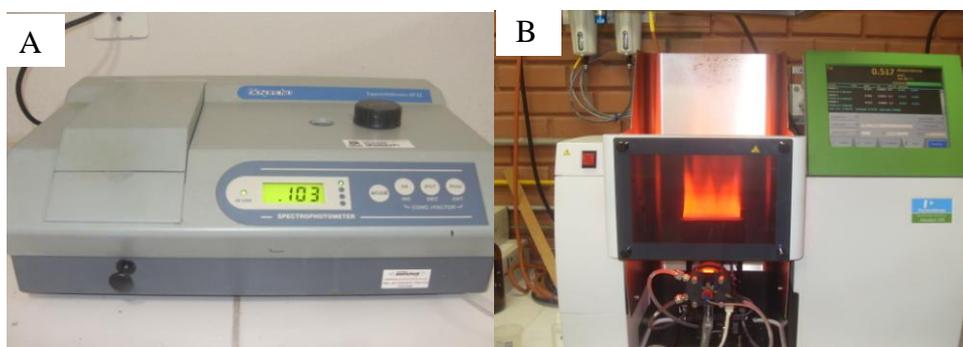


Figura 2. Espectrofotômetro em (A), e Absorção Atômica em (B).

O Nitrogênio Total foi determinado pelo método de arraste de vapor (Kjeldahl), sódio e potássio pelo método de fotometria de chama, fósforo pelo método

colorimétrico molibdo-vanadato, enxofre pelo método turbidimétrico do sulfato de bário, cloreto pelo método de Mohr e finalmente cálcio e magnésio foram determinados pelo método utilizando espectrofotometria de absorção atômica (Figura 2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média da solução nutritiva variou entre 26 e 29° C de acordo com a Figura 3, tendo os maiores registros de temperatura da solução às 15:00 h. No período noturno a energia armazenada durante o dia foi dissipada aos poucos fazendo com a temperatura da solução nutritiva diminuísse à noite.

A temperatura máxima da solução nutritiva não ultrapassou a indicada por Alberoni (1998), que é de 30 °C, porém o mesmo autor indica temperaturas na faixa de 18-24 °C para períodos quentes e 10-16 °C para períodos frios. A temperatura média do ar variou entre 25,5 e 29,2 °C para as temperaturas média das mínimas e média das máximas respectivamente, chegando a valores máximos de 34 °C. Os valores encontrados ultrapassam os recomendados para a alface de 15-25°C (GOTO, 1998).

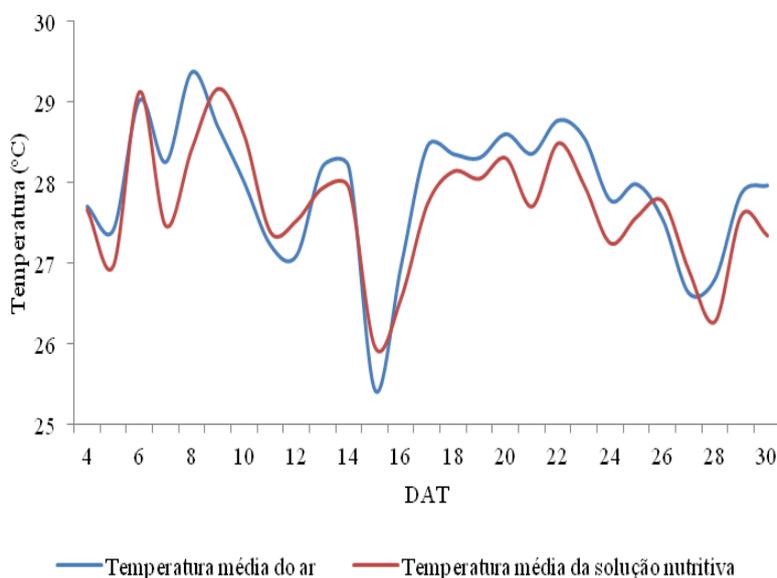


Figura 3. Temperatura média do ar e temperatura média da solução nutritiva.

Os dados obtidos pela análise do tecido vegetal foram submetidos à análise de variância (Tabela1) e quando constatado o efeito significativo, os graus de liberdade dos tratamentos foram desdobrados e os dados submetidos à análise de regressão.

Tabela 1. Análise de variância para as características estudadas da alface hidropônica (cv. Tainá) em função da salinidade da solução nutritiva no experimento I e II, respectivamente:

| Fonte de Variação | Teste F – Experimento I | | | | | | | | |
|-------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| | GL | N | P | Na | K | Ca | Mg | S | Cl |
| Salinidade | 5 | 0,5623 ^{ns} | 88,6877 ^{**} | 158,9579 ^{**} | 26,7252 ^{**} | 1,5096 ^{ns} | 0,3366 ^{ns} | 1,3546 ^{ns} | 52,0247 ^{**} |
| Bloco | 3 | 1,2339 ^{ns} | 2,3657 ^{ns} | 1,7315 ^{ns} | 0,1053 ^{ns} | 1,0569 ^{ns} | 0,5990 ^{ns} | 0,8523 ^{ns} | 1,0952 ^{ns} |
| CV (%) | | 3,74 | 6,22 | 5,70 | 6,89 | 3,99 | 3,10 | 5,91 | 9,3 |
| Fonte de Variação | Teste F – Experimento II | | | | | | | | |
| | GL | N | P | Na | K | Ca | Mg | S | Cl |
| Salinidade | 5 | 0,4653 ^{ns} | 79,9969 ^{**} | 77,4269 ^{**} | 18,2739 ^{**} | 0,4063 ^{ns} | 0,4160 ^{ns} | 0,2195 ^{ns} | 28,0289 ^{**} |
| Bloco | 3 | 0,3108 ^{ns} | 2,8893 ^{ns} | 0,0921 ^{ns} | 0,3097 ^{ns} | 0,4694 ^{ns} | 1,5025 ^{ns} | 0,5535 ^{ns} | 0,5853 ^{ns} |
| CV (%) | | 9,73 | 5,55 | 6,35 | 8,54 | 14,15 | 1,69 | 8,23 | 9,17 |

** significativo pelo teste F a 1% de probabilidade, ns - não significativo.

Observou-se que as concentrações de nitrogênio, cálcio, magnésio e enxofre no tecido vegetal não sofreram efeitos significativos dos tratamentos utilizados, ou seja, a salinidade não influenciou os teores destes elementos na planta. Por outro lado, os teores de sódio, potássio, cloreto e fósforo no tecido vegetal tiveram efeitos significativos em função do aumento da salinidade nos dois os experimentos (Tabela 1).

A salinidade pode afetar a absorção de nutrientes pelo sistema radicular devido ao antagonismo dos íons, ou seja, a salinidade prejudica o metabolismo dos nutrientes na planta principalmente devido ao estresse hídrico, o que reduz a eficiência da utilização dos nutrientes.

Na solução nutritiva os cátions e os ânions estão presentes em concentrações e formas diferentes, por isso, ocorrem várias interações entre os íons no processo de absorção. Não ocorreu nos experimentos variação de pH, devido a salinidade da água usada para o preparo da solução nutritiva ter sido realizada pela adição de NaCl, o que causa hidrólise de sais, gerando ácido forte e base forte tendo pouco efeito sobre mudanças de pH, e por isso, não foi realizada nenhuma correção do pH da solução nutritiva ficando a mesma entre 5,5 e 6,0.

Na Figura 4 encontram-se representados os valores de pH da solução nutritiva dos tratamentos nos experimentos I (Figura 4A) e II (Figura 4B). Consta-se que o pH da solução se manteve dentro da faixa onde a maioria dos nutrientes são disponibilizados para as plantas entre 5,5 e 6,5.

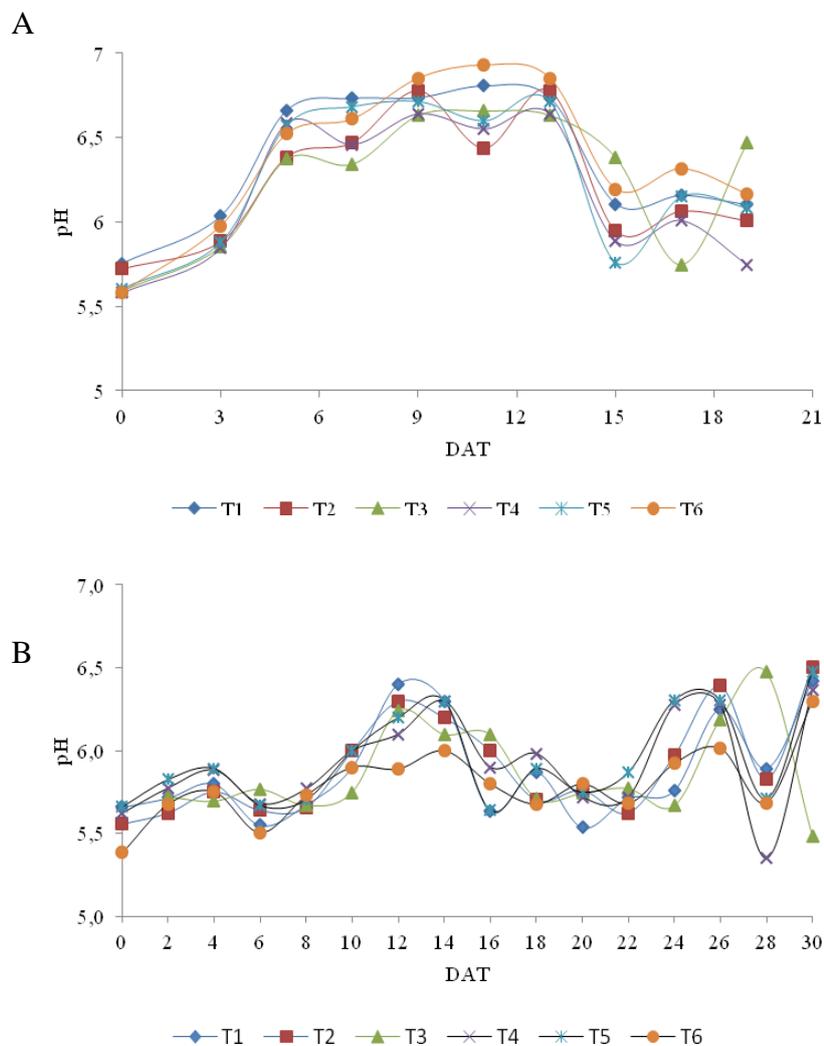


Figura 4. pH da solução nutritiva ao longo do ciclo da alface americana nos experimentos I em (A) e II em (B).

As variações de pH ocorrem em função da absorção indiscriminada de íons, sendo o nitrogênio responsável pelas variações de pH da solução nutritiva (COMETTI et al., 2006). E da forma como o nitrogênio é fornecido NH_4^+ ou NH_3^- (MARSCHNER, 2012). As raízes excretam OH^- ou HCO_3^- quando a absorção de ânions é maior que a de cátions, o que eleva o pH do meio, por outro lado, quando as raízes excretam H^+ a absorção de cátions é superior a de ânions o que resulta na redução do pH do meio.

Os teores de Na^+ e K^+ nos Experimentos I e II da alface americana tiveram efeitos significativos em função do aumento da salinidade como pode ser observado nas Figuras 5A e 5B.

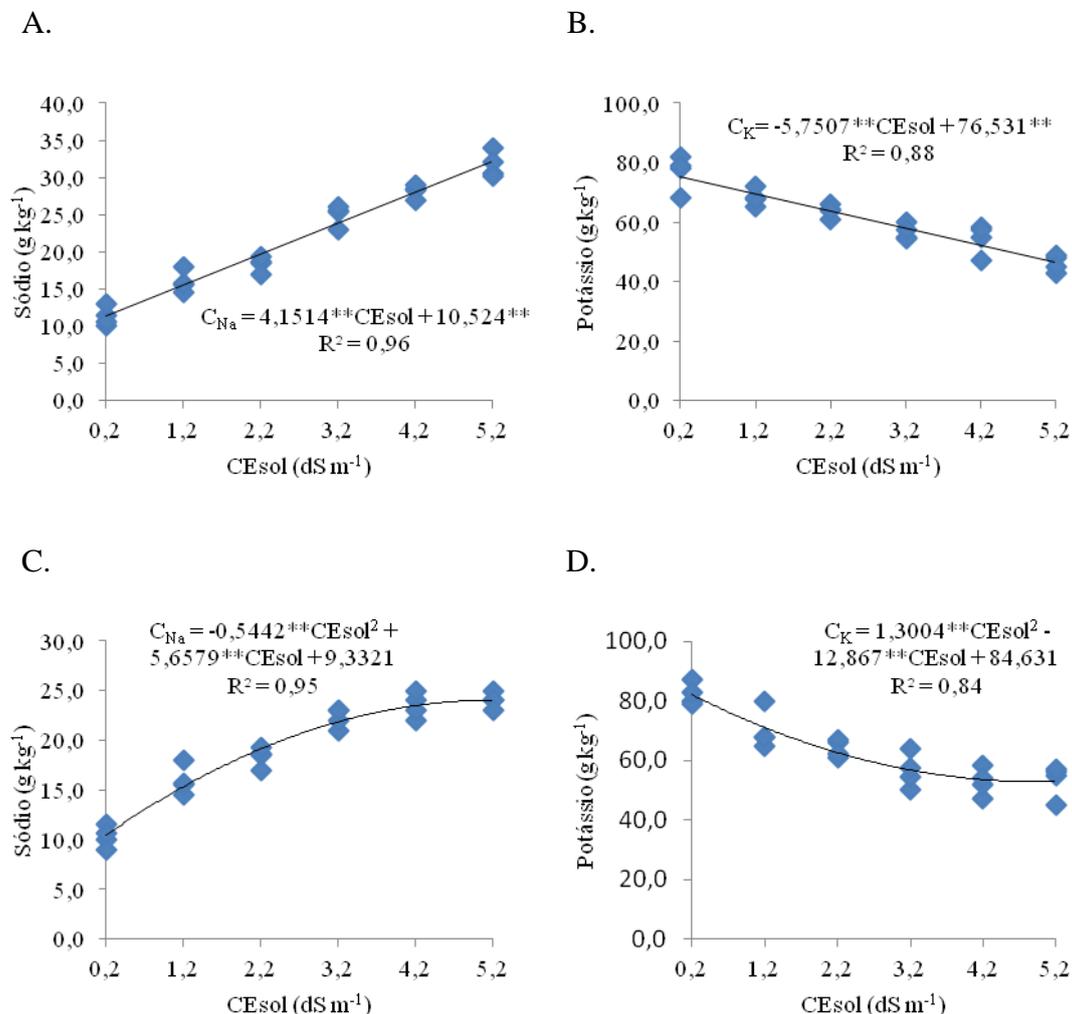


Figura 5. Concentração de macronutrientes (g kg^{-1} de matéria seca) na parte aérea das plantas de alface americana cv. Tainá em função da condutividade elétrica da solução nutritiva no Experimento I (A e B) e, no Experimento II (C e D).

Em ambos os experimentos ocorreram reduções percentuais do K^+ em função do aumento da salinidade, sendo que, quando a reposição da lâmina evapotranspirada foi realizada mediante o uso de água salobra esta redução foi mais acentuada de 7,51% por incremento unitário da CE como mostra o modelo linear (Figura 5B).

A reposição com água salobra proporcionou absorção do nutriente no tecido foliar ao final do ciclo para o tratamento mais salino T6 ($5,2 \text{ dS m}^{-1}$) uma média de

46,18 g kg⁻¹ de matéria seca, enquanto que para o mesmo tratamento quando a reposição foi realizada com água doce a absorção foi de 53,25 g kg⁻¹ em média de matéria seca de acordo com o modelo quadrático (Figura 5D). Segundo Levitt (1980), a competição dos íons Na⁺ e Cl⁻ com os outros nutrientes durante o processo de absorção induz a deficiência de nutrientes.

A média de peso seco para o tratamento T6 foi de 2,7 g e 7,4 g para o 1º e 2º ciclos de cultivo hidropônico, respectivamente. Segundo Epstein & Bloom (2004), as variações das concentrações com base no peso seco de K⁺ são de 0,8-8%.

A testemunha teve média entre 76,7 g e 82,2 g kg⁻¹ de K⁺ nos dois ciclos hidropônicos com CE de 0,2 dS m⁻¹ valores próximos aos encontrados por Filgueiras et al. (2002) ao estudarem a produção de alface cv. Verônica em cultivo hidropônico em diferentes condutividades elétricas com concentrações de potássio na ordem de 74 g kg⁻¹ na parte aérea com CE variando de 1 - 3,0 dS m⁻¹.

A salinidade devida a altos níveis de Na⁺ e Cl⁻ pode provocar a inibição da absorção dos íons K⁺ e Ca⁺⁺ pelas raízes, provocando sintomas de deficiências, como redução no crescimento.

A reposição com água salobra proporcionou um aumento da CE ao final do ciclo e esse aumento da salinidade foi responsável pela redução do potássio na alface americana, já na reposição com água doce a CE permaneceu constante durante todo o ciclo, só ao final ocorreu uma redução desse parâmetro em função da reposição da ETC ter sido realizada com água doce, ou seja, a diminuição da condutividade elétrica da solução nutritiva ao final do ciclo foi responsável por uma maior absorção de K⁺ no tecido foliar.

A diminuição da salinidade proporcionou uma maior absorção de íons ao final do ciclo de maneira geral. Por outro lado, o sódio teve um aumento significativo nos dois Experimentos em função do aumento da concentração do mesmo na solução nutritiva de acordo com a Figura (5A e 5C).

A redução do crescimento ocorre em função do acúmulo de sais no interior das plantas, por isso, apesar da salinidade não ter afetado de maneira geral as características de produção da alface americana a queima das bordas das folhas dos tratamentos mais salinos foi observada nos Experimentos I e II, (Figura 6).

A redução do crescimento é um efeito indireto da salinidade, ou seja, na medida em que as plantas acumulam íons no vacúolo (mecanismo natural em função da salinidade), ocorre gasto de energia, conseqüentemente, ao invés de gastar energia para crescer a planta gasta energia, por exemplo, para compartimentalizar o sódio no vacúolo, e esse processo, contribui para a redução do crescimento.

A queima das bordas das folhas foi observada nos tratamentos mais salinos em ambos os experimentos (Figura 6).



Figura 6. Queima dos bordos das folhas de alface americana.

A queima das bordas das folhas ocorre possivelmente, devido ao acúmulo dos Íons Na^+ e Cl^- utilizados nos experimentos para salinizar a água durante o preparo da solução nutritiva. Resultados semelhantes foram também encontrados por Luz et al. (2006), avaliando a produção hidropônica de cultivares de alface com e sem silício e verificou que a cultivar Tainá apresentou queima dos bordos nas soluções nutritivas sem silício, sendo este distúrbio relacionado com a salinidade, temperatura do ar e deficiência de Ca nas plantas.

Valores de referência de macronutrientes para a cultura da alface foram apresentados por Silva (1999), semelhantes aos valores indicados por Raij et al. (1996) para a cultura da alface no tecido foliar variando em torno de 30-50, 4-7, 50-80, 15-25, 4-6 (g kg^{-1}) de matéria seca de N, P, K, Ca Mg, respectivamente.

O cálcio e o magnésio não sofreram efeitos significativos em função do aumento da salinidade, porém, devido aos níveis de Na^+ e Cl^- , ocorreu uma inibição da absorção

de K^+ e P pelas raízes resultando na diminuição do crescimento das plantas. Teores de 3,68 e 0,133 $g\ kg^{-1}$ em média de cálcio e magnésio foram encontrados nos tecidos vegetais da cultura, respectivamente. Deve ocorrer um balanço ideal entre o cálcio, magnésio e potássio, devido à salinidade da solução nutritiva nos dois ciclos estudados, os altos teores de (K) podem deprimir a absorção de magnésio pelo fato das plantas preferirem a absorção de (K).

De acordo com os resultados encontrados para os íons Na^+ e Cl^- no tecido foliar após o processo de absorção que resultou no acúmulo na parte aérea, pode-se inferir que não ocorreu mecanismo de exclusão destes íons tóxicos das plantas, e este acúmulo resultou no surgimento de toxidez (Figura 7), porém este sintoma não foi observado em todas as plantas dos tratamentos com maior salinidade 5,2 dSm^{-1} .



Figura 7. Sintomas de acúmulo dos íons Na^+ e Cl^- na parte aérea da alface americana.

A reposição com água salobra proporcionou um aumento de 39,4% de Na^+ na cultura em função do incremento unitário da CE.

Quando a reposição da ET_c foi realizada com água doce o teor de Na^+ no tecido foliar teve uma tendência a diminuir no tratamento T6 comparando os dois experimentos como mostra o gráfico da (Figura 5C), de acordo com o modelo polinomial.

Em função do antagonismo iônico que existe entre o sódio e o potássio, as concentrações de K^+ no tecido foliar foram inibidas pelas elevadas concentrações de Na^+ em função dos níveis de salinidade.

Diversos trabalhos demonstram a diminuição do K^+ em função do antagonismo iônico com o Na^+ : Paulus et al. (2012) avaliando a composição mineral da alface cv. Verônica, Fernandes et al. (2002), ao estudarem o acúmulo de macronutrientes e sódio em pupunheira.

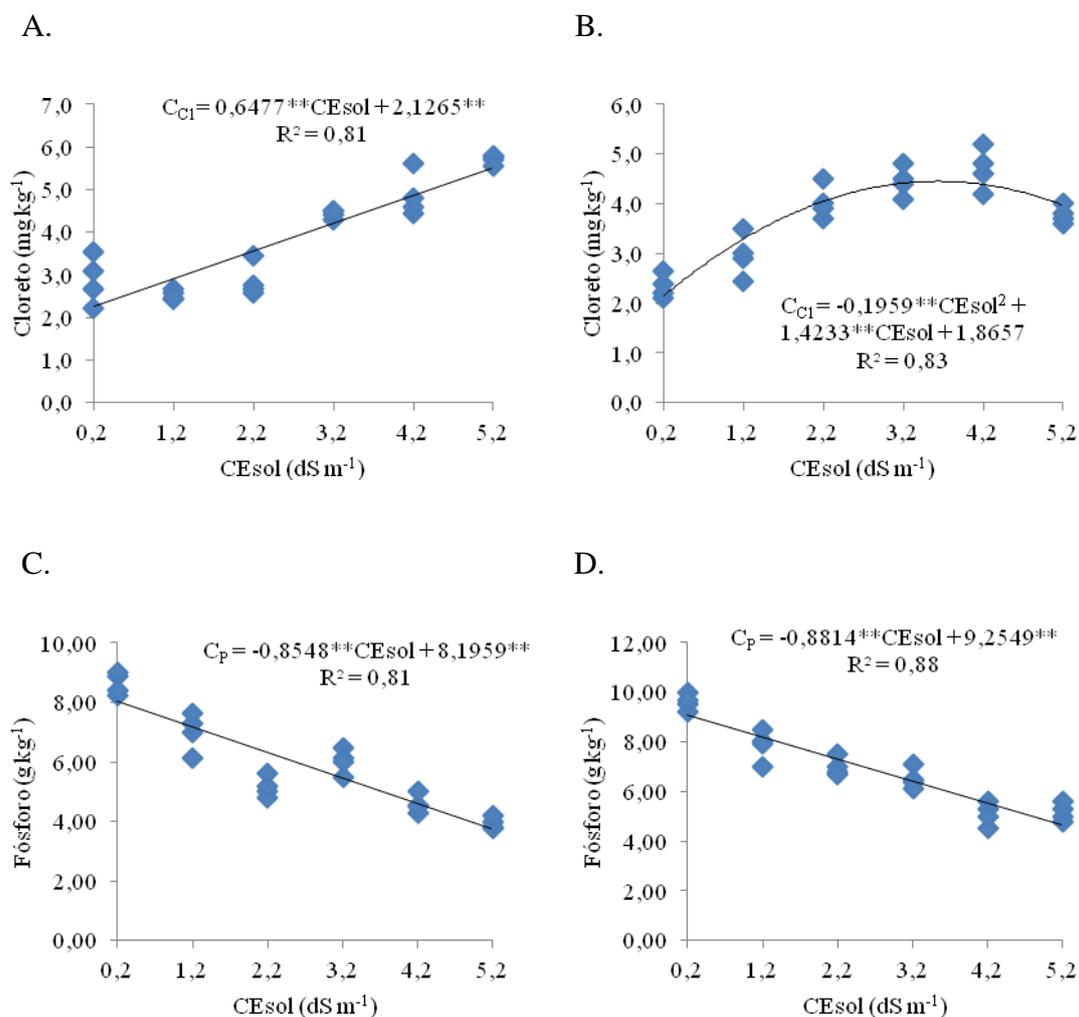


Figura 8. Concentração de macronutrientes (g kg⁻¹ de matéria seca) na parte aérea das plantas de alface americana cv. Tainá em função da condutividade elétrica da solução nutritiva no Experimento I (A e C), e no Experimento II (B, D).

O fósforo sofreu redução de 10,4% e 9,5% em função do incremento unitário da CE nos Experimentos I e II (Figura 8C e 8D). Tendo em média 8,63 e 9,60 g kg⁻¹ de matéria seca para as testemunhas em ambos experimentos. Sobretudo nos níveis de salinidade mais elevados (Tratamentos com 5,2 dSm⁻¹) valores de 3,94 e 5,18 g kg⁻¹ de matéria seca de fósforo foram encontrados quando a reposição foi realizada com água salobra e água doce, respectivamente.

Segundo Bezerra Neto e Barreto (2011), a concentração do fósforo em tecidos vegetais pode variar entre 1 a 15 g kg⁻¹ de matéria seca. Apesar de ocorrer redução percentual do fósforo nos experimentos com águas salobras, sua concentração permaneceu na faixa da normalidade, por isso as plantas não apresentaram sintomas de deficiência. Malavolta et al., (1997), apresentaram para alface cultivada em sistema convencional com aproximadamente 20 DAT valores de nitrogênio, fósforo e potássio na ordem de (30, 3,5 e 50 g kg⁻¹ de matéria seca), respectivamente. Portanto os valores encontrados nos experimentos que a reposição da lâmina evapotranspirada foi realizada mediante o uso de água doce a concentração desses nutrientes no tecido foliar situam-se em uma faixa superior aos limites estabelecidos para a cultura da alface em sistema convencional, fato que pode ser explicado em função da diminuição da salinidade e conseqüentemente uma maior absorção de nutrientes na reposição com água doce.

Os teores de fósforo no tecido foliar nos experimentos I e II tiveram valores próximos aos encontrados por Filgueiras et al. (2002) de 7,42 g kg⁻¹ de matéria seca para a testemunha com salinidade de 1,0 dS m⁻¹ para alface cv. Verônica.

Na literatura existem poucas informações sobre redução de fósforo em função do aumento da salinidade. Alguns estudos mostram que a salinidade pode aumentar, porém, isso não afeta a absorção e acumulação do fósforo em tecido vegetal (SONNEVELD & DE KREIJ, 1999 ; KAYA et al ., 2001), porém, tais reduções podem ser explicadas em função do comprimento e área do sistema radicular, ou seja, a absorção de fósforo depende mais do comprimento e área do sistema radicular, pois, esses parâmetros são influenciados diretamente pela salinidade. O fósforo é, dos macronutrientes, um dos menos exigidos pelas plantas.

Coelho (2013), avaliando o acúmulo de macronutrientes no sorgo forrageiro irrigado com águas de diferentes níveis de salinidade, também obteve redução percentual para o fósforo de 6,33% no colmo e 5,27% nas folhas em função do aumento da salinidade.

Segundo Oliveira et al. (2010), ao estudarem a interação entre salinidade e fósforo na cultura do rabanete, concluíram que doses crescentes de fósforo reduziram o efeito da salinidade em alguns parâmetros biométricos com água de salinidade de até $3,5 \text{ dS m}^{-1}$.

O cloreto teve um aumento de 30,4% em função do incremento unitário da CE no experimento que utilizou água salobra para reposição da ETc como mostra o modelo linear da (Figura 8A). Valores de $5,70 \text{ mg kg}^{-1}$ de matéria seca do íon foi encontrado mediante o uso de água salobra para reposição da ETc no tratamento T6 ($5,2 \text{ dS m}^{-1}$) em comparação com $5,20 \text{ mg kg}^{-1}$ de matéria seca com a utilização de água doce. A reposição com água doce proporcionou um menor acúmulo do íon no tecido foliar podendo ser explicado em função da diminuição da salinidade verificada através de leituras da condutividade elétrica da solução nutritiva. A reposição com água doce proporcionou uma CE constante durante todo o experimento com um pequeno decréscimo ao final do ciclo o que resultou um menor acúmulo do íon no tecido foliar.

CONCLUSÕES

1. O acúmulo de nutrientes nos experimentos com diferentes reposições das lâminas evapotranspiradas apresentaram maiores valores quando a reposição da ETc foi realizada mediante a utilização de água doce em função da diminuição da salinidade.
2. Em cultivo hidropônico NFT com utilização de águas salobras, obtidas pela adição de NaCl no preparo da solução nutritiva para a cultura da alface americana cultivar Tainá, os teores dos macronutrientes detectados foram superiores aos normalmente encontrados no sistema convencional.
3. As características visuais em termos de produção da alface americana, de maneira geral, não foram afetadas pelos níveis de salinidade de (0,2; 1,2; 2,2; 3,2; 4,2 e 5,2 dS m⁻¹) da água.
4. Os teores dos íons sódio, potássio, cloreto e fósforo foram afetados significativamente quando a reposição da lâmina evapotranspirada foi realizada com os dois tipos de águas. As reduções percentuais do fósforo e potássio foram de 10,42% e 7,51%, para a reposição com água salobra, respectivamente.
5. Não ocorreram mecanismos de exclusão do sódio e cloreto após a absorção e sim acúmulo na parte aérea o que alterou possivelmente o balanço osmótico das plantas interferindo diretamente no crescimento.

LITERATURA CITADA

ADAMS, P. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT an hydroponic systems. **Acta Horticulturae**, n. 361, p. 254-257, 1994.

ALBERONI, R. B. **Hidroponia**. São Paulo: Nobel, 1998. 102 p.

ARAGÃO, R. M.; SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, E. N.; LOBO, A. K. M.; DUTRA, A. T. B. Absorção, fluxo no xilema e assimilação do nitrato em feijão-caupi submetido à salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 14, p. 100-106, 2010.

BEZERRA NETO, E. ; BARRETO, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Recife: UFRPE, Editora uiversitária, 2011. 267 p.

COELHO, D. S. Influência da salinidade nos aspectos nutricionais e morfofisiológicos de genótipos de sorgo forrageiro. 2013. 86 P. (Dissertação Mestrado) – Universidade Federal do vale do São Francisco, Juazeiro, BA, 2013.

COMETTI, N. N; MATIAS, G. C. S; ZONTA, E; MARY, W; FERNANDES, M. S. Efeito da concentração da solução nutritiva no crescimento da alface em cultivo hidropônico–sistema NFT. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v. 26, n. 2, p. 252-257, 2008.

COSTA, P. C.; DIDONE, E. B.; SESSO, T. M.; CANIZARES, K. A. L; GOTO, R. Condutividade elétrica da solução nutritiva e produção de alface em hidroponia. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, p. 595-597, 2001.

COMETTI, N. N.; FURLANI, P. R.; RUIZ, H. A.; FERNANDES FILHO, E. I. **Soluções Nutritivas: formulação e aplicações**. In: MANLIO SILVESTRE FERNANDES. (Org.). *Nutrição Mineral de Plantas*. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 89-114, 2006.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. **Efeitos dos sais no solo e na planta**. Instituto nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010.

EPISTEIN, E.; BLOMM, A. **Nutrição Mineral de Plantas**. Princípios e perspectivas segunda edição. Sunderland: Sinauer Associates, tradução Maria Edna Tenório Nunes, 2004.

FAOSTAT. (2011). The FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Statistical Database. Retrieved from <http://faostat.fao.org>.

FILGUEIRAS, R. C.; TAKAHASHI, H. W.; BENINNI, E. R. Y. Produção de alface hidropônico em diferentes condutividades elétricas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 23, n. 2, p. 157-164, 2002.

FURLANI, P. R. Hydroponic vegetable production in Brazil. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 2, n. 481, p. 777- 778, 1999.

FURLANI, P. R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia NFT**. 1.ed. Campinas: IAC, 1998. 30 p. Boletim técnico, 168.

FERNANDES, A. R.; CARVALHO, J. G.; CURTI, N.; PEREIRA, P. & GONTIJO GUIMARÃES, P. T. Nutrição mineral de mudas de pupunheira sob diferentes níveis de salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1613-1619, 2002.

GOTTO, R.; TIVELLI, S. W. **Produção em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: Editora UNESP, 1998. 319 p.

HEINEN, M.; JAGER, A.; NIERS, H. Uptake of nutrients by lettuce on NFT with controlled composition of the nutrient solution. Netherlands **Journal of Agricultural Science, Wageningen**, v. 39, p. 197-212, 1991.

HUETT, D. O. Growth, nutrient uptake and tipburn severity of hidroponic lettuce in response to electrical conductivity and K: Ca ratio in solution. **Australian Journal of Agricultural Research**, Austrália, v. 45, p. 251-267, 1994.

KAYA, C.; KIRNAK, H. & HIGGS, D. Enhancement of growth and normal growth parameters by foliar application of potassium and phosphorus in tomato cultivars grown at high (NaCl) salinity. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, 357-367, 2001.

LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stress**. New York: Academic Press, v. 2, p. 25-280, 1980.

LUZ, J. M. Q.; FAGUNDES, N. S.; SILVA, M. A. D. Produção hidropônica de alface dos tipos Mimosa e Romana em diferentes concentrações de solução nutritiva. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 195-201, 2010.

MARSCHNER'S Mineral Nutrition of Higher Plants. Third Edition. Edited by Petra Marschner. **Elsevier, London, School of Agriculture**, Food and Wine the University of Adelaide AustraliaUK. 651 pp. ISBN 978-0-12-384905-2, 2012.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: CERES, 2006. 631p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das Plantas: princípios e aplicações. 2ª edição. Piracicaba, São Paulo: Potafos, 1997, p. 319.

NETO, O. N. S.; DIAS, N. S.; ATARASSI, R. T.; REBOUÇAS, J. L.; OLIVEIRA, A. M. Produção de alface hidropônica e microclima de ambiente protegido sob malhas termo-refletores. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 84-90, 2010.

OLIVEIRA, F. R. A.; OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; SOUSA, V. F. L.; FREIRE, A. G. Interação entre salinidade e fósforo na cultura do rabanete. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 519-526, 2010.

PAUGET, B.; GIMBERT, F.; SCHEIFLER, R.; COEURDASSIER, M.; VAUFLEURY, A. Soil parameters are key factors to predict metal bioavailability to snails based on chemical extractant data. **Science of the Total Environment**, v. 431, p. 413-425, 2012.

PAULUS, D.; PAULUS, E.; NAVA, G. A.; MOURA, C. A. Crescimento, consumo hídrico e composição mineral de alface cultivada em hidroponia com águas salinas. **Revista Ceres**, v. 59, n. 1, p. 110-117, 2012.

PEREZ-ESTEBAN, J.; ESCOLASTICO, C.; RUIZ-FERNANDEZ, J.; MASAGUER, A.; MOLINER, A. Bioavailability and extraction of heavy metals from contaminated

soil by *Atriplex halimus*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 88, p. 53–59, 2013.

PINTO, E.; ALMEIDA, A. A.; AGUIAR, A. A. R. M.; FERREIRA, I. M. L. V. O. Changes in macrominerals, trace elements and pigments content during lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth: Influence of soil composition. **Food Chemistry**, v. 152, p. 603–611, 2014.

RAIJ, B. et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1996. 285 p.

SONNEVELD, C. & de KREIJ, C. Response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to an unequal distribution of salt in the root environment. **Plant and Soil**, v. 209, p. 47–56, 1999.

SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; DUARTE, S. N.; MÉLO, R. F.; JORGE, C. A.; SILVA, E. M. B. Produção de alface utilizando águas salinas em sistema hidropônico. **Irriga**, v. 12, n. 2, p. 235-248, 2007.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária; organizador Fábio César da Silva. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

SHANNON, M. C. Adaptation of plants to salinity. *Advances in Agronomy*, Newark, v. 60, n. 1, p. 75-120, 1997.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho possuiu como objetivo central apresentar diretrizes para utilização de águas subterrâneas salobras em cultivo hidropônico NFT, na cultura da alface americana, verificando o efeito da salinidade no crescimento, desenvolvimento e nutrição mineral das plantas em ambiente protegido. Em virtude dos resultados encontrados na pesquisa, considera-se que o objetivo tenha sido alcançado.

Alguns aspectos podem nortear pesquisas futuras como: a utilização de diferentes cultivares de alface; diferentes intervalos de eventos de irrigação; omissão de nutrientes, diferentes soluções nutritivas e épocas de experimento em função de níveis crescentes de salinidade.

Os resultados apresentados nesta dissertação sobre cultivo hidropônico de alface americana utilizando águas salobras fornecerão informações importantes a serem consideradas em outras pesquisas, e essencialmente para os produtores de alface em cultivo hidropônico NFT, tendo em vista o efeito da salinidade sobre duas situações distintas de manejo de reposição da lâmina evapotranspirada. Sendo assim, diante dos resultados apresentados em cultivo hidropônico NFT, é preferível a reposição da lâmina evapotranspirada com água de abastecimento, pois, além de manter a salinidade constante durante todo o ciclo da cultura, percebe-se que os parâmetros biométricos obtiveram menores reduções percentuais em função do acréscimo unitário da CE, o que resulta em uma maior produção de massa fresca da planta, por outro lado, mesmo na situação de reposição da ETc com água salobra, as características visuais não foram afetadas nem prejudicaram o stand de plantas em ambiente protegido.

Não foram observados mecanismos de exclusão de sódio e cloreto após a absorção nos experimentos realizados com a utilização de NaCl no preparo da solução nutritiva e, sim, acúmulo destes íons na parte aérea o que interferiu diretamente no crescimento em função do balanço osmótico.

É importante salientar que ainda existe a necessidade de aprofundar as pesquisas na parte dos micronutrientes com o intuito de analisar o comportamento destes em função da salinidade crescente obtida pela adição de NaCl no preparo da solução nutritiva.