

CULTIVO DE ALFACE SOB INTERVALOS DE RECIRCULAÇÕES DAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS EM SISTEMAS HIDROPÔNICOS USANDO ÁGUA SALOBRA

FABIO TAYRONE OLIVEIRA DE FREITAS¹; TALES MILER SOARES¹;
MAIRTON GOMES DA SILVA¹ E MARIA RAPHAELA SEVERO RAFAEL²

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Núcleo de Engenharia de Água e Solo, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia-UFRB, Rua Rui Barbosa, 710 - Campus Universitário, CEP: 44380-000, Cruz das Almas-BA, Brasil. E-mail: oibaf.freitas@hotmail.com, talesmiler@gmail.com, mairtong@hotmail.com

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Vale do São Francisco-UNIVASF, Av. Antônio Carlos Magalhães, 510 Country Club, CEP: 48.902-300, Juazeiro-BA, Brasil. E-mail: mariaph1201@gmail.com

1 RESUMO

Objetivou-se no presente estudo avaliar o crescimento e a produção da alface usando água salobra sob diferentes intervalos de recirculações das soluções nutritivas em sistemas hidropônicos. Dois experimentos foram conduzidos concomitantemente em blocos casualizados com cinco repetições. Três cultivares de alface ('Gloriosa', 'Robusta' e 'Tainá') foram cultivadas no mesmo canal hidropônico, sob as seguintes interações: dois sistemas hidropônicos (NFT – técnica do fluxo laminar de nutrientes e DFT – técnica do fluxo profundo, ambos em tubos de PVC) e dois níveis de condutividade elétrica da água – CEa (0,3 e 5,3 dS m⁻¹), no Experimento I; no Experimento II, os mesmos dois níveis de CEa e três intervalos de recirculações das soluções nutritivas (0,25; 2 e 4 h), apenas no sistema DFT. No Experimento I, em geral, os sistemas hidropônicos não promoveram mudanças significativas nas variáveis de crescimento e produção das alfaces. Para o Experimento II, foi viável adotar intervalos de recirculações das soluções de até 2 h (cultivar 'Robusta') e 4 h (cultivares 'Gloriosa' e 'Tainá') no sistema DFT em tubos. De modo geral, apesar das reduções no crescimento e produção da alface utilizando-se água salobra (CEa 5,3 dS m⁻¹), não houve depreciação da qualidade visual do produto para comercialização.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., cultivo sem solo, oxigênio dissolvido, salinidade, temperatura da solução nutritiva.

FREITAS, F. T. O.; SOARES, T. M.; SILVA, M. G.; RAFAEL, M. R. S.
LETTUCE CULTIVATION UNDER DIFFERENT RECIRCULATION INTERVALS
OF THE NUTRIENT SOLUTION IN HYDROPONIC SYSTEMS USING BRACKISH
WATER

2 ABSTRACT

This study aimed to evaluate the growth and production of lettuce using brackish water under different recirculation intervals of the nutrient solution in hydroponic systems. Two experiments were conducted concomitantly, in a randomized block design with five replicates.

Three lettuce cultivars (Gloriosa, Robusta and Tainá) were grown in the same hydroponic channel, under the following interactions: between two hydroponic systems (NFT – Nutrient Film Technique and DFT – Deep Flow Technique, both in PVC tubes) and two levels of electrical conductivity of water – EC_w (0.3 and 5.3 dS m⁻¹), in Experiment I; in Experiment II, between the same two levels of EC_w (0.3 and 5.3 dS m⁻¹) and three recirculation intervals of the nutrient solution (0.25, 2 and 4 h), only in the DFT system. In Experiment I, in general, hydroponic systems caused no significant changes in the growth and production variables of lettuce. For Experiment II, it was viable to adopt recirculation intervals of the nutrient solution of up to 2 h (cultivar Robusta) and 4 h (cultivars Gloriosa and Tainá) in the DFT system in tubes. Generally, despite the reductions in growth and production of lettuce using brackish water (EC_w 5.3 dS m⁻¹), but without deleterious effects on the visual quality of the product for commercialization.

Keywords: *Lactuca sativa* L., soilless cultivation, dissolved oxygen, salinity, nutrient solution temperature.

3 INTRODUÇÃO

Nas regiões áridas e semiáridas de várias partes do mundo, como no Nordeste brasileiro (ROCHA NETO et al., 2017), dentre os vários estresses abióticos (XU et al., 2018; MAU et al., 2019), a salinidade tem afetado mais drasticamente o rendimento das culturas agrícolas (REZAEI et al., 2017; YUAN et al., 2019), sendo responsável pela transformação de vastas áreas de terra em áreas impróprias para a agricultura (FAGERIA; GHEYI; MOREIRA, 2011).

Na presença de excesso de sais, o crescimento das plantas é afetado, primeiramente, pelo efeito negativo do potencial osmótico na absorção de água (AZEVEDO NETO et al., 2020), tendo como consequências mudanças nas relações da água nas suas células (GARCÍA-CAPARRÓS; LAO, 2018), posteriormente, acúmulo de íons (Na⁺ e Cl⁻) em níveis tóxicos (LIU; DU; WANG, 2011; HOSSAIN et al., 2015; RADY et al., 2018) pode acarretar distúrbios nutricionais (CECCARINI et al., 2019).

Para sobreviverem às condições adversas, as plantas despendem de um custo metabólico de energia, que é desviada do crescimento e redistribuída para manutenção

das mesmas (MUNNS; GILLIHAM, 2015; ASHRAF et al., 2018), conseqüentemente, há redução no crescimento (BERNSTEIN; KRAVCHIK; DUDAI, 2010).

Portanto, para tornar a produção agrícola economicamente viável é fundamental melhorar a tolerância das plantas aos sais (XU; MOU, 2015; LI et al., 2019; WANG et al., 2019). Além disso, é importante o uso de técnicas de cultivo diferentes das tradicionais.

Estudos têm proposto a técnica da hidroponia (cultivo sem uso do solo) como alternativa para utilização de águas salobras (SIGNORE; SERIO; SANTAMARIA, 2016; NIU; SUN; MASABNI, 2018), muitas vezes inviáveis no sistema convencional em solo (SILVA et al., 2018b). No cultivo hidropônico, a resposta das plantas à salinidade é melhor do que no solo, considerando a maior disponibilidade da água para as plantas, visto que na hidroponia o potencial mátrico tende a zero (SOARES et al., 2007; DIAS et al., 2011), sendo esse potencial uma das causas da diminuição da energia livre da água no solo (SILVA et al., 2013; SANTOS et al., 2016; SILVA et al., 2020a).

A despeito da ampla gama de sistemas hidropônicos descritos na literatura especializada, as técnicas NFT (*Nutrient*

Film Technique) e DFT (*Deep Flow Technique*), por algum tempo, foram consideradas como as que possuíam viabilidade comercial comprovada (RODRIGUES, 2002). Publicações mais recentes já são direcionadas para sistemas “semi-hidropônicos” em substratos inertes, por questões fitossanitárias (VAN OS; GIELING; LIETH, 2019). No entanto, no Brasil, o sistema predominante e mais popular ainda é o NFT (MATHIAS, 2008), muito apropriado para o cultivo de hortaliças folhosas de ciclo rápido, como a alface, principal produto da hidroponia brasileira (SOARES et al., 2015; COVA et al., 2017; GUIMARÃES et al., 2017; SILVA et al., 2018a; SOARES et al., 2019).

No sistema NFT apenas parte das raízes fica submersa em solução nutritiva, o que auxilia nas trocas gasosas, incluindo sua oxigenação (VILLELA JÚNIOR; ARAÚJO; FACTOR, 2004; ANDREAU; GIMÉNEZ; BELTRANO, 2015). Trata-se de um sistema fechado, caracterizado pela recirculação da solução nutritiva de forma contínua ou intermitente, essa última mais usual no Brasil. Normalmente, recomenda-se fazer as recirculações durante 0,25 h e a cada 0,25 h de intervalo (LUZ et al., 2008; ZANELLA et al., 2008). Se por um lado, parece haver um atrelamento histórico dessa frequência de recirculação em virtude dos temporizadores analógicos que permitiam usualmente apenas intervalos múltiplos de 0,25 h, por outro, deve-se observar que pesquisas conduzidas com diferentes programações concluíram que é possível reduzir os custos energéticos alterando a frequência, sem perdas de produção (FAGAN et al., 2006; LUZ et al., 2008).

Ainda que seja possível encontrar valores otimizados de frequência e duração da recirculação, e que esses possam ser viabilizados com temporizadores digitais modernos e acessíveis ao produtor, deve-se ponderar se a declividade imposta às calhas de cultivo pela técnica NFT irá implicar em

substancial susceptibilidade às falhas no fornecimento de energia elétrica.

Em função desse risco e para dar suporte às recentes pesquisas desenvolvidas no Brasil, as quais buscam estabelecer a hidroponia como técnica condizente à condição da região semiárida, locais onde geralmente a infraestrutura é diferente para conduzir eletricidade, vários estudos têm sido realizados utilizando-se o sistema DFT adaptado em canais tubulares de cultivo (SANTOS JÚNIOR et al., 2015; SILVA et al., 2016ab; CAMPOS JÚNIOR et al., 2018; SILVA et al., 2018b; ALVES et al., 2019b; MARTINS et al., 2019; SILVA JÚNIOR et al., 2019b; SILVA et al., 2020a, 2020b). Nesse caso, as raízes ficam submersas permanentemente por uma dada lâmina de solução nutritiva, o que seria suficiente para superar períodos consideráveis sem energia e, portanto, sem recirculação da solução. Outra vantagem é que o maior volume de solução no entorno das raízes confere, segundo van Os, Gieling e Lieth (2019), maior tamponamento à oscilação da temperatura.

No sistema DFT adaptado é possível ter o benefício da redução da frequência de recirculação e, portanto, obter-se a diminuição do custo variável da energia elétrica. Por outro lado, espera-se que: as menores frequências de recirculação da solução nutritiva impliquem na redução das trocas gasosas (HORCHANI et al., 2008; KLÄRING; ZUDE, 2009) e maior aumento da sua concentração iônica entre um evento de recirculação e outro (SAVVAS et al., 2007; SILVA JÚNIOR et al., 2019a); a menor oxigenação da solução dificulte a adaptação das plantas ao uso de águas salobras (SILVA et al., 2016b); a menor recirculação resulte em aumento de temperatura da solução nutritiva, com consequente redução do nível de oxigênio dissolvido (SILVA et al., 2020b) e efeito na condutividade elétrica da solução. Cria-se, portanto, a dúvida sobre o quanto o sistema DFT adaptado pode ser compatível ao

sistema NFT em termos de quantidade e qualidade do resultado final de produção.

Dentro desse contexto, dois experimentos foram conduzidos concomitantemente utilizando-se águas doce e salobra a fim de avaliar a produção e qualidade de três cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) em interação com os sistemas hidropônicos de cultivo NFT e DFT em tubos, tendo sido aplicadas diferentes frequências de recirculação da solução nutritiva apenas no sistema DFT em tubos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização do experimento

Três cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) foram cultivadas entre os meses de janeiro e março de 2015 em uma casa de vegetação (orientação Leste-Oeste) pertencente ao Núcleo de Engenharia de Água e Solo/NEAS da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia/UFRB, Cruz das Almas, Bahia (12° 40' 19" de latitude Sul, 39° 06' 23" de longitude Oeste e altitude de 220 m), Brasil. A casa de vegetação, de aço galvanizado e em arco simples tipo túnel, apresentava 32 m de comprimento, 7 m de largura e teto coberto com filme de polietileno de 150 µm de espessura e manta termo refletora. À altura do pé direito (4 m) foi instalada internamente uma tela com 50% de sombreamento.

Figura 1. Visão geral, no interior da casa de vegetação, das plantas de alface cultivadas hidroponicamente.



No interior da casa de vegetação, dados de temperatura e umidade relativa do ar foram monitorados por meio de um sensor

termohigrômetro modelo HMP45C (Vaisala, Inc.; Helsinki, Finland) instalado a 1,8 m de altura do solo. As médias foram

armazenadas a cada 30 min em um datalogger modelo CR1000 (Campbell Scientific, Inc.; Logan, Utah, USA). Durante o estudo, a umidade relativa média foi de 73,14%, com mínimas variando entre 33,57 e 51,88% e máximas entre 87,9 e 94,4%. A umidade relativa média está de acordo com a faixa considerada ideal para o cultivo de alface, que segundo Vilas Boas et al. (2008) e Araújo et al. (2010), é entre 60 e 80%.

4.2 Delineamento experimental e tratamentos

Dois experimentos foram conduzidos concomitantemente na mesma estrutura experimental, ambos com delineamento em blocos casualizados e com cinco repetições. Em cada experimento, três cultivares de alface, duas do grupo americana ('Tainá' e 'Gloriosa') e uma do grupo crespa ('Robusta'), foram cultivadas dentro do mesmo canal hidropônico. No Experimento I, foram avaliados dois sistemas hidropônicos (NFT e DFT adaptados em canaletas tubulares) em interação com dois níveis de condutividade elétrica da água (CEa 0,3 e 5,3 dS m⁻¹). Para o Experimento II, foram utilizados os mesmos dois níveis de CEa (0,3 e 5,3 dS m⁻¹) em interação com três intervalos de recirculações das soluções nutritivas (0,25; 2 e 4 h), apenas no sistema hidropônico DFT. Estas águas foram utilizadas tanto no preparo da solução nutritiva como na reposição do volume consumido.

4.3 Estrutura experimental

Foram utilizadas 40 parcelas experimentais, cada uma representando uma unidade de sistema hidropônico. Dessas parcelas, dez foram usadas como sistema NFT e as demais usadas como sistema DFT. Em ambos os sistemas, os canais hidropônicos foram confeccionados com tubos de PVC (pigmento azul) com diâmetro nominal de 0,075 m e 6 m de comprimento.

Foram dispostos dois canais hidropônicos em cada bancada de cultivo, espaçados em 0,80 m.

Nas parcelas do sistema DFT, os canais hidropônicos foram dispostos em nível na bancada de cultivo. Em cada canal foram acoplados tampões nas extremidades, de modo a manter uma lâmina de solução nutritiva (SN) de aproximadamente 0,03 m, que era constante após o período de recirculação. Para manter os níveis de SN nos canais, na saída de um dos tampões (lado oposto ao da entrada da SN no canal) foi inserido um conector, e neste foi conectada uma mangueira para drenar o excesso de SN para o reservatório de armazenamento. No sistema NFT, os canais foram colocados em declividade de 3%, assim, a SN drenava para o reservatório após cada evento de recirculação.

Além do canal hidropônico independente, cada parcela foi representada por um reservatório de plástico (capacidade de 60 L) para armazenamento da SN, dotado de uma torneira-boia que permitia manter o volume de SN constante (50 L), além de uma eletrobomba para recalcar a SN para o canal. Também, foi acoplado um reservatório para abastecimento individualizado para cada parcela, responsável pela reposição de água consumida pelas plantas. Esse abastecedor foi construído com tubulação de PVC de 0,20 m de diâmetro, com capacidade para 20 L, sendo equipado com uma régua graduada fixada junto a uma mangueira transparente instalada no sentido vertical para realizar a leitura do nível de água no abastecedor. Esse reservatório de abastecimento foi interligado ao reservatório de SN por meio de uma mangueira, na qual foi conectado um registro que permanecia fechado. Para quantificar o consumo hídrico, diariamente, no momento prefixado da leitura, com os sistemas hidropônicos em repouso, o registro era aberto, proporcionando a saída da água para o reservatório de SN, permitindo-se assim, a manutenção do volume de 50 L.

4.4 Condução da cultura e manejo da solução nutritiva

As sementes peletizadas de alface foram semeadas em espuma fenólica (2 x 2 x 2 cm). Três dias após a semeadura (DAS), as plântulas foram transferidas para um berçário (sistema NFT), onde receberam SN de Furlani et al. (1999) para hortaliças folhosas a 50%, por um período de 15 dias. As irrigações no berçário foram controladas por um temporizador analógico, sendo estabelecidos intervalos intermitentes de 0,25 h no período das 06:00 às 18:00 horas. Das 18:00 às 06:00 horas, a SN foi recirculada uma vez a cada 2 h, com duração de 0,25 h.

Após esse período no berçário, as mudas foram levadas para os sistemas hidropônicos, momento em que apresentavam altura média de 0,08 m e entre quatro e cinco folhas definitivas. Cada canal hidropônico foi segmentado em três terços, nos quais se distribuíram aleatoriamente sete plantas de cada cultivar por segmento, com espaçamento de 0,28 m.

No Experimento I, o controle da recirculação da SN foi realizado com auxílio de temporizadores analógicos, com programação similar à adotada na fase de berçário, em intervalos intermitentes de 0,25 h. No Experimento II, além da frequência de 0,25 h, foram testadas recirculações a cada 2 ou 4 h, permanecendo o sistema ligado por 0,25 h.

Antes do preparo da SN para fase de cultivo definitivo, inicialmente, o nível de CEa de 5,3 dS m⁻¹ foi obtido pela adição de NaCl (comercial e sem iodo) na água de abastecimento local (CEa 0,3 dS m⁻¹). Posteriormente, nessas águas (CEa 0,3 e 5,3 dS m⁻¹) foram adicionados os sais fertilizantes correspondendo à concentração de 100% da SN de Furlani et al. (1999), obtendo-se valores de condutividade elétrica da SN (CEsol) de 2,15 e 7,25 dS m⁻¹, respectivamente, e pH de 6,0. Ao longo dos experimentos, em intervalos não regulares,

os valores de CEsol e pH das soluções foram medidos em condutivímetro modelo DM-3P (Digimed Analítica Ltda., São Paulo, Brasil) e pHmetro modelo TEC-51 (Tecnal, Piracicaba, Brasil), com compensação automática de temperatura. Ao longo do experimento, a alface apresentou característica de acidificar a SN, sendo necessárias correções dos valores de pH mediante a aplicação de KOH (1 M) para mantê-los na faixa de 5,5-6,5.

Os valores de CEsol também foram monitorados continuamente dentro dos canais hidropônicos do sistema DFT, utilizando-se uma sonda de CE modelo CS547A (Campbell Scientific, Inc.; Logan, Utah, USA). Essa sonda forneceu dois valores de CEsol, um sem a compensação de temperatura (CEsol_{real}) e outro padronizado à 25°C (CEsol_(25°C)). Esse monitoramento ocorreu em duas fases do cultivo da alface e apenas para dois tratamentos, ambos sob o intervalo de recirculação de 4 h com água doce (CEa 0,3 dS m⁻¹) e com água salobra (CEa 5,3 dS m⁻¹), aos 18 e 24 dias após o transplante (DAT), respectivamente.

Para uma parcela na condição de cultivo com água salobra (CEa 5,3 dS m⁻¹) e intervalo de recirculação de 0,25 h e para outra parcela com água doce (CEa 0,3 dS m⁻¹) e intervalo de 4 h, foram instalados termopares tipo J (ferro-constantan) para o monitoramento da temperatura da SN no canal hidropônico. A sonda de CE e os termopares foram conectados no mesmo datalogger usado com o sensor termohigrômetro, conforme descrito no subitem “4.1 Localização do experimento”, com médias também armazenadas a cada 30 min.

4.5 Variáveis avaliadas

4.5.1 Aspecto visual

O aspecto visual da alface foi monitorado periodicamente para identificar possíveis sintomas relacionados à

deficiência nutricional produzida e à toxidez pelos íons Na^+ e Cl^- , bem como qualquer dano causado por pragas e/ou doenças.

4.5.2 Concentrações de oxigênio dissolvido na solução nutritiva

Aos 21 DAT, os níveis de oxigênio dissolvido (OD) na SN foram medidos nos canais hidropônicos do sistema DFT em ambos os tratamentos. Para o tratamento com intervalo de 0,25 h, as medições foram realizadas com o sistema hidropônico em repouso; já para os intervalos de 2 e 4 h, as medições foram realizadas 0,25 h antes de uma nova recirculação da SN, entre 9 e 10 h da manhã, com auxílio de um oxímetro portátil.

4.5.3 Crescimento e produção da alface

Para a alface crespa (cv. 'Robusta'), o experimento foi finalizado aos 21 DAT. Para as cultivares de alface americana ('Gloriosa' e 'Tainá'), além da colheita na mesma data (aos 21 DAT), as plantas restantes permaneceram nos canais hidropônicos por mais sete dias (até os 28 DAT), realizando-se, portanto, duas colheitas para essas duas cultivares. Em cada parcela foram colhidas duas plantas de cada cultivar, nas quais avaliaram-se: a altura da planta (AP), o número de folhas (NF), o diâmetro da parte aérea (DPA) e a massa de matéria fresca da parte aérea (MFPA). O DPA foi obtido considerando a maior distância da largura máxima obtida quando as folhas de alface foram deitadas em uma superfície plana. Imediatamente após a pesagem das plantas frescas, o material foi acondicionado em sacos de papel e colocado em estufa de circulação forçada, à temperatura de 65°C até atingir massa constante, para se quantificar a massa de matéria seca da parte aérea (MSPA). As

MFPA e MSPA foram obtidas em balança de precisão (0,01 g).

4.6 Análise estatística

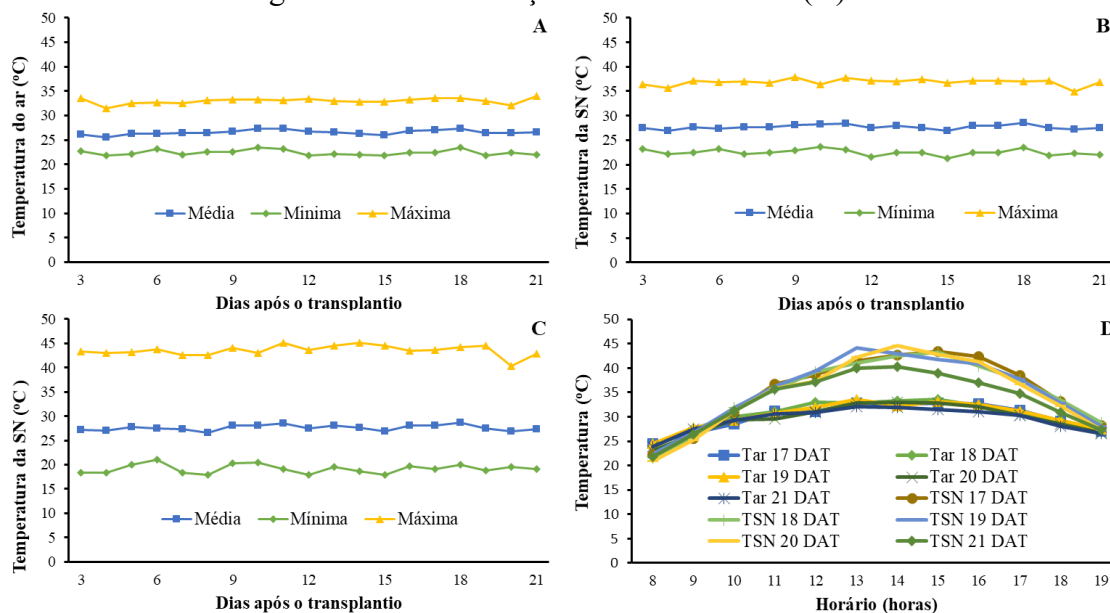
A análise estatística foi realizada separadamente para cada cultivar de alface em ambos os experimentos. Os dados foram submetidos à análise de variância mediante o teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2014).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Temperaturas e condutividade elétrica da solução nutritiva

A temperatura média do ar no período do estudo foi de 26,75°C, com mínimas variando entre 21,8 e 24,41°C e máximas entre 31,56 e 37,86°C. A maior amplitude diária na temperatura do ar foi de 14,64°C aos 24 DAT (Figura 2A). A temperatura média do ar foi superior ao limite recomendado ou ideal para o desenvolvimento da cultura de alface, qual seja, entre 15 e 25°C (FELTRIM et al., 2009; SILVA et al., 2017a). O verão, caracterizado por altas temperaturas (acima de 30°C) durante o dia, provoca o encurtamento do ciclo vegetativo (AQUINO et al., 2017), podendo ocorrer alongamento do caule das plantas, conseqüentemente, ocorre o pendoamento (DIAMANTE et al., 2013), uma característica indesejável, pois inviabiliza o produto para comercialização (LUZ et al., 2009). Apesar das temperaturas estarem acima da ideal em 21 dias do estudo, a qualidade da alface não foi afetada. Em parte, isso se deve aos trabalhos de melhoramento genético das espécies para as condições tropicais brasileiras.

Figura 2. Médias diárias de temperaturas do ar – Tar (A), temperaturas da solução nutritiva (TSN) no interior do canal hidropônico no sistema DFT usando água salobra (CEa 5,3 dS m⁻¹) e recirculação da SN a cada 0,25 h (B) e com água doce (CEa 0,3 dS m⁻¹) e recirculação da SN a cada 4 h (C), Tar e TSN no interior do canal no sistema DFT usando água doce e recirculação da SN a cada 4 h (D).



A oscilação da Tar influenciou a TSN medida no canal hidropônico no sistema DFT. Na condição de cultivo da alface com água salobra (CEa 5,3 dS m⁻¹) e recirculação da SN a cada 0,25 h (Figura 2B), a TSN média foi de 27,84°C, com mínimas variando entre 21,34 e 24,19°C e máximas entre 34,99 e 41,33°C. A maior amplitude diária de TSN ao longo do ciclo foi de 17,96°C aos 24 DAT (Figura 2B), corroborando com a maior Tar nesse dia (Figura 2A). Avaliando a oscilação da TSN sob condição com água doce (CEa 0,3 dS m⁻¹) e recirculação da SN a cada 4 h, observa-se maiores amplitudes térmicas, uma delas na de ordem de 26,6°C foi registrada aos 15 DAT (Figura 2C), dia, no qual observou-se uma amplitude de 11,04°C na Tar (Figura 2A).

A TSN é de grande relevância no cultivo hidropônico, principalmente nas épocas mais quentes, podendo superar consideravelmente a faixa ótima requerida para o crescimento das plantas (CORTELLA et al., 2014). Em geral, TSN na faixa de 20 a

25°C são consideradas adequadas para as plantas de alface manterem seu crescimento (MONTROYA et al., 2017). As altas TSN podem comprometer as funções fisiológicas das plantas, tais como aquelas que envolvem formação de clorofila e processos fotossintéticos (NXAWE; NDAKIDEMI; LAUBSCHER, 2011) e, conseqüentemente, o rendimento de fitomassa (SAKAMOTO; SUZUKI, 2015). Em outros estudos com alface em condições hidropônicas, registram-se em média, TSN acima de 30°C (SANTOS et al., 2011; COMETTI et al., 2013; SILVA et al., 2018a).

Observando as Tar e TSN médias nos horários entre 8 e 19 h, no período entre 17 e 21 DAT (Figura 2D), nota-se que nos horários entre 10 e 19 h, as TSN no interior do canal de cultivo no sistema DFT foram superiores às Tar. As TSN máximas no interior do canal ocorreram nos horários entre 14 e 16 h da tarde, com amplitude diária da ordem de 1,94°C nesse período (entre 17 e 21 DAT), na condição de cultivo com água salobra e frequência de 0,25 h

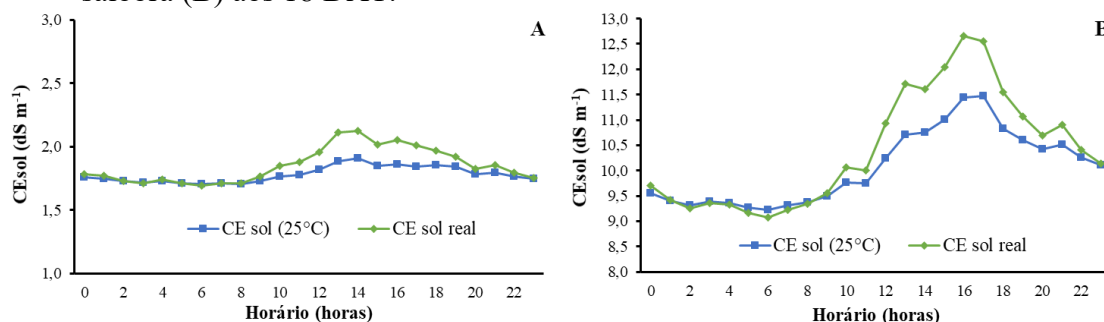
(Figura 2D); já na condição com o uso de água doce e frequência 4 h, a diferença foi de 10,03°C, o que é atribuído à menor renovação de calor quando a recirculação da SN é menos frequente, pois conforme Schmidt et al. (2017), com o aumento da Tar, a temperatura dos canais de cultivo se eleva e parte do calor é difundida para a SN.

Essa interação das Tar e TSN está intimamente relacionada com o material constituinte do canal de cultivo, qual seja, tubo de PVC. Mattos et al. (2001), ao avaliarem o tipo de material de cobertura de bancadas de sistemas hidropônicos, verificaram que o PVC descoberto proporcionou a maior TSN no interior do canal de cultivo, quando comparado com os canais de PVC cobertos por materiais de filmes de polietileno-alumínio-polietileno-papel-polietileno e lona dupla face. Ainda

conforme os autores, o regime térmico no ambiente das raízes pode afetar a absorção da água e dos nutrientes, bem como o crescimento do sistema radicular e da parte aérea das plantas.

A condutividade elétrica da solução nutritiva (CESol) ao longo do mesmo dia aumentou à medida que a solução se aquecia (Figuras 3A e 3B). Assim como a máxima TSN, a máxima CESol no interior do canal hidropônico no sistema DFT ocorreu entre 14 e 16 h da tarde. Esse comportamento foi verificado independentemente da compensação do efeito da temperatura na medida da CESol, ou seja, ocorreu tanto para CESol padronizada à 25°C quanto para CESol_{real}. Usualmente, a CESol_{real} foi quase sempre superior à CESol(25°C), o que é explicado pela TSN estar quase sempre acima dos 25°C.

Figura 3. Condutividade elétrica da solução nutritiva padronizada à 25°C (CESol_(25°C)) e real sem compensação de temperatura (CESol_{real}), no sistema hidropônico DFT, sob intervalo de recirculação a cada 4 h nas condições de cultivo com águas doce (A) e salobra (B) aos 18 DAT.



Se por um lado, a CESol à 25°C é uma importante parametrização para fins de estabelecimento de tratamentos e comparação de resultados entre pesquisas (BERNERT et al., 2015; VISCONTI; PAZ, 2016), por outro, não se pode esquecer que a cultura responde à realidade da rizosfera, que no presente estudo foi a interação não programada do fator CE com o fator não controlado: temperatura. Essa é uma das razões da expectativa de se ter uma menor depreciação de culturas submetidas à condição salina quando se está sob clima

mais ameno, o que é previsto por diferentes autores (ANDRIOLO et al., 2008; SILVA et al., 2017b). A relação CESol x temperatura precisa ser considerada principalmente sob clima mais quente (como no Semiárido do Brasil), quando se atua com menores frequências de recirculação da SN e quando se trabalha com materiais de pouco isolamento térmico (como o PVC).

Observa-se que a CESol_(25°C) não foi constante ao longo do dia (Figuras 3A e 3B), mesmo após a compensação da temperatura. A incorporação de sais quando a reposição

das perdas de água por evapotranspiração foi com água salobra, explica apenas parcialmente a oscilação da $CE_{sol(25^{\circ}C)}$. Isso porque para água salobra (CE_a 5,3 $dS\ m^{-1}$), também se observa aumento da $CE_{sol(25^{\circ}C)}$ nos horários mais quentes do dia (Figura 3B). A concentração de sais quando o sistema estava temporariamente desligado também explica parcialmente a oscilação da $CE_{sol(25^{\circ}C)}$. Uma explicação complementar a esse efeito é que a temperatura também proporciona mudanças na condutividade elétrica de tal forma que, conforme Steidle Neto et al. (2005), se essa aumenta, a resistência da solução à passagem de corrente diminui, resultando em acréscimo na condutividade.

A amplitude diurna da $CE_{sol_{real}}$ foi de 3,58 $dS\ m^{-1}$ para a parcela que operou com água salobra (CE_a 5,3 $dS\ m^{-1}$) e intervalo de recirculação da SN a cada 4 h (Figura 3B). Com base no valor da $CE_{sol_{real}}$ (9,42 $dS\ m^{-1}$) no início do dia (entre 0 e 1 h), quando a TSN nessa parcela foi de 25°C, a amplitude diurna da $CE_{sol_{real}}$ correspondeu a 38,02%. Essa amplitude de 3,58 $dS\ m^{-1}$ foi produzida por uma amplitude de 24,25°C na TSN. Já para a parcela que operou com água doce (CE_a 0,3 $dS\ m^{-1}$) e intervalo de recirculação da SN a cada 4 h, a amplitude diurna da $CE_{sol_{real}}$ foi de 0,43 $dS\ m^{-1}$ (Figura 3A). Com base no valor da $CE_{sol_{real}}$ (1,78 $dS\ m^{-1}$) no início do dia (entre 0 e 1 h), quando a temperatura nessa parcela foi de 25°C, a amplitude diurna da $CE_{sol_{real}}$ correspondeu a 24,27%.

Tamanha oscilação agrava os efeitos dos sais num ambiente, que diferentemente do solo ou dos substratos, é mais condicionado pelo alto calor específico da água, que pode exigir mais calor para se aquecer, mas quando aquecida conduz à maior dificuldade para resfriar. Para demonstrar o quanto é relevante a amplitude da $CE_{sol_{real}}$ pela temperatura, compara-se seu peso relativo resultante da incorporação de sais na reposição das perdas por evapotranspiração: para uma $CE_{sol_{real}}$ de

10,13 $dS\ m^{-1}$ (tratamento com frequência de 4 h e água salobra) ao final do dia (entre 23 e 24 h), quando a temperatura nessa parcela foi de 25°C, a incorporação de sais correspondeu a um acréscimo de 7,52%.

Quanto aos valores de CE_{sol} padronizados à 25°C, medidos em condutímetro de bancada, notou-se ao longo do estudo uma redução a partir do uso de água doce (CE_a 0,3 $dS\ m^{-1}$). Isso se explica pelo fato da reposição da evapotranspiração com água doce não incorporar íons à solução na mesma taxa de sua absorção, estando de acordo com outros relatos em condições hidropônicas utilizando-se a mesma estratégia (SILVA et al., 2018a; MARTINS et al., 2019; SILVA JÚNIOR et al., 2019a; SOARES et al., 2019).

Por outro lado, a CE_{sol} produzida com água salobra (CE_a 5,3 $dS\ m^{-1}$) aumentou progressivamente, o que se explica devido à reposição da evapotranspiração com esta água incorporar mais íons tóxicos que a capacidade da planta em absorvê-los. Essa salinização progressiva é inerente à reposição de água salobra em sistemas fechados de recirculação da SN. Nesse mesmo cenário, a condição osmótica para a cultura torna-se ainda mais agravada pelo aumento diurno da temperatura da solução, em resposta ao aumento da temperatura do ar.

5.2 Oxigênio dissolvido na solução nutritiva

As concentrações de oxigênio dissolvido (OD) na SN (0,25 h antes da nova frequência de recirculação), não diferenciaram significativamente entre os tratamentos no sistema hidropônico DFT, com média de 6,51 $mg\ L^{-1}$. Isso contrariou a expectativa para um efeito prejudicial da baixa frequência de recirculação sobre a disponibilidade de OD. Goto et al. (1996) concluíram que até o nível mínimo de oxigênio dissolvido de 2,1 $mg\ L^{-1}$ não foram

observados danos nas raízes, nem atraso de crescimento da parte aérea de plantas de alface. A ausência de efeito pode se explicar pelo horário de medição (9 às 10 h) que não coincidiu com os picos de temperatura.

Conesa et al. (2015) avaliaram a alface em três diferentes níveis de aeração/recirculação da SN (nenhuma, pouca e alta recirculação) em sistema hidropônico *floating* e observaram que os diferentes níveis de aeração foram fatores decisivos na quantidade de OD na SN. Os autores também observaram que no verão o aumento da temperatura provocou um maior efeito na diminuição do OD, quando comparado ao nível de OD nos tratamentos realizados durante o outono e inverno. Os valores médios registrados para OD durante o ciclo no verão foram de 6,9; 5,4 e 3,3 mg L⁻¹, para os tratamentos de alta, baixa e nenhuma recirculação, respectivamente.

De fato, a temperatura é um dos fatores mais determinantes na disponibilidade de OD na SN nos cultivos hidropônicos (TESI; LENZI; LOMBARDI, 2003a; QIN et al., 2007; LENZI; BALDI; TESI, 2011), pois a estreita relação entre elas é inversa, de forma que o oxigênio dissolvido diminui conforme a temperatura aumenta (BONACHELA et al., 2010; SIKAWA; YAKUPITIYAGE, 2010; SILVA et al., 2020bc). Em contraste a essa assertiva, no estudo desenvolvido por Bremenkamp et al. (2012) com alface em hidroponia NFT sob diferentes temperaturas

da SN (24, 26, 28, 30 e 32°C), as concentrações de OD não se alteraram significativamente, com valores de 7,5; 7,4; 7,5; 7,6 e 7,4 mg L⁻¹, respectivamente.

5.3 Qualidade da alface produzida

Quanto à tonalidade do verde foliar das alfaces produzidas (Figuras 4, 5 e 6), visualmente não houve diferença, independentemente do sistema hidropônico de cultivo, da salinidade e dos intervalos de recirculação da SN. Também, não foram detectados sintomas depreciativos que pudessem ser atribuídos à salinidade ou à frequência de recirculação, tais como a murcha, clorose e necrose das folhas, o que poderia impedir ou dificultar a comercialização das alfaces. A aparência das plantas produzidas sob estresse salino é uma característica importante para aquisição do produto, como relatado por Viana et al. (2018), que concluíram que os consumidores da alface fresca compram o produto em função da aparência e da qualidade textural e provavelmente deverão repetir sua compra em função da satisfação com o sabor. Kim et al. (2008) verificaram coloração verde mais intensa nas plantas de alface submetidas aos maiores níveis de salinidade, enquanto Ünlükara et al. (2008) reportaram que o aumento da salinidade da água de irrigação não afetou o sabor da alface, embora tenha aumentado o teor de Na⁺ nas folhas.

Figura 4. Alface cv. 'Robusta' cultivada no sistema NFT (primeira à esquerda) e no sistema DFT sob intervalos de recirculações das soluções nutritivas de 0,25 h (segunda à esquerda), 2 h (segunda à direita) e 4 h (primeira à direita), quando submetidas à água salobra aos 21 dias após o transplante.



Figura 5. Alface cv. ‘Gloriosa’ cultivada no sistema NFT (primeira à esquerda) e no sistema DFT sob intervalos de recirculações das soluções nutritivas de 0,25 h (segunda à esquerda), 2 h (segunda à direita) e 4 h (primeira à direita), quando submetidas à água salobra aos 28 dias após o transplantio.



Figura 6. Alface cv. ‘Tainá’ cultivada no sistema NFT (primeira à esquerda) e no sistema DFT sob intervalos de recirculações das soluções nutritivas de 0,25 h (segunda à esquerda), 2 h (segunda à direita) e 4 h (primeira à direita), quando submetidas à água salobra aos 28 dias após o transplantio.



Ainda no presente estudo, verificou-se que a queima das bordas foliares (tipburn), sintoma comumente encontrado em plantas de alface (relacionado com a deficiência de cálcio), ocorreu em todos os tratamentos, em plantas aleatórias, não havendo dessa forma relação com os tratamentos impostos. Esse sintoma pode ser explicado pelo destacado crescimento das hortaliças folhosas, sem a suficiente translocação de cálcio para os tecidos mais novos, conforme relatado por Santos et al. (2010) e Silva et al. (2020a).

5.4 Crescimento e produção da alface

Para o Experimento I, houve efeito significativo dos níveis de condutividade elétrica da água (CEa) em todas as variáveis avaliadas (altura de planta – AP, número de folhas – NF, diâmetro da parte aérea – DPA e massas de matéria fresca – MFPA e seca da parte aérea – MSPA) das alfaces ‘Robusta’ (aos 21 DAT), ‘Gloriosa’ e ‘Tainá’ (aos 21 e 28 DAT) (Tabela 1). Quanto aos sistemas hidropônicos de cultivo, houve efeito significativo sobre o NF aos 21 e 28 DAT e sobre a MFPA aos 21 DAT da alface ‘Tainá’. Apenas aos 21 DAT, houve interação significativa entre CEa e sistemas hidropônicos para a MFPA da alface ‘Tainá’ (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo do teste F da análise de variância para altura de planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro da parte aérea (DPA) e massas de matéria fresca (MFPA) e seca da parte aérea (MSPA) das alfaces ‘Robusta’, ‘Gloriosa’ e ‘Tainá’ cultivadas em dois diferentes sistemas hidropônicos (SH) e submetidas a dois níveis de condutividade elétrica da água (CEa).

FV	Dias após o transplântio (DAT)											
	21		28		21		28		21		28	
	AP		NF		DPA		MFPA		MSPA			
cv. ‘Robusta’												
Blocos	ns		ns		ns		*		ns			
CEa	**		*		**		**		**			
SH	ns		ns		ns		ns		ns			
CEa x SH	ns		ns		ns		ns		ns			
CV (%)	8,28		14,99		5,70		18,28		21,11			
cv. ‘Gloriosa’												
Blocos	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	**		
CEa	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**		
SH	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
CEa x SH	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
CV (%)	7,61	11,52	12,28	10,68	7,30	5,32	26,15	16,31	21,64	8,95		
cv. ‘Tainá’												
Blocos	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
CEa	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**		
SH	ns	ns	**	*	ns	ns	*	ns	ns	ns		
CEa x SH	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
CV (%)	8,55	20,59	8,02	9,54	9,21	7,72	18,16	18,23	19,25	15,82		

FV - fonte de variação; ** e * significativo em nível de 0,01 e 0,05 de probabilidade, respectivamente, e ns - não significativo pelo teste F; CV - coeficiente de variação.

Para o Experimento II, as variáveis AP, NF, DPA, MFPA e MSPA das três cultivares de alface também foram influenciadas significativamente pelos níveis de CEa (Tabela 2). Quanto aos intervalos de recirculação da solução nutritiva, estes influenciaram

significativamente a MFPA da alface ‘Robusta’ aos 21 DAT e as variáveis AP, DC e MSPA da alface ‘Tainá’ aos 28 DAT. As variáveis da alface ‘Gloriosa’ não sofreram mudanças significativas em função dos intervalos de recirculação (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo do teste F da análise de variância para altura de planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro da parte aérea (DPA) e massas de matéria fresca (MFPA) e seca da parte aérea (MSPA) das alfaces ‘Robusta’, ‘Gloriosa’ e ‘Tainá’ submetidas a dois níveis de condutividade elétrica da água (CEa) e diferentes intervalos de recirculação da solução nutritiva (IRSN) no sistema hidropônico DFT.

FV	Dias após o transplântio (DAT)											
	21		28		21		28		21		28	
	AP		NF		DPA		MFPA		MSPA			
cv. ‘Robusta’												
Blocos	ns		ns		ns		ns		ns			
CEa	**		**		**		**		**			
IRSN	ns		ns		ns		*		ns			
CEa x IRSN	ns		ns		ns		ns		ns			
CV (%)	7,35		13,02		7,25		21,05		16,58			
cv. ‘Gloriosa’												
Blocos	**	ns	ns	ns	ns	**	ns	**	ns	*		
CEa	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**		
IRSN	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
CEa x IRSN	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
CV (%)	5,31	9,16	11,63	9,19	6,75	5,58	21,72	14,03	19,50	11,68		
cv. ‘Tainá’												
Blocos	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	*	ns	*		
CEa	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**		
IRSN	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*		
CEa x IRSN	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
CV (%)	8,65	8,55	10,01	9,68	8,91	7,43	21,84	20,09	18,77	15,14		

FV - fonte de variação; ** e * significativo em nível de 0,01 e 0,05 de probabilidade, respectivamente, e ns - não significativo pelo teste F; CV - coeficiente de variação.

A produção comercializável (com base na massa fresca da parte aérea) alcançada nas três cultivares avaliadas foi dentro do esperado. Tomando como base o tratamento controle sob CEa de 0,3 dS m⁻¹, aos 21 DAT, as médias de MFPA para alface ‘Robusta’ foram de 189,31 e 158,20 g

planta⁻¹ para os experimentos I (Tabela 3) e II (Tabela 4), respectivamente. No Experimento I, aos 21 e 28 DAT, as médias de MFPA foram respectivamente: 213,75 e 455,80 g planta⁻¹ para a alface ‘Gloriosa’ e 195,12 e 368,57 g planta⁻¹ para a alface ‘Tainá’ (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios de altura de planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro da parte aérea (DPA) e massas de matéria fresca (MFPA) e seca da parte aérea (MSPA) das alfaces ‘Robusta’, ‘Gloriosa’ e ‘Tainá’ cultivadas em dois diferentes sistemas hidropônicos (SH) e submetidas a dois níveis de condutividade elétrica da água (CEa em dS m^{-1}).

	Dias após o transplântio (DAT)											
	21		28		21		28		21		28	
	AP (cm)		NF		DPA (cm)		MFPA (g)		MSPA (g)			
CEa	cv. ‘Robusta’											
0,3	25,8a		21,9a		40,6a		189,3a		8,5a			
5,3	19,5b		18,1b		31,3b		105,0b		5,7b			
SH												
NFT	22,6a		19,7a		36,5a		155,6a		7,0a			
DFT	22,5a		20,3a		35,4a		138,8a		7,2a			
CEa	cv. ‘Gloriosa’											
0,3	26,8a	32,2a	17,0a	26,1a	40,6a	46,8a	213,8a	455,8a	10,5a	15,7a		
5,3	20,7b	27,2b	13,4b	20,6b	30,9b	35,8b	114,9b	243,7b	6,2b	9,8b		
SH												
NFT	24,0a	30,1a	15,2a	24,1a	36,5a	42,0a	171,0a	355,3a	8,2a	12,9a		
DFT	23,5a	29,3a	15,2a	22,6a	35,0a	40,6a	157,6a	344,3a	8,5a	12,6a		
CEa	cv. ‘Tainá’											
0,3	23,7a	30,2a	13,2a	21,3a	38,1a	45,0a	169,1a	368,6a	7,9a	13,2a		
5,3	17,7b	21,6b	9,6b	15,0b	27,7b	30,7b	67,0b	165,1b	4,3b	8,8b		
SH												
NFT	20,9a	26,1a	12,0a	19,1a	33,6a	38,4a	129,2a	285,7a	6,4a	10,8a		
DFT	20,5a	25,7a	10,7b	17,1b	32,3a	37,3a	106,9b	247,9a	5,8a	11,2a		

Nas colunas médias com as mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 0,05 de probabilidade.

Para o Experimento II (Tabela 4), aos 21 e 28 DAT, as médias de MFPA foram respectivamente 209,92 e 452,54 g planta^{-1} para a alface ‘Gloriosa’ e 141,74 e 318,43 g planta^{-1} para a alface ‘Tainá’. No estudo desenvolvido por Ludke et al. (2009) com alface cultivada em solo (com a aplicação de composto orgânico em cobertura) e plantas colhidas aos 76 DAS (dias após a semeadura), registrou-se produção de 426,9 g planta^{-1} para a alface ‘Gloriosa’; já para a alface ‘Tainá’, a produção foi de 430 g planta^{-1} , valor este superior em mais de 100 g ao observado no presente trabalho para o Experimento II (Tabela 4). Essa diferença pode estar relacionada à menor adaptação da

alface ‘Tainá’ às condições climáticas locais durante o presente experimento. Todavia, deve-se considerar também a diferença nas idades das plantas nessa comparação. A alface ‘Tainá’ apresentou maior desenvolvimento ao final do experimento, podendo sua colheita antecipada, aos 28 DAT ou 50 DAS, ter prejudicado sua terminação. A alface ‘Tainá’ é indicada para o verão e tem ciclo médio de 75 DAS (SAKATA, 2019). A definição do período de colheita das alfaces americanas no presente estudo foi baseada na alface ‘Gloriosa’, que aos 50 DAS já apresentava padrão comercial.

Tabela 4. Valores médios de altura de planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro da parte aérea (DPA) e massas de matéria fresca (MFPA) e seca da parte aérea (MSPA) das alfaces ‘Robusta’, ‘Gloriosa’ e ‘Tainá’ submetidas a dois níveis condutividade elétrica da água (CEa em dS m^{-1}) e diferentes intervalos de recirculação da solução nutritiva (IRSN em h), no sistema hidropônico DFT.

	Dias após o transplântio (DAT)											
	21		28		21		28		21		28	
	AP (cm)		NF		DC (cm)		MFPA (g)		MSPA (g)			
cv. ‘Robusta’												
CEa												
0,3	25a		21a		38,3a		158,2a		8,5a			
5,3	19b		17b		29,8b		81,1b		4,9b			
IRSN												
0,25	23a		20a		35,4a		138,8a		7,2a			
2	22a		19a		33,6a		112,3ab		6,4a			
4	21a		18a		33,2a		107,8b		6,6a			
cv. ‘Gloriosa’												
Cea	26a	32,6a	18a	26,9a	39,1a	45,8a	209,9a	452,5a	10,7a	15,4a		
5,3	20b	24,1b	13b	19,7b	29,1b	33,5b	100,3b	198,8b	5,8b	9,3b		
IRSN	24a	29,3a	15a	24,1a	35,0a	40,6a	157,6a	344,3a	8,5a	12,6a		
2	24a	28,2a	15a	23,2a	34,1a	39,6a	158,9a	326,2a	8,4a	12,3a		
4	23a	27,4a	15a	22,7a	33,4a	38,7a	148,9a	306,5a	7,9a	12,2a		
cv. ‘Tainá’												
CEa	23a	28,9a	12a	18,9a	36,4a	42,0a	141,7a	318,4a	7,1a	12,3a		
5,3	18b	20,7b	9b	14,6b	28,0b	29,7b	63,9b	142,1b	3,8b	8,1b		
IRSN	21a	25,7a	11a	17,1a	32,3a	37,3a	106,9a	247,9a	5,8a	11,2a		
2	21a	24,8a	11a	17,0a	33,2a	36,0ab	111,4a	239,9a	5,7a	10,1ab		
4	20a	23,9a	10a	16,1a	31,1a	34,3b	90,2a	203,0a	4,9a	9,3b		

Nas colunas médias com as mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

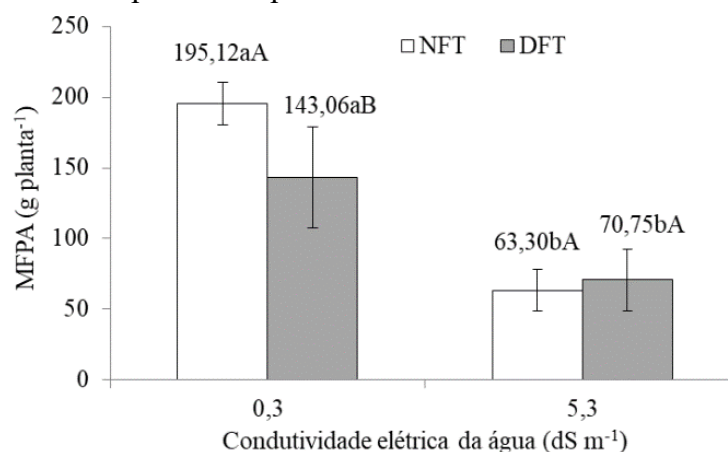
Em condições hidropônicas no sistema NFT, Soares et al. (2015) registraram produção de MFPA da alface ‘Tainá’ da ordem de $383,35 \text{ g planta}^{-1}$ aos 21 DAT, sob tratamento controle (CEa $0,2 \text{ dS m}^{-1}$) durante a estação de inverno. Para essa mesma cultivar de alface, Maia (2019) reportou produção de MFPA comercial da ordem de $280,83 \text{ g planta}^{-1}$ aos 33 DAT (50 DAS). Tais resultados reforçam que as variações nas produções das cultivares de uma mesma espécie vegetal de um local para outro são altamente dependentes das condições climáticas, como também do manejo e/ou da formulação da solução nutritiva.

No Experimento I, ao se avaliar o efeito isolado dos sistemas hidropônicos apenas para o NF da alface ‘Tainá’, as maiores médias foram obtidas no sistema NFT, da ordem de 12,00 e 19,14 folhas aos 21 e 28 DAT, respectivamente (Tabela 3). No sistema DFT as médias foram aproximadamente 11% menores quando comparadas ao sistema NFT. Esse maior NF obtido no sistema NFT aos 21 DAT, também se concretizou em maior produção de MFPA na condição de cultivo com água doce (CEa $0,3 \text{ dS m}^{-1}$), obtendo-se MFPA da ordem de $195,12 \text{ g planta}^{-1}$, contra $143,06 \text{ g planta}^{-1}$ no sistema DFT (Figura 7). Tais resultados mostram que nessa fase de cultivo (21

DAT), a alface ‘Tainá’ foi mais sensível à inundação constante das raízes na solução nutritiva; posteriormente, as plantas mantiveram padrão de crescimento

superiores àquelas produzidas no sistema NFT, o que tornou insignificante a diferença entre os sistemas hidropônicos aos 28 DAT.

Figura 7. Desdobramento da interação entre a condutividade elétrica da água (CEa) e sistemas hidropônicos (Experimento I) para massa de matéria fresca da parte aérea da alface ‘Tainá’ aos 21 dias após o transplantio.



Letras minúsculas comparam-se as médias dos níveis de CEa dentro de cada sistema hidropônico e letras maiúsculas comparam-se as médias dos sistemas hidropônicos dentro de cada nível de CEa pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. As barras verticais indicam os desvios-padrão das médias.

A ausência de diferença significativa para a maioria das variáveis avaliadas das três cultivares de alface em função dos sistemas hidropônicos mostra que é viável tecnicamente o cultivo dessa hortaliça no sistema DFT adaptado em tubos. Como vantagem nesse sistema, Silva et al. (2016b) e Silva et al. (2018a) reportam o fato das raízes das plantas permanecerem continuamente imersas na solução nutritiva. Assim, por essa perspectiva, o sistema DFT pode ser atrativo e recomendado, visto que em situações de falhas mecânicas ou ausência temporária de eletricidade, a chance de perda da produção por estresse hídrico é menor que no sistema NFT, no qual a declividade dos canais drena a solução nutritiva naturalmente para o reservatório.

Em outros estudos, o sistema DFT em tubos tem-se mostrado viável para o cultivo de várias espécies de plantas, como coentro (SANTOS JÚNIOR et al., 2015; SILVA et al., 2016ab; SILVA et al., 2018a; SILVA et al., 2020b), manjeriço

(GONDIM FILHO et al., 2018; ALVES et al., 2019a; SANTOS et al., 2019; SILVA et al., 2019), rúcula (CAMPOS JÚNIOR et al., 2018), chicória (ALVES et al., 2019b; SILVA et al., 2020a), salsa (MARTINS et al., 2019) e cebolinha (SILVA JÚNIOR et al., 2019a, 2019b; SOUZA et al., 2020).

Os resultados do presente estudo tornam-se ainda mais relevantes quando se avalia apenas o cultivo da alface no sistema DFT (Experimento II). Nesse caso, verificou-se que não houve efeito significativo dos intervalos de recirculações das soluções nutritivas na variável de maior interesse econômico ou comercializável (MFPA), isso para as alfaces ‘Gloriosa’ e ‘Tainá’. As produções médias de MFPA foram de 155,12 e 325,66 g planta⁻¹ (cv. ‘Gloriosa’) e 102,83 e 230,26 g planta⁻¹ (cv. ‘Tainá’) aos 21 e 28 DAT, respectivamente (Tabela 4). Tais resultados são de grande importância econômica, pois podem possibilitar ao agricultor uma ampliação entre os eventos de recirculação da solução

nutritiva, tendo como vantagem o menor consumo de eletricidade e menor risco de perda ou redução do crescimento das plantas, decorrente da falta de energia elétrica em períodos de até 4 h.

Já para a alface 'Robusta', os intervalos entre recirculações exerceram efeito significativo na MFPA aos 21 DAT, com produção máxima de 138,79 g planta⁻¹ sob o intervalo de 0,25 h, enquanto sob o maior intervalo entre recirculações (a cada 4 h), a MFPA foi menor (107,84 g planta⁻¹), o que correspondeu a uma redução percentual da ordem de 22,30% (Tabela 4). Esse efeito prejudicial do maior intervalo entre recirculações pode ser advindo da ausência ou baixa disponibilidade de oxigênio dissolvido, provocado pelo aumento do volume das raízes no canal de cultivo e/ou aumento da temperatura no horário entre as 11 e 18 h (Figura 2D). Com esses resultados, pode-se delinear que a alface 'Robusta' foi mais sensível ao aumento dos intervalos entre recirculações das soluções nutritivas.

Para alface 'Tainá' aos 28 DAT, os maiores valores médios de DC (37,31 cm) e MSPA (11,22 g planta⁻¹) também foram registrados sob menor intervalo entre recirculações (0,25 h). Sob maior intervalo entre recirculações de 4 h, os valores de DC e MSPA foram menores em 8,12 e 16,85%, respectivamente, em relação aos obtidos sob intervalo de 0,25 h (Tabela 4).

No estudo desenvolvido por Tesi; Lenzi e Lombardi (2003b), com alface em sistema hidropônico DFT e diferentes frequências de recirculação, observou-se que a deficiência de oxigênio (solução nutritiva não aerada) causou uma redução significativa na massa fresca da cabeça e das raízes, massa seca da cabeça e diâmetro da cabeça. Segundo Tesi, Lenzi e Lombardi (2003a), o teor de oxigênio dissolvido tende a diminuir com o aumento da temperatura da água.

A hipoxia é uma preocupação no sistema DFT, pois de acordo com Navarro (2013), plantas que crescem nesse sistema

podem ter problemas com falta ou insuficiência de oxigênio dissolvido adequado para o seu desenvolvimento, isso devido ao consumo gradual do oxigênio dissolvido na solução nutritiva; ainda relatam que a falta de oxigênio reduz a permeabilidade das raízes à água e que pode ocorrer acumulação de toxinas; em consequência, quando em condições de estresse, os sais (íons) nutrientes não podem ser absorvidos em quantidades suficientes. Tesi et al. (2003b) abordam que a falta de oxigênio reduz a absorção de água e de minerais por parte da planta, com repercussões no crescimento aéreo e radicular, levando à queda no rendimento final.

No solo ou em substrato, a demanda de oxigênio pela cultura é atendida no espaço poroso, desde que o substrato esteja com umidade e drenagem adequada (DHUNGEL; BHATTARAI; MIDMORE, 2012). Por outro lado, em sistemas circulantes, o oxigênio é suprido parcialmente pela simples movimentação da solução nutritiva. Destaca-se que sem uma adequada quantidade de oxigênio disponível ao sistema radicular a planta não cresce (LEE et al., 2014; BLOK et al., 2017), podendo ocorrer, em níveis insuficientes, a morte prematura de tecidos radiculares e/ou a morte da planta.

Atualmente, há o entendimento de que a simples recirculação não garante a oxigenação da solução nutritiva. Ou seja, fazer a solução fluir pelo sistema hidráulico e pelas calhas de cultivo e mesmo criar sua eventual aeração ao cair no reservatório, pode produzir uma oxigenação insuficiente. A ausência do efeito da frequência de recirculação sobre o oxigênio dissolvido no presente estudo deve ser tomada com ressalva, pois só foi realizada uma única medida, sendo essa conduzida entre 9 e 10 h, período em que a temperatura da solução ainda não estava muito elevada.

Em estudos anteriores similares, desenvolvidos em sistema DFT em tubos,

Silva et al. (2016b) e Silva et al. (2018a) não registraram diferença significativa na produção de coentro quando as recirculações da solução nutritiva nos canais de cultivo foram realizadas até 8 e 2 h, em relação às recirculações a cada 0,25 h. A ampliação dos intervalos entre recirculações é muito dependente da época do ano em função das variações de temperaturas. Por exemplo, Silva Júnior et al. (2019b) registraram reduções na produção de cebolinha de aproximadamente 17 e 4% no verão e outono, respectivamente, quando as recirculações foram realizadas a cada 12 h, em relação àquelas a cada 8 h, na condição de cultivo sob CEsol de 1,5 dS m⁻¹.

Aos 21 DAT, fazendo-se um comparativo entre as três cultivares de alface, em geral, na condição de estresse salino, as reduções percentuais para AP foram próximas. Para o NF e DPA as reduções se assemelharam com aquelas obtidas para AP, principalmente para as alfaces ‘Gloriosa’ (Experimento I) e ‘Tainá’ (Experimentos I e II). Já as menores reduções no NF foram observadas para alface ‘Robusta’. Aos 28 DAT, as reduções no NF e DPA da alface ‘Gloriosa’ (Experimentos I e II) se mantiveram no mesmo patamar daquelas obtidas sete dias antes (aos 21 DAT), enquanto, para alface ‘Tainá’ houve um aumento, principalmente no DPA.

Tais resultados encontrados no presente estudo, mostram que as cultivares de alface responderam de maneira diferenciada ao estresse salino. Conforme reportado na literatura, as respostas das plantas ao estresse salino são variáveis entre as espécies/cultivares, entre os diferentes órgãos e fases de crescimento, duração de exposição aos sais (DIAS et al., 2011; ABBAS et al., 2015; KALHOR et al., 2018), do tipo e das concentrações de sais que as plantas são submetidas (AHMADI; SOURI, 2018), além de fatores ambientais, como temperatura, umidade relativa e intensidade

luminosa (HASANUZZAMAN; NAHAR; FUJITA, 2013).

De uma forma geral, as maiores reduções sob estresse salino ocorreram na MFPA, variável essa de maior interesse comercial, o que corrobora com outros estudos (FERNANDES et al., 2018; SILVA et al., 2018b; GUIMARÃES et al., 2020). Nesse caso, além da redução na emissão de novas folhas, observaram-se menores áreas foliares (não medidas), quando comparadas com aquelas obtidas na condição sem estresse salino.

Comparando-se outros estudos com salinidade próxima a utilizada no presente trabalho, não houve diferença na MFPA, quando a solução nutritiva foi preparada sem (0 mM) e com (50 mM) NaCl, em hidroponia NFT por um período de 50 DAT de cultivo da alface ‘Paris Islands Cos’ (AL-MASKRI et al., 2010); e sob CEsol de 5,4 dS m⁻¹ em relação ao controle (CEsol 2,5 dS m⁻¹), no cultivo da alface ‘Lollo Rossa’ em hidroponia DFT (BORGHESI et al., 2013).

Mesmo com a redução na produção da MFPA da alface, a hidroponia tem favorecido o uso de águas salobras (muito em função da sua precocidade), pois o efeito dos sais se torna menos prejudicial às plantas, como apontam vários trabalhos para a cultura em estudo (SAKAMOTO; KOGI; YANAGISAWA, 2014; BARTHA et al., 2015; SOARES et al., 2015; GUIMARÃES et al., 2017; NIU et al., 2018; SILVA et al., 2018a).

Quando se dispõe apenas de água salobra com CEa de até 5,3 dS m⁻¹ para o cultivo, pode ser estratégico colher as plantas mais tardiamente. Por exemplo, tomando as produções das cultivares ‘Gloriosa’ e ‘Tainá’, para as quais foi possível a realização de duas colheitas, as MFPA obtidas sob estresse salino aos 28 DAT se equiparam com as produções obtidas sete dias antes (aos 21 DAT) na condição sem estresse salino (CEa 0,3 dS m⁻¹). Logo, é possível utilizar essas águas na produção como uma alternativa para os

produtores com restrição de água doce, mesmo com redução na produtividade, deixando a água de boa qualidade para outras finalidades mais exigentes.

6 CONCLUSÕES

A temperatura da solução nutritiva aumentou à medida que aumentou o intervalo entre recirculações das soluções nutritivas no sistema DFT, adaptado em tubos de PVC.

O aumento da temperatura da solução nutritiva aumentou a condutividade elétrica da solução nutritiva nos horários entre 13 e 16 horas.

O uso de água doce com condutividade elétrica (CEa) de 0,3 dS m⁻¹ promoveu maior crescimento e produção das três cultivares de alface ('Gloriosa', 'Robusta' e 'Tainá'). Apesar das reduções no porte das plantas utilizando-se água salobra (CEa 5,3 dS m⁻¹), não houve

depreciação da qualidade visual do produto para comercialização.

Com base na massa fresca da parte aérea (variável de interesse comercial) da alface, foi tecnicamente viável adotar um intervalo entre recirculações da solução nutritiva de até 4 h em sistema hidropônico DFT em tubos, para as cultivares do grupo americana ('Gloriosa' e 'Tainá'). Já para alface do grupo crespa ('Robusta') foi viável tecnicamente adotar intervalos de até 2 h para recirculações da solução nutritiva.

7 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade (INCTSal) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

8 REFERÊNCIAS

- ABBAS, T.; BALAL, R. M.; SHAHID, M. A.; PERVEZ, M. A.; AYYUB, C. M.; AQUEEL, M. A.; JAVAID, M. M. Silicon-induced alleviation of NaCl toxicity in okra (*Abelmoschus esculentus*) is associated with enhanced photosynthesis, osmoprotectants and antioxidant metabolism. **Acta Physiologiae Plantarum**, Kraków, v. 37, n. 2, p. 1-15, 2015.
- AHMADI, M.; SOURI, M. K. Growth and mineral content of coriander (*Coriandrum sativum* L.) plants under mild salinity with different salts. **Acta Physiologiae Plantarum**, Kraków, v. 40, n. 11, p. 1-8, 2018.
- AL-MASKRI, A.; AL-KHARUSI, L.; AL-MIQBALI, H.; KHAN, M. M. Effects of salinity stress on growth of lettuce (*Lactuca sativa*) under closed-recycle nutrient film technique. **International Journal of Agriculture and Biology**, Faisalabad, v. 12, n. 3, p. 377-380, 2010.
- ALVES, L. S.; GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; SANTOS, A. N.; SILVA, M. G.; BANDEIRA, S. S. Cultivo de manjericão utilizando efluente doméstico tratado em sistemas hidropônicos sob diferentes espaçamentos entre plantas. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 3, p. 460-472, 2019a.
- ALVES, L. S.; SILVA, M. G.; GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; SOARES, T. M.; RAFAEL, M. R. S. Uso de águas salobras no cultivo da chicória em condições hidropônicas. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 4, p. 758-769, 2019b.

ANDREAU, R.; GIMÉNEZ, D. O.; BELTRANO, J. Soluciones nutritivas I. In: BELTRANO, J.; GIMENEZ, D. O. (ed.). **Cultivo en hidroponía**. 1. ed. adaptada. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2015. p. 73-90.

ANDRIOLO, J. L.; MADALÓZ, J. C. C.; GODOI, R. S.; JANISCH, D. I.; BARROS, C. A. P. Tolerance to salinity of chicory plants grown in hydroponics. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1142-1144, 2008.

AQUINO, C. F.; SILVA, H. P.; NEVES, J. M. G.; COSTA, C. A.; AQUINO, F. F.; COSTA, C. P. M. Desempenho de cultivares de alface sob cultivo hidropônico nas condições do Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 3, p. 1382-1388, 2017.

ARAÚJO, T. S.; FIDELES FILHO, J.; KUMAR, K. K.; RAO, T. V. R. Crescimento da alface-americana em função dos ambientes, épocas e graus-dias. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 4, p. 441-449, 2010.

ASHRAF, M.; SHAHZAD, S. M.; IMTIAZ, M.; RIZWAN, M. S.; ARIF, M. S.; KAUSAR, R. Nitrogen nutrition and adaptation of glycophytes to saline environment: a review. **Archives of Agronomy and Soil Science**, London, v. 64, n. 9, p. 1181-1206, 2018.

AZEVEDO NETO, A. D.; MOTA, K. N. A. B.; SILVA, P. C. C.; COVA, A. M. W.; RIBAS, R. F.; GHEYI, H. R. Selection of sunflower genotypes for salt stress and mechanisms of salt tolerance in contrasting genotypes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 44, p. e020120, 2020.

BARTHA, C.; FODORPATAKI, L.; MARTINEZ-BALLESTA, M. C.; POPESCU, O.; CARVAJAL, M. Sodium accumulation contributes to salt stress tolerance in lettuce cultivars. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, Eisenach, v. 88, p. 42-48, 2015.

BERNERT, M. R.; ESCHEMBACK, V.; JADOSKI, S. O.; LIMA, A. S.; POTT, C. A. Características do pH e condutividade elétrica no manejo de fertirrigação. **Applied Research and Agrotechnology**, Guarapuava, v. 8, n. 1, p. 80-87, 2015.

BERNSTEIN, N.; KRAVCHIK, M.; DUDAI, N. Salinity-induced changes in essential oil, pigments and salts accumulation in sweet basil (*Ocimum basilicum*) in relation to alterations of morphological development. **Annals of Applied Biology**, Malden, v. 156, n. 2, p. 167-177, 2010.

BLOK, C.; JACKSON, B. E.; GUO, X.; VISSER, P. H. B.; MARCELIS, L. F. M. Maximum plant uptakes for water, nutrients, and oxygen are not always met by irrigation rate and distribution in water-based cultivation systems. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, p. 1-15, 2017.

BONACHELA, S.; ACUÑA, R. A.; MAGAN, J. J.; MALFA, O. Oxygen enrichment of nutrient solution of substrate-grown vegetable crops under Mediterranean greenhouse

conditions: oxygen content dynamics and crop response. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v. 8, n. 4, p. 1231-1241, 2010.

BORGHESI, E.; CARMASSI, G.; UGUCCIONI, M. C.; VERNIERI, P.; MALORGIO, F. Effects of calcium and salinity stress on quality of lettuce in soilless culture. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 36, n. 5, p. 677-690, 2013.

BREMENKAMP, D. M.; GALON, K.; HELL, L. R.; PASSOS, G.; CAZAROTI, E. P. F.; COMETTI, N. N. Efeito da temperatura da solução nutritiva no crescimento da alface (*Lactuca sativa* L.) em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 2, p. S596-S604, 2012.

CAMPOS JÚNIOR, J. E.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; MARTINS, J. B.; SILVA, E. F. F.; ALMEIDA, C. D. G. C. Rocket production in a low cost hydroponic system using brackish water. **Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 4, p. 1008-1016, 2018.

CECCARINI, C.; ANTOGNONI, F.; BIONDI, S.; FRATERNALE, A.; VERARDO, G.; GORASSINI, A.; SCOCCIANI, V. Polyphenol-enriched spelt husk extracts improve growth and stress-related biochemical parameters under moderate salt stress in maize plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 141, p. 95-104, 2019.

COMETTI, N. N.; BREMENKAMP, D. M.; GALON, K.; HELL, L. R.; ZANOTELLI, M. F. Cooling and concentration of nutrient solution in hydroponic lettuce crop. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 2, p. 287-292, 2013.

CONESA, E.; FERNÁNDEZ, J. A.; NIÑIROLA, D.; EGEA-GILABERT, C. Nutrient solution aeration and growing cycles affect quality and yield of fresh-cut baby leaf red lettuce. **Agricultural and Food Science**, Lemu, v. 24, n. 4, p. 313-322, 2015.

CORTELLA, G.; SARO, O.; ANGELIS, A.; CECCOTTI, L.; TOMASI, N.; COSTA, L. D.; MANZOCCO, L.; PINTON, R.; MIMMO, T.; CESCO, S. Temperature control of nutrient solution in floating system cultivation. **Applied Thermal Engineering**, Amsterdam, v. 73, n. 1, p. 1053-1063, 2014.

COVA, A. M. W.; FREITAS, F. T. O.; VIANA, P. C.; RAFAEL, M. R. S.; AZEVEDO NETO, A. D.; SOARES, T. M. Content of inorganic solutes in lettuce grown with brackish water in different hydroponic systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 3, p. 150-155, 2017.

DHUNGEL, J.; BHATTARAI, S. P.; MIDMORE, D. J. Aerated water irrigation (oxygation) benefits to pineapple yield, water use efficiency and crop health. **Advances in Horticultural Science**, Firenze, v. 26, n. 1, p. 3-16, 2012.

DIAMANTE, M. S.; SEABRA JÚNIOR, S.; INAGAKI, A. M.; SILVA, M. B.; DALLACORT, R. Produção e resistência ao pendoamento de alfaces tipo lisa cultivadas sob diferentes ambientes. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 133-140, 2013.

DIAS, N. S.; LIMA, F. E.; SILVA, C. R.; SOUSA NETO, O. N.; GHEYI, H. R. Use of reject brine from desalination on different development stages of hydroponic lettuce. **Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 1, p. 76-81, 2011.

FAGAN, E. B.; MEDEIROS, S. L. P.; SIMON, J.; LUZ, G. L.; BORCIONI, E.; JASNIEWICZ, L. R.; CASAROLI, D.; MANFRON, P. A. Evolução e partição de fitomassa seca do meloeiro em hidroponia. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 165-172, 2006.

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R.; MOREIRA, A. Nutrient bioavailability in salt affected soils. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 34, n. 7, p. 945-962, 2011.

FELTRIM, A. L.; CECÍLIO FILHO, A. B.; REZENDE, B. L. A.; BRANCO, R. B. F. Produção de alface-crespa em solo e em hidroponia, no inverno e verão, em Jaboticabal – SP. **Científica**, Jaboticabal, v. 37, n. 1, p. 9-15, 2009.

FERNANDES, J. M. P.; FERNANDES, A. L. M.; DIAS, N. S.; COSME, C. R.; NASCIMENTO, L. V.; QUEIROZ, I. S. R. Salinidade da solução nutritiva na produção de alface americana em sistema hidropônico NFT. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 12, n. 3, p. 2570-2578, 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999. 52 p. (Boletim Técnico, 180).

GARCÍA-CAPARRÓS, P.; LAO, M. T. The effects of salt stress on ornamental plants and integrative cultivation practices. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 240, p. 430-439, 2018.

GONDIM FILHO, H.; SILVA, P. C. C.; SILVA, M. G.; PEREIRA, M. M.; SOARES, T. M.; AZEVEDO NETO, A. D.; VASCONCELOS, R. S.; GHEYI, H. R. Growth, production and essential oil content of basil genotypes in hydroponic conditions under salt stress. **Journal of Experimental Agriculture International**, London, v. 25, n. 1, p. 1-10, 2018.

GOTO, E.; BOTH, A. J.; ALBRIGHT, L. D.; LANGHANS, R. W.; LEED, A. R. Effect of dissolved oxygen concentration on lettuce growth in floating hydroponics. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 440, p. 205-210, 1996.

GUIMARÃES, Í. T.; OLIVEIRA, F. A.; LEAL, C. C. P.; SOUZA, M. W. L.; ALVES, T. R. C. Foliar application of biofertilizer in semi-hydroponic lettuce fertigated with saline nutrient solution. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 11, p. e3115, 2020.

GUIMARÃES, R. F. B.; NASCIMENTO, R.; MELO, D. F.; RAMOS, J. G.; PEREIRA, M. O.; CARDOSO, J. A. F.; LIMA, S. C. Production of hydroponic lettuce under different salt

levels of nutritive solution. **Journal of Agricultural Science**, Richmond Hill, v. 9, n. 11, p. 242-252, 2017.

HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; FUJITA, M. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. *In*: AHMAD, P.; AZOOZ, M. M.; PRASAD, M. N. V. (ed.). **Ecophysiology and responses of plants under salt stress**. New York: Springer, 2013. p. 25-87.

HORCHANI, F.; ALOUI, A.; BROUQUISSE, R.; ASCHI-SMITI, S. Physiological responses of tomato plants (*Solanum lycopersicum*) as affected by root hypoxia. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Malden, v. 194, n. 4, p. 297-303, 2008.

HOSSAIN, H.; RAHMAN, M.; ALAM, M.; SINGH, R. Mapping of quantitative trait loci associated with reproductive stage salt tolerance in rice. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Malden, v. 201, n. 1, p. 17-31, 2015.

KALHOR, M. S.; ALINIAEIFARD, S.; SEIF, M.; ASAYESH, E. J.; BERNARD, F.; HASSANI, B.; LI, T. Enhanced salt tolerance and photosynthetic performance: Implication of γ -amino butyric acid application in salt-exposed lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 130, p. 157-172, 2018.

KIM, H. J.; FONSECA, J. M.; CHOI, J. H.; KUBOTA, C.; KWON, D. Y. Salt in irrigation water affects the nutritional and visual properties of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 56, n. 10, p. 3772-3776, 2008.

KLÄRING, H. P.; ZUDE, M. Sensing of tomato plant response to hypoxia in the root environment. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 122, n. 1, p. 17-25, 2009.

LEE, J. W.; LEE, B. S.; KANG, J. G.; BAE, J. H.; KU, Y. G.; GORINSTEIN, S.; LEE, J. H. Effect of root zone aeration on the growth and bioactivity of cucumber plants cultured in perlite substrate. **Biologia**, Cham, v. 69, n. 5, p. 610-617, 2014.

LENZI, A.; BALDI, A.; TESI, R. Growing spinach in a floating system with different volumes of aerated or non aerated nutrient solution. **Advances in Horticultural Science**, Firenze, v. 25, n. 1, p. 21-25, 2011.

LI, S.; LIU, J.; AN, Y.; CAO, Y.; LIU, Y.; ZHANG, J.; YANG, P. *MsPIP2;2*, a novel aquaporin gene from *Medicago sativa*, confers salt tolerance in transgenic *Arabidopsis*. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 165, p. 39-52, 2019.

LIU, Y.; DU, H.; WANG, K. Differential photosynthetic responses to salinity stress between two perennial grass species contrasting in salinity tolerance. **HortScience**, Alexandria, v. 46, n. 2, p. 311-316. 2011.

LUDKE, I.; SOUZA, R. B.; RESENDE, F. V.; DELVICO, F. M. S.; MEIRELES, S. M.; BRAGA, D. O. Produção orgânica de alface americana fertirrigada com biofertilizantes em cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n. 2, p. 3370-3377, 2009.

LUZ, A. O.; SEABRA JÚNIOR, S.; SOUZA, S. B. S.; NASCIMENTO, A. S. Resistência ao pendoamento de genótipos de alface em ambientes de cultivo. **Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 6, p. 71-82, 2009.

LUZ, G. L.; MEDEIROS, S. L. P.; MANFRON, P. A.; BORCIONI, E.; MÜLLER, L.; AMARAL, A. D.; MORAIS, K. P. Consumo de energia elétrica e produção de alface hidropônica com três intervalos entre irrigações. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 815-818, 2008.

MAIA, J. P. **Comportamento agrônômico de cultivares de alface americana em sistema hidropônico**. 2019. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2019.

MARTINS, J. B.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; SILVA JÚNIOR, F. J.; SILVA, G. F.; MEDEIROS, S. S. Production of parsley in hydroponic conditions under isosmotic brackish nutrient solutions. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 43, p. e023418, 2019.

MATHIAS, M. NFT in Brazil. **Practical Hydroponics & Greenhouses**, Narrabeen, v. 103, p. 33-40, 2008.

MATTOS, K. M. C.; ANGELOCCI, L. R.; FURLANI, P. R.; NOGUEIRA, M. C. S. Temperatura do ar no interior do canal de cultivo e crescimento da alface em função do material de cobertura da mesa de cultivo hidropônico – NFT. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 253-260, 2001.

MAU, Y. S.; NDIWA, A. S. S.; OEMATAN, S. S.; MARKUS, J. E. R. Drought tolerance indices for selection of drought tolerant, high yielding upland rice genotypes. **Australian Journal of Crop Science**, Brisbane, v. 13, n. 1, p. 170-178, 2019.

MONTOYA, A. P.; OBANDO, F. A.; MORALES, J. G.; VARGAS, G. Automatic aeroponic irrigation system based on Arduino's platform. **Journal of Physics: Conference Series**, Bristol, v. 850, p. 012003, 2017.

MUNNS, R.; GILLIHAM, M. Salinity tolerance of crops – what is the cost? **New Phytologist**, London, v. 208, n. 3, p. 668-673, 2015.

NAVARRO, M. A. F. **Efecto de diferentes niveles de aireación de la solución nutritiva sobre el crecimiento y la calidad de canónigos y berros cultivados en bandejas flotantes**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidad Politécnica de Cartagena, Murcia, 2013.

NIU, G.; SUN, Y.; MASABNI, J. G. Impact of low and moderate salinity water on plant performance of leafy vegetables in a recirculating NFT system. **Horticulturae**, Basel, v. 4, p. 1-13, 2018.

NXAWÉ, S.; NDAKIDEMI, P. A.; LAUBSCHER, C. P. Chlorophyll pigmentation and photosynthetic parameters in *Ornithogalum longibracteatum* L. as affected by varying

temperatures in hydroponics solution. **International Journal of the Physical Sciences**, Lagos, v. 6, n. 12, p. 2965-2972, 2011.

QIN, L.; HE, J.; LEE, S. K.; DODD, I. C. An assessment of the role of ethylene in mediating lettuce (*Lactuca sativa*) root growth at high temperatures. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 58, n. 11, p. 3017-3024, 2007.

RADY, M. O. A.; SEMIDA, W. M.; EL-MAGEED, T. A. A.; HEMIDA, K. A.; RADY, M. M. Up-regulation of antioxidative defense systems by glycine betaine foliar application in onion plants confer tolerance to salinity stress. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 240, p. 614-622, 2018.

REZAEI, Y.; TAVAKOLI, A.; SHEKARI, F.; NIKBAKHT, J.; JUHOS, K.; ANSARI, M. Effect of salinity stress on biochemical and physiological aspects of *Brassica napus* L. cultivars. **Academia Journal of Agricultural Research**, New York, v. 5, n. 8, p. 189-195, 2017.

ROCHA NETO, O. C.; TEIXEIRA, A. S.; LEÃO, R. A. O.; MOREIRA, L. C. J.; GALVÃO, L. S. Hyperspectral remote sensing for detecting soil salinization using ProSpecTIR-VS aerial imagery and sensor simulation. **Remote Sensing**, Basel, v. 9, n. 1, p. 1-16, 2017.

RODRIGUES, 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.

SAKAMOTO, K.; KOGI, M.; YANAGISAWA, T. Effects of salinity and nutrients in seawater on hydroponic culture of red leaf lettuce. **Environmental Control in Biology**, Fukuoka, v. 52, n. 3, p. 189-195, 2014.

SAKAMOTO, M.; SUZUKI, T. Effect of root-zone temperature on growth and quality of hydroponically grown red leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Red Wave). **American Journal of Plant Sciences**, Wuhan, v. 6, n. 14, p. 2350-2360, 2015.

SAKATA. **Alface**. Bragança Paulista: Sakata, 2019. Disponível em: <https://www.sakata.com.br/hortalicas/folhosas/alface/americana-de-verao/taina>. Acesso em: 11 jul. 2019.

SANTOS, A. N.; SILVA, E. F. F.; SILVA, G. F.; BARNABÉ, J. M. C.; ROLIM, M. M.; DANTAS, D. C. Yield of cherry tomatoes as a function of water salinity and irrigation frequency. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 2, p. 107-112, 2016.

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. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 319-326, 2011.

SANTOS, C. M. G.; BRAGA, C. L.; VIEIRA, M. R. S.; CERQUEIRA, R. C.; BRAUER, R. L.; LIMA, G. P. P. Qualidade da alface comercializada no município de Botucatu - SP.

Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, Hermosillo, v. 11, n. 1, p. 67-74, 2010.

SANTOS, J. F.; COELHO FILHO, M. A.; CRUZ, J. L.; SOARES, T. M.; CRUZ, A. M. L. Growth, water consumption and basil production in the hydroponic system under salinity. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 66, n. 1, p. 45-53, 2019.

SANTOS JÚNIOR, J. A.; GHEYI, H. R.; CAVALCANTE, A. R.; MEDEIROS, S. S.; DIAS, N. S.; SANTOS, D. B. Water use efficiency of coriander produced in a low-cost hydroponic system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 12, p. 1152-1158, 2015.

SAVVAS, D.; STAMATI, E.; TSIROGIANNIS, I. L.; MANTZOS, N.; BAROUCHAS, P. E.; KATSOULAS, N.; KITTAS, C. Interactions between salinity and irrigation frequency in greenhouse pepper grown in closed-cycle hydroponic systems. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 91, n. 1-3, p. 102-111, 2007.

SCHMIDT, D.; GABRIEL, V. J.; CARON, B. O.; SOUZA, V. Q.; BOSCAINI, R.; PINHEIRO, R. R.; COCCO, C. Hydroponic rocket salad growth and production according to different color profiles. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 1, p. 111-118, 2017.

SIGNORE, A.; SERIO, F.; SANTAMARIA, P. A targeted management of the nutrient solution in a soilless tomato crop according to plant needs. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 7, p. 1-15, 2016.

SIKAWA, D. C.; YAKUPITIYAGE, A. The hydroponic production of lettuce (*Lactuca sativa* L) by using hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* × *C. gariepinus*) pond water: Potentials and constraints. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 9, p. 1317-1325, 2010.

SILVA, D. P.; VALENÇOLA, W. V. R.; BARBIERI, L. R.; BUENO, P. A. A. Influência de variáveis microclimáticas sobre um cultivo de alface crespa (*Lactuca sativa* var. *crispa*). **Revista GEOMAE**, Campo Mourão, v. 8, n. especial, p. 196-206, 2017a.

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**, Recife, v. 8, n. 3, p. 476-482, 2013.

SILVA, H. H. B.; AZEVEDO NETO, A. D.; MENEZES, R. V.; SILVA, P. C. C.; GHEYI, H. R. Use of hydrogen peroxide in acclimation of basil (*Ocimum basilicum* L.) to salt stress. **Turkish Journal of Botany**, Ankara, v. 43, n. 2, p. 208-217, 2019.

SILVA JÚNIOR, F. J.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; DIAS, N. S.; GHEYI, H. R.; RIVERA, R. C.; SILVA, G. F.; FERNANDES, C. S. Green onion production under strategies of replacement and frequencies of circulation of brackish nutritive solutions. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 35, n. 3, p. 796-805, 2019a.

SILVA JÚNIOR, F. J.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; SILVA, M. M.; SILVA, E. F. F.; SOUZA, E. R. Water relations of chives in function of salinity and circulation frequency of nutrient

solutions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 5, p. 359-365, 2019b.

SILVA, J. S.; PAZ, V. P. S.; SOARES, T. M.; ALMEIDA, W. F.; FERNANDES, J. P. Production of lettuce with brackish water in NFT hydroponic system. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 3, p. 947-962, 2018a.

SILVA, M. G.; ALVES, L. S.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; BIONE, M. A. A. Growth, production and water use efficiency of chicory (*Cichorium endivia* L.) in hydroponic systems using brackish waters. **Advances in Horticultural Science**, Firenze, v. 34, n. 3, p. 243-253, 2020a.

SILVA, M. G.; OLIVEIRA, I. S.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; SANTANA, G. O.; PINHO, J. S. Growth, production and water consumption of coriander in hydroponic system using brackish waters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 8, p. 547-552, 2018b.

SILVA, M. G.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; COSTA, I. P.; VASCONCELOS, R. S. Growth, production and water consumption of coriander grown under different recirculation intervals and nutrient solution depths in hydroponic channels. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, Abu Dhabi, v. 32, n. 4, p. 281-294, 2020b.

SILVA, M. G.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, I. S.; FREITAS, F. T. O.; RAFAEL, M. R. S. Consumo hídrico do coentro em hidroponia NFT com o uso de águas salobras para reposição do consumo evapotranspirado. *In*: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 4., 2017, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: INOVAGRI: ESALQ-USP/ABID: UFRB: INCT-EI: INCTSal: INSTITUTO FUTURE, 2017b.

SILVA, M. G.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, M. G. B.; SANTOS, C. C. Hydroponic cultivation of coriander using fresh and brackish waters with different temperatures of the nutrient solution. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 40, n. 6, p. 674-683, 2020c.

SILVA, M. G.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, I. S.; SILVA FILHO, J. A. Crescimento e produção de coentro hidropônico sob diferentes densidades de semeadura e diâmetros dos canais de cultivo. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 2, p. 312-326, 2016a.

SILVA, M. G.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, I. S.; SILVA FILHO, J. A.; CARMO, F. F. Frequency of recirculation of nutrient solution in hydroponic cultivation of coriander with brackish water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 5, p. 447-454, 2016b.

SOARES, H. R.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; SILVA, E. F. F.; ROLIM, M. M.; SILVA, G. F. Water and physiological relationships of lettuce cultivated in hydroponics with brackish waters. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 50, n. 2, p. 216-222, 2019.

SOARES, H. R.; SILVA, E. F. F.; SILVA, G. F.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; SANTOS, A. N. Lettuce growth and water consumption in NFT hydroponic system using

brackish water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 7, p. 636-642, 2015.

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

SOUZA, C. D. S.; SILVA, G. F.; MENEZES, S. M.; MORAIS, J. E. F.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; SILVA, A. O. Nutrient and inorganic solute (Na^+ and Cl^-) content in green onion plants under hydroponic cultivation using brackish water. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 44, p. e013320, 2020.

STEIDLE NETO, A. J.; ZOLNIER, S.; MAROUELLI, W. A.; CARRIJO, O. A.; MARTINEZ, H. E. P. Avaliação de um circuito eletrônico para medição da condutividade elétrica de soluções nutritivas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 427-435, 2005.

TESI, R.; LENZI, A.; LOMBARDI, P. Effect of different O_2 levels on spinach (*Spinacia oleracea* L.) grown in a floating system. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 614, p. 631-637, 2003a.

TESI, R.; LENZI, A.; LOMBARDI, P. Effect of salinity and oxygen level on lettuce grown in a floating system. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 609, p. 383-387, 2003b.

ÜNLÜKARA, A.; CEMEK, B.; KARAMAN, S.; ERŞAHIN, S. Response of lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) to salinity of irrigation water. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, Oxfordshire, v. 36, n. 4, p. 265-273, 2008.

VAN OS, E. A.; GIELING, T. H.; LIETH, J. H. Technical equipment in soilless production systems. *In*: RAVIV, M.; LIETH, J. H.; BAR-TAL, A. (ed.). **Soilless culture: Theory and practice**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier B.V, 2019. p. 587-635.

VIANA, P. C.; FREITAS, F. T. O.; SILVA, N. D.; SOARES, T. M.; PAZ, M. G. F. Estatística multivariada como ferramenta descritiva na análise sensorial de alface hidropônica produzida com águas salobras. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 12, n. 4, p. 2725-2730, 2018.

VILAS BOAS, R. C.; CARVALHO, J. A.; GOMES, L. A. A.; SOUSA, A. M. G.; RODRIGUES, R. C.; SOUZA, K. J. Avaliação técnica e econômica da produção de duas cultivares de alface tipo crespa em função de lâminas de irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 525-531, 2008.

VILLELA JÚNIOR, L. V. E.; ARAÚJO, J. A. C.; FACTOR, T. L. Análise do resfriamento da solução nutritiva para cultivo hidropônico do morangueiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 338-346, 2004.

VISCONTI, F.; PAZ, J. M. Electrical conductivity measurements in agriculture: The assessment of soil salinity. *In: COCCO, L. (ed.). New trends and developments in metrology*. London: IntechOpen, 2016. p. 99-126.

XU, C.; MOU, B. Evaluation of lettuce genotypes for salinity tolerance. *HortScience*, Alexandria, v. 50, n. 10, p. 1441-1446, 2015.

XU, L.; LIU, J.; ZHANG, Z.; YU, F.; GUO, J.; YUE, H. Effect of salt stress on growth and physiology in *Melia azedarach* seedlings of six provenances. *International Journal of Agriculture and Biololy*, Faisalabad, v. 20, n. 2, p. 471-480, 2018.

YUAN, Y.; ZHONG, M.; DU, N.; SHU, S.; SUN, J.; GUO, S. Putrescine enhances salt tolerance of cucumber seedlings by regulating ion homeostasis. *Environmental and Experimental Botany*, Oxford, v. 165, p. 70-82, 2019.

WANG, J.; QIU, N.; WANG, P.; ZHANG, W.; YANG, X.; CHEN, M.; WANG, B.; SUN, J. Na⁺ compartmentation strategy of Chinese cabbage in response to salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, Amsterdam, v. 140, p. 151-157, 2019.

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