



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

RICARDO RODRIGUES DE ANDRADE

**EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA EM CULTIVARES DE
ALFACE EM SISTEMA HIDROPÔNICO TIPO NFT, EM CLIMA SEMIÁRIDO**

FORTALEZA

2019

RICARDO RODRIGUES DE ANDRADE

EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA EM CULTIVARES DE
ALFACE EM SISTEMA HIDROPÔNICO TIPO NFT, EM CLIMA SEMIÁRIDO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Orientador: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra.

Coorientador: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A57e Andrade, Ricardo Rodrigues de.
Efeito da concentração da solução nutritiva em cultivares de alface em sistema hidropônico tipo NFT, em clima Semiárido / Ricardo Rodrigues de Andrade. – 2019.
93 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra.

Coorientação: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.

1. Lactuca sativa L. 2. Índice SPAD. 3. Fluxo Laminar de Nutrientes. I. Título.

CDD 630

RICARDO RODRIGUES DE ANDRADE

EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA EM CULTIVARES DE
ALFACE EM SISTEMA HIDROPÔNICO TIPO NFT, EM CLIMA SEMIÁRIDO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: 29/01/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Cley Anderson Silva de Freitas
Instituto Federal do Ceará – Campus Crato (IFCE)

Prof. Dr. Aiala Vieira Amorim
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira (UNILAB)

Prof. Dr. Sâmia Paiva de Oliveira Moraes
Instituto Federal do Ceará – Campus Boa Viagem (IFCE)

A Deus.

Aos meus pais, Salviano Vaqueiro e Maria
Ponciano.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra, pela excelente orientação, pelos conselhos e pelo exemplo prático a ser seguido na atuação docente.

Ao Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda, pela contribuição na coleta de dados, bem como pelo encorajamento nos momentos mais delicados.

Ao Prof. Dr. Cley Anderson Silva de Freitas que além de pesquisador é um amigo pessoal e contribuiu decisivamente para que o estudo fosse executado.

Aos professores participantes da banca examinadora Sâmia Paiva de Oliveira Moraes e Aiala Vieira Amorim pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

A gestão do IFCE *campus* Tauá nas pessoas do prof. Alves Neto, prof. Alan Sombra e George Freitas pela cessão do espaço e apoio financeiro ao projeto.

Ao prof. Dr. João Paulo Arcelino do Rêgo pela motivação e apoio.

Aos Técnicos em Agronegócio Antônio Lenismar e Loran Gonçalves, enquanto estudantes de curso técnico e bolsista de iniciação científica, se dedicaram e apoiaram de forma integral a execução das atividades de implantação, condução e coleta de dados do experimento.

Aos companheiros(as) de trabalho Beatriz Lima, Francisco Rogilson, Rafaela Celi, Cesar Wagner e Myrle Raquel, pelo apoio e motivação.

A minha família: meus pais Maria Ponciano e Salviano Vaqueiro; Irmãos Dulcenir e Zé Neto; cunhadas Verlandia e Mara Jane; esposa Naiana Renata; e filho Zariel, pela estrutura familiar, pelo aconchego, pela segurança.

A minha segunda família: Tio Gilvan; Tia Salete; e primos Igo e Isabele, que me acolheram e proporcionaram as condições necessárias para que hoje esse trabalho seja apresentado.

“Nenhum pioneiro da ciência suportou ainda as
agruras daquele rincão sertanejo, em prazo
suficiente para o definir”

(CUNHA, p. 14, 1902)

RESUMO

Em regiões de climas áridos e semiáridos, a irrigação é uma tecnologia que pode garantir produção vegetal rentável ao longo do ano, porém, esta prática exige grandes demandas de água, está problemática é potencializada do Nordeste brasileiro onde a intensificação das estiagens observadas nos últimos anos, tem reduzido os níveis de água dos reservatórios, em alguns casos atingindo cota zero. O sistema hidropônico em NFT (técnica do fluxo laminar de nutrientes) apresenta-se como uma alternativa de produção, fazendo uso eficiente da água, onde não as perdas de água são reduzidas a praticamente zero. Objetivou-se com este trabalho avaliar em condições de clima Semiárido predominante no município de Tauá-CE, as variáveis biométricas, trocas gasosas e composição nutricional de três cultivares de alface, sob cultivo hidropônico NFT em diferentes concentrações de nutrientes na solução nutritiva. O experimento foi conduzido em uma estufa agrícola do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, *campus* Tauá. O sistema NFT usado no experimento é composto por quatro bancadas, cada uma, com três tubulações de PVC com diâmetro de 75 mm e 6 m de comprimento, com espaçamento entre furos de 0,25 m e declividade de 3%. O experimento foi montado em um delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdivididas (4 x 3), sendo que nas parcelas foram alocadas quatro condutividades elétrica da solução nutritiva (0,9; 1,2; 1,5; 1,8 dS m⁻¹) e nas subparcelas três cultivares de alface (Elisabeth; Cinderela e Mimosa), totalizando 12 tratamentos. Cada subparcela acomodou 24 plantas. Aos 45 dias após a emergência foi realizado uma avaliação das trocas gasosas em seguida as plantas foram colhidas e nesta oportunidade foram realizadas avaliações biométricas e em seguida as plantas foram submetidas a secagem em estufa para avaliação do estado nutricional. Os dados coletados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1% e 5% de probabilidade. As trocas gasosas das plantas foram influenciadas pela condutividade elétrica da solução nutritiva, os valores intermediários para esse fator maximizou as trocas gasosas nas cultivares Elisabeth e Cinderela. Considerando a massa fresca da parte aérea, a cultivar mimosa obteve o maior peso de 295,93 g planta⁻¹, diferenciando estatisticamente das demais. Em todas as cultivares o incremento da condutividade elétrica da solução nutritiva, aumentou linearmente todas as variáveis biométricas da parte aérea das plantas. O valor máximo para o índice SPAD (21,66) foi obtido com a condutividade elétrica da solução nutritiva de 1,48 dSm⁻¹. A ordem decrescente de deposição de nutriente nas folhas foi: K > N > Ca > P > Mg > S > Fe > Mn > Zn > Cu > B. A elevação da condutividade elétrica da solução nutritiva reduziu o consumo de água das plantas, este variou de 4,65 a 5,93 litros por planta por ciclo.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L; Índice SPAD; Fluxo Laminar de Nutrientes.

ABSTRACT

In regions with arid and semi-arid climates, irrigation is a technology that can guarantee profitable plant production throughout the year, but this practice demands great water demands. This problem is potentialized in the Brazilian Northeast where the intensification of droughts observed in recent years, has reduced the water levels of the reservoirs, in some cases reaching zero quota. The hydroponic system in NFT (laminar flow technique of nutrients) is presented as an alternative production, making efficient use of water, where water losses are reduced to practically zero. The objective of this work was to evaluate the biometric variables, gas exchange and nutritional composition of three lettuce cultivars under hydroponic NFT cultivation in different concentrations of nutrients in the nutrient solution in the semi-arid climate of the municipality of Tauá-CE. The experiment was conducted in an agricultural greenhouse of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará, Campus Tauá. The NFT system used in the experiment consists of four benches, each with three PVC pipes with a diameter of 75 mm and 6 m in length, with spacing between holes of 0.25 m and slope of 3%. The experiment was set up in a completely randomized design in subdivided plots (4 x 3), with four electrical conductivities of the nutrient solution (0.9, 1.2, 1.5, 1.8 dS m⁻¹) and in the subplots three lettuce cultivars (Elisabeth; Cinderella and Mimosa), totaling 12 treatments. Each subplot accommodated 24 plants. At 45 days after the emergency, an evaluation of the gas exchanges was made, after which the plants were harvested and biometric evaluations were carried out and the plants were submitted to oven drying to evaluate the nutritional status. The collected data were submitted to analysis of variance by the 1% F test and 5% probability. The gaseous changes of the plants were influenced by the electrical conductivity of the nutrient solution, the intermediate values for this factor maximized the gas exchange in the cultivars Elisabeth and Cinderella. Considering the fresh mass of the aerial part, the mimosa cultivar obtained the largest weight of 295.93 g plant⁻¹, differing statistically from the others. In all cultivars, the increase in the electrical conductivity of the nutrient solution linearly increased all the biometric variables of the aerial part of the plants. The maximum value for the SPAD index (21.66) was obtained with the electrical conductivity of the nutrient solution of 1.48 dSm⁻¹. The decreasing order of nutrient deposition in the leaves was: K > N > Ca > P > Mg > S > Fe > Mn > Zn > Cu > B. The elevation of the electrical conductivity of the nutrient solution reduced the water consumption of the plants, ranged from 4.65 to 5.93 liters per plant per cycle.

Keywords: *Lactuca sativa* L; SPAD Index; Laminar flow of nutrients.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Relação entre fotossíntese e condutância estomática observada em <i>Crocus sativus</i> L.....	37
Figura 2 –	Valores médios de temperatura do interior da estufa, temperatura do ambiente externo e temperatura da solução nutritiva, durante 45 dias de cultivo de alface em sistema hidropônico.....	39
Figura 3 –	Estufa agrícola usada na condução do experimento.....	40
Figura 4 –	Vista geral do sistema de cultivo hidropônico tipo NFT, montado no Instituto Federal do Ceará campus Tauá-CE.....	40
Figura 5 –	Croqui do delineamento em parcelas subdivididas com quatro soluções nutritiva e três variedades de alface.....	41
Figura 6 –	Ferramenta usada para fazer aberturas dos furos para a realização da semeadura.....	42
Figura 7 –	Copo descartável usado para acomodação das mudas de alface durante a fase de berçário.....	43
Figura 8 –	Variáveis Massa Fresca de Folhas (MFF), Massa Fresca de Caule (MFC), Massa Fresca de Raiz (MFR), Massa Fresca da Planta Inteira (MFPI), Massa Seca de Folhas, Massa Seca de Caule e Massa Seca de Raiz de plantas de três cultivares de alface, conduzidas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.....	50
Figura 9 –	Área Foliar de plantas de três variedades de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.....	53
Figura 10 –	Condutância estomática (gs) de plantas de três variedades de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.....	56
Figura 11 –	Transpiração ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de plantas de três variedades de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes	

	níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio.....	60
Figura 12 –	Fotossíntese (A) de plantas de três cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio.....	61
Figura 13 –	Eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci) de plantas de três cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio.....	64
Figura 14 –	Teste comparativo de médias da eficiência instantânea do uso da água (A/E) de plantas de três cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio.....	65
Figura 15 –	Teste comparativo de médias do índice SPAD de plantas de três cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio.....	66
Figura 16 –	Área Foliar de plantas de três variedades de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio.....	67
Figura 17 –	Variação do nitrogênio e Enxofre das folhas de três cultivares de alface, conduzidas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio.....	74
Figura 18 –	Variação do percentual de Zinco, Manganês, Cobre e Boro das folhas de três cultivares de alface, conduzidas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio.....	75
Figura 19 –	Concentração de cálcio e magnésio nas folhas de três cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de	

diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplante.....	77
---	----

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Composição proporcional de fertilizantes usados no preparo de 1.000 L de solução nutritiva para as culturas de hortaliças de folhas, proposta por Furlani (1998).....	33
Tabela 2 – Revisão de trabalhos que avaliaram o efeito da condutividade elétrica na Condutância Estomática (g_s), a Concentração interna de CO_2 (C_i), a Transpiração (E), Fotossíntese (A) e a produção de diferentes culturas.....	37
Tabela 3 – Fertilizantes usados na preparação das soluções e suas respectivas proporções de nutrientes.....	42
Tabela 4 – Resumo das análises das variâncias para as variáveis Massa Fresca de Folhas (MFF), Massa Fresca de Caule (MFC), Massa Fresca de Raiz (MFR), Massa Fresca da Planta Inteira (MFPI), Massa Seca de Folhas (MSF), Massa Seca de Raiz (MSR) e área Foliar (AF) de plantas de três cultivares de alface, conduzidas em sistema hidropônico tipo NFT, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.....	47
Tabela 5 – Teste de médias para o efeito significativo do tratamento variedade sobre as variáveis Massa Fresca de Folhas (MFF), Massa Fresca de Caule (MFC), Massa Fresca de Raiz (MFR), Massa Fresca da Planta Inteira (MFPI), Massa Seca de Folhas (MSF), e Massa Seca de Raiz (MSR) de plantas de três variedades de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.....	48
Tabela 6 – Resumo das análises das variâncias das variáveis condutância estomática (g_s), transpiração (E), Fotossíntese líquida (A), Concentração interna de CO_2 (C_i), eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i), eficiência instantânea do uso da água (A/E) e Índice SPAD de plantas de três cultivares de alface, conduzidas em sistema hidropônico tipo NFT, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.....	54

Tabela 7 – Desdobramento da interação significativa da condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de três variedades de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.....	55
Tabela 8 – Desdobramento da interação significativa da transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de três cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.....	57
Tabela 9 – Desdobramento da interação significativa da fotossíntese ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de três cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.....	60
Tabela 10 – Desdobramento da interação significativa da eficiência de carboxilação de três cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.....	63
Tabela 11 – Resumo das análises das variâncias das variáveis condutância estomática (gs), transpiração (E), Fotossíntese líquida (A), Concentração interna de CO_2 (C_i), eficiência instantânea de carboxilação (A/ C_i) e eficiência instantânea do uso da água (A/E) de plantas de três cultivares de alface, conduzidas em sistema hidropônico tipo NFT, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.....	69
Tabela 12 – Teste de médias da Concentração interna de CO_2 e eficiência instantânea do uso da água de plantas de três cultivares de alface, conduzidas em sistema hidropônico tipo NFT, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio (11h30min).....	69
Tabela 13 – Resumo da análise de variância e teste F para macro e micro de plantas de três variedades de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.....	71

Tabela 14 – Teste de médias para o efeito significativo do tratamento variedade sobre macro e micronutrientes de plantas de três variedades de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio.....	72
Tabela 15 – Desdobramento da interação significativa de potássio e cálcio, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio.....	76
Tabela 16 – Consumo de água e nutrientes de três cultivares de alface conduzidos em sistema hidropônico em função da condutividade elétrica da solução nutritiva.....	79

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	Hipóteses.....	20
1.2	Objetivos.....	21
1.2.1	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>21</i>
1.2.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>21</i>
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	22
2.1	A importância de racionar o uso da água.....	22
2.2	Cultivo hidropônico.....	23
2.3	A cultura da alface.....	26
2.3.1	<i>Origem.....</i>	<i>26</i>
2.3.2	<i>Cultivares.....</i>	<i>27</i>
2.3.3	<i>Condições climáticas favoráveis.....</i>	<i>28</i>
2.3.4	<i>Cultivo de alface hidropônico.....</i>	<i>30</i>
2.3.5	<i>Composição da solução nutritiva e composição mineral da parte aérea de alface.....</i>	<i>32</i>
2.4	Trocas gasosas e reações de carboxilação.....	34
2.4.1	<i>Efeito da concentração da solução nutritiva nas trocas gasosas.....</i>	<i>35</i>
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3.1	Local do experimento.....	39
3.2	Descrição do sistema.....	39
3.3	Delineamento experimental.....	41
3.4	Condução do experimento.....	41
3.4.1	<i>Produção de mudas.....</i>	<i>41</i>
3.4.2	<i>Preparo das soluções.....</i>	<i>42</i>
3.4.3	<i>Transplântio.....</i>	<i>43</i>
3.4.4	<i>Operação do sistema NFT.....</i>	<i>43</i>
3.4.5	<i>Retirada dos copos.....</i>	<i>44</i>
3.4.6	<i>Colheita.....</i>	<i>44</i>
3.4.7	<i>Avaliação das plantas.....</i>	<i>44</i>
3.4.7.1	<i>Medições das trocas gasosas e teores relativos de clorofila total: índice Spad.....</i>	<i>44</i>

3.4.7.2	<i>Massa fresca e seca da raiz, caule e folha</i>	45
3.4.7.3	<i>Área foliar</i>	45
3.4.7.4	<i>Composição química da parte aérea</i>	45
3.4.7.5	<i>Consumo de água e nutrientes</i>	45
3.5	Análise dos dados	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	Variáveis de crescimento	58
4.2	Análises fisiológicas	54
4.3	Composição mineral das folhas de alface	70
4.4	Consumo de água e fertilizante	88
5	CONCLUSÃO	81
	REFERENCIAS	82

1 INTRODUÇÃO

O clima semiárido é predominante na região do Nordeste do Brasil. Comumente esta região é afetada por um regime de precipitação baixo, irregular e de curta duração. Este fator associado as demais variáveis climáticas atuantes, proporciona uma condição de déficit hídrico, que limita a exploração vegetal contínua ao longo do ano. Neste contexto, a água torna-se o principal fator limitante para o desenvolvimento da agricultura na região.

Em regiões de climas áridos e semiáridos, a irrigação, por controlar a distribuição do fornecimento de água para as culturas ao longo de seus ciclos, é uma tecnologia que pode garantir produção vegetal rentável ao longo do ano, porém, esta prática exige fontes que forneçam água em grandes quantidades e em qualidade.

No Nordeste do Brasil a principal técnica usada para garantir o acesso a água nos períodos de estiagem se dá por meio do armazenamento superficial de água das precipitações, em açudes. No entanto, com a intensificação das estiagens observadas nos últimos anos, o nível dos reservatórios reduziu significativamente, em alguns casos até atingindo a cota zero, sendo suspenso o fornecimento de água para a irrigação e levando alguns perímetros irrigados a colapso.

Atualmente o estado do Ceará possui capacidade de armazenamento de água em reservatórios de 18.617 hm³ e apenas 2.017 hm³ encontra-se ocupado com água, o que representa aproximadamente 10% (FUNCEME, 2018). Com isso, todos os perímetros irrigados do estado estão em colapso total ou operando em situação de racionamento, o que compromete inicialmente a produção de alimentos no estado, podendo ameaçar também o próprio abastecimento hídrico da população.

Nesse cenário, as únicas opções que restam, é a busca por fontes alternativas de água que se resumem basicamente a perfuração de poços profundos ou desenvolvimento e adaptação de tecnologias que promovam o uso eficiente da água na produção vegetal. Como a região do Nordeste do Brasil situa-se sobre um embasamento de rocha cristalina a possibilidade de acesso à água subterrânea é através das fissuras existentes nas rochas onde normalmente encontra-se água em quantidades reduzidas e com elevadas concentrações de sais.

A aplicação da água salobra no solo por meio da irrigação acarreta problemas tanto no solo como nas plantas. O excesso de sais nas plantas pode prejudicar a absorção de água, causar toxidade e interferir negativamente no rendimento das culturas. No solo, elevadas quantidades de sais podem alterar tanto a composição química como a estrutura

física interferindo em características importantes do solo como retenção e infiltração da água.

O resultado da interação: prática da irrigação usando água salobra; condições climáticas predominantes na região Nordeste e ausência de tecnologias que amenizem o problema de salinização dos solos, poderá ter efeitos catastróficos para agricultura da nordestina.

Baseado neste contexto a exploração vegetal sustentável e rentável, na região Nordeste, depende da adoção de tecnologias que façam uso racional e eficiente da água existente evitando a aplicação de água, com excesso de sais, no solo.

Segundo Santos (2009), o sistema hidropônico em NFT (técnica do fluxo laminar de nutrientes) apresenta-se como uma alternativa produtiva que possui características compatíveis com as condições das regiões semiáridas. O sistema NTF caracteriza-se por possuir circulação fechada com aproveitamento contínuo da solução nutritiva ao longo do ciclo.

Características como uso eficiente da água, melhor aproveitamento da área e elevados rendimentos, atribuem a técnica da hidroponia, enorme potencial para exploração rentável na região Nordeste. Além dessas vantagens, os sistemas hidropônicos fechados, por não terem o contato direto da solução com o ambiente, reduzem o potencial de salinização dos solos, mesmo quando conduzidos com água salobra.

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil e destaca-se também no cenário nacional dos cultivos hidropônicos, chegando a ser responsável por 80% desse tipo de produção (ALVES *at al.*, 2011). É uma planta anual, originária de clima temperado, pertencente à família Asteracea, certamente uma das hortaliças mais populares e consumidas no Brasil e no mundo (HENZ e SUINAGA, 2009). É muito difundida no Nordeste brasileiro, sendo bastante cultivada em pequenas áreas em sistema de agricultura familiar com baixo nível tecnológico o que acarreta na maioria das vezes um baixo rendimento da cultura.

Soares (2007) mostrou que a tolerância da alface “Veronica” à salinidade é maior quando conduzida em cultivo hidropônico tipo NFT do que quando cultivado em sistemas convencionais. O mesmo autor relata que baseado na produção de massa fresca da parte aérea a salinidade limiar foi de 4,03 dS m⁻¹. Sob as mesmas condições, a salinidade limiar para a alface conduzida no solo foi de 2,51 dS m⁻¹.

Acredita-se que a condutividade elétrica da solução nutritiva ideal é variável e dependente da temperatura média da região e conseqüentemente da demanda

evapotranspirativa das plantas. Na literatura existem dados consolidados indicando os valores ideais de condutividade elétrica da solução nutritiva para regiões com clima mais frios, no entanto, para regiões de clima quentes os dados são limitados e conflitantes.

A adoção da técnica de cultivo de alface em sistema hidropônico NFT, por pequenos agricultores do Semiárido, poderá contribuir significativamente com a elevação da produtividade da cultura, melhoria da renda da família e melhor aproveitamento dos recursos hídricos da região.

Cultivares de alface, conduzidos em sistema hidropônico, podem apresentar diferentes respostas quanto ao crescimento e produção das plantas, quando submetidos a diferentes níveis de salinidade da solução. É importante identificar, dentre o material genético disponível no mercado local, qual o que apresenta melhor desempenho nesse sistema de cultivo.

Diante do exposto, pressupõe que o cultivo da alface hidropônica possui grande potencial para ser explorada na região dos Inhamuns-CE, porém na literatura não existem registros de pesquisas que avaliem o desempenho de alface cultivado neste sistema. Considerando que sucesso na inserção de uma tecnologia, na exploração agrícola de uma região, depende exclusivamente de pesquisas que mostrem o resultado da aplicação da técnica bem como sua viabilidade técnico-econômica.

Objetivou-se com este trabalho avaliar, em condições de clima Semiárido predominante no município de Tauá-CE, as trocas gasosas, variáveis biométricas e nutricionais de três variedades de alface, pertencentes a diferentes grupos genéticos, cultivados em sistema hidropônico NFT com diferentes concentrações de nutrientes na solução nutritiva.

1.1 Hipóteses

Diante do exposto acima, montou-se um experimento em casa de vegetação afim de testar as hipóteses que:

1. Os cultivares de alface disponíveis no mercado apresentam respostas diferentes a variação da condutividade elétrica da solução nutritiva.
2. Há cultivares de alface mais adaptadas ao cultivo hidropônico para as condições climáticas do nordeste brasileiro.
3. A concentração ótima da solução nutritiva em regiões semiáridas tropicais é menor que em regiões subtropicais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar as trocas gasosas, as variáveis biométricas e nutricionais de três cultivares de alface, pertencentes a diferentes grupos genéticos, cultivado em sistema hidropônico NFT, sob diferentes concentrações de nutrientes na solução nutritiva.

1.2.2 Objetivos específicos

- Acompanhar as diferenças de temperatura do ambiente externo, ambiente interno (dentro da casa de vegetação) e solução nutritiva ao longo do dia, durante o ciclo de cultivo da alface.
- Identificar, dentre as cultivares de alface disponíveis no mercado local, a que melhor se adapta ao cultivo hidropônico nas condições climáticas do município de Tauá;
- Apresentar uma alternativa de manejo da solução nutritiva que viabilize o cultivo de alface hidropônico em regiões de temperaturas médias mais elevadas.
- Estudar o efeito do incremento da concentração de nutrientes na solução nutritiva sobre as trocas gasosas, variáveis biométricas e acúmulo de nutrientes nas folhas de três cultivares de alface;
- Medir a quantidade de água e fertilizantes necessários para a produção de alface em sistema hidropônico tipo NFT.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A importância de racionar o uso da água

A água é a substância mais abundante nos sistemas vivos. O primeiro organismo vivo da terra nasceu em ambiente aquoso, e o curso da evolução tem sido moldado pelas propriedades do meio aquoso no qual a vida começou (NELSON e COX, 2014).

Por possibilitar a maioria das reações químicas, a água, é considerada um solvente universal, no qual todos os organismos vivos são totalmente dependentes dele para sua sobrevivência. Para os vegetais, tanto a falta como o excesso afetam de maneira decisiva o seu desenvolvimento, por isso, seu manejo racional é decisivo na maximização da produção (REICHARDT e TIMM, 2012).

Durante a absorção de dióxido de carbono da atmosfera, as plantas ficam expostas a perda de água e ameaçadas de desidratação. Para impedir a dessecação das folhas, a água deve ser absorvida pelas raízes e transportada ao longo do corpo da planta. Desequilíbrios entre absorção e perda de água podem causar déficit hídrico limitando o funcionamento normal das células (TAIZ e ZEIGER, 2017).

A água está presente em todos os processos e atividades humanas, dentre os quais os relacionados com a produção de alimentos, tanto para a produção agrícola como pecuária, sendo componente indispensável para garantir a capacidade de produção (STRASBURG e JAHNO, 2015).

A rápida urbanização observada em diversas regiões do mundo pode afetar, consideravelmente, o ambiente e notadamente a disponibilidade dos recursos hídricos. O Brasil possui 2,8% da população mundial e 12% da água doce do planeta. No entanto, 70% dessa água estão na Bacia Amazônica onde a densidade populacional é a menor do país. Por outro lado, a região mais árida e pobre do Brasil, o Nordeste, onde vive cerca de 30% da população, possui somente 5% da água doce (AUGUSTO et al., 2012).

A depleção quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos nos últimos anos tem conduzido à busca de técnicas para uso mais eficiente da água e também para aproveitamento racional de águas consideradas de qualidade inferior (ALVES et al., 2011). Dentre estas técnicas o sistema de cultivo hidropônico merece destaque.

2.2 Cultivo hidropônico

O termo hidroponia significa o cultivo de plantas em meio líquido. É derivado de duas palavras de origem grega: hydro, que significa água, e ponos que significa trabalho. Esta definição foi proposta pelo Professor William Frederick Gericke, da Universidade da Califórnia, nos E.U.A. na década de 30, quando utilizou esta técnica em escala comercial. Posteriormente, com o advento da II Guerra Mundial, foi usada para fins militares (RESH, 1985).

Segundo Santos *et al.* (2013) hidroponia é uma técnica para o cultivo de plantas sem solo, em meio hídrico, onde as raízes recebem uma solução nutritiva balanceada que contém água e todos os nutrientes essenciais ao desenvolvimento da planta, podendo reduzir em até 70% a quantidade de água utilizada.

De acordo com Brito Neto *et al.* (2015) ha três séculos, iniciou-se o cultivo por hidroponia, quando John Woodward, tentava entender a maneira de como as plantas extraíam seus nutrientes do solo. Foi utilizando o cultivo em água que Woodward queria descobrir se as plantas faziam uso de água ou partículas sólidas do solo para se nutrir. Porém, pela falta de recursos tecnológicos presentes na época, o progresso das pesquisas ficou limitado. Apenas em 1804, com o avanço da química, os nutrientes puderam ser manejados. A partir de então Nicolas de Saussure publicou os resultados de seus estudos, argumentando que vegetais precisavam de minerais para seu crescimento satisfatório (DOUGLAS, 1997).

O exército americano usou um sistema hidropônico no ano de 1939 em bases militares para produção de verduras e legumes (SCHUBERT, 1981). Douglas (1997) aponta que embora estudos na área datarem de séculos atrás, o primeiro uso comercial ocorreu no Canadá apenas em 1960, quando a produção de tomate foi dizimada por pragas de solo. Devido a este fato a hidroponia surgiu com uma alternativa tecnológica viável na região citada. Os recentes avanços tecnológicos da indústria química, especialmente no desenvolvimento de tubos plásticos e fertilizantes tem alavancado cada vez mais o cultivo hidropônico no mundo.

Resh (1985) cita cultivos de plantas sem solo em jardins suspensos da Babilônia, os jardins flutuantes dos Astecas e da China, todos datados como anteriores à era cristã. Os experimentos com cultivo hidropônico iniciaram-se na Europa durante o século XVII, sendo que os estudos científicos relacionados ao ajuste da solução nutritiva tiveram início na Alemanha, por volta de 1699 (JENSEN, 1997).

No século XX muitos pesquisadores dedicaram-se aos estudos de soluções nutritivas através da dissolução de sais em água destilada. Entre eles podemos destacar HOAGLAND (1920) e ARNON (1950), cujas soluções propostas são utilizadas até os dias de hoje, com pequenas alterações.

O surgimento da Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes NFT (“Nutrient Film Technique”), alavancou o desenvolvimento da hidroponia econômica e comercial (SANTOS, 1998).

Segundo Furlani (1998) o cultivo hidroponico foi introduzido no Brasil recentemente, com hortaliças e plantas ornamentais, e vem se expandindo rapidamente nas proximidades dos grandes centros urbanos, onde as terras agricultáveis são escassas e caras. Em tais regiões, a produção de hortaliças é realizada em sua maior parte sob cultivo protegido.

Na literatura diversos autores citam as vantagens e desvantagens dessa técnica de cultivo. Dente as vantagens podemos citar: possibilidade de aproveitamento de áreas inaptas ao cultivo convencional, tais como zonas áridas e solos degradados (TEIXEIRA, 1996); independência do cultivo às intempéries tais como veranico, geadas, chuvas de granizo, ventos, encharcamentos, e às estações climáticas, permitindo o cultivo durante todo o ano (FAQUIN et al., 1996); redução do uso de mão-de-obra nas atividades “braçais” tais como, capina e preparo de solo, além das atividades na hidroponia possam ser consideradas mais suaves (CASTELLANE; ARAÚJO, 1994). Além disso, ocorre a antecipação da colheita devido ao encurtamento do ciclo da planta (FAQUIN *et al.*, 1996); rápido retorno econômico (FAQUIN *et al.*, 1996); dispensa a rotação de culturas (TEIXEIRA, 1996) e economia de água (CASTELLANE; ARAÚJO, 1994).

No entanto, como toda tecnologia, o sistema também apresenta desvantagens: O alto custo de instalação dos sistemas (SANTOS, 1998; TEIXEIRA, 1996; FAQUIN *et al.*, 1996); Necessita acompanhamento permanente do funcionamento do sistema, principalmente do fornecimento de energia elétrica e controle da solução nutritiva (CASTELLANE & ARAÚJO, 1994; FAQUIN et al., 1996); Necessidade de mão-de-obra e assistência técnica especializada (SANCHEZ, 1996; TEIXEIRA, 1996; SANTOS, 1998); E novos produtos e técnicas adequadas no controle de pragas e doenças, pois, os agrotóxicos convencionais podem diminuir a qualidade biológica do produto (TEIXEIRA, 1996).

Todas as desvantagens do sistema de cultivo hidropônico podem ser superadas, com projetos de pesquisas que avaliem as particularidades de cada região e apresentem como produto, técnicas de manejo viável para cada projeto.

Existem vários sistemas de cultivo hidropônico que diferem entre si quanto à forma de sustentação da planta (meio líquido e substrato), o reaproveitamento da solução nutritiva (circulantes ou não circulantes), ao fornecimento da solução nutritiva (contínua ou intermitente) (UFRB, 2007).

Quanto ao reaproveitamento da solução nutritiva, os sistemas hidropônicos são classificados em abertos e fechados. No primeiro caso, a solução nutritiva é aplicada uma única vez às plantas e posteriormente descartada, assemelhando-se à fertirrigação. No sistema fechado, a solução nutritiva aplicada é recuperada, e reutilizada, sendo periodicamente corrigida a composição da solução nutritiva, seja através da adição de água, ou de nutrientes minerais.

A hidroponia pode ainda ser dividida em dois sistemas básicos: ativo e passivo. Os sistemas ativos, em geral, necessitam de uma bomba para realizar a circulação da solução, e grande parte deles também conta com um sistema de aeração. Dentre os mais conhecidos estão: sistema NFT (Nutrient Film Technique), leito flutuante (Floating), sub-irrigação, gotejamento e aeroponia. No sistema passivo, a solução nutritiva permanece estática, e é transportada para o meio de cultivo, seguindo para as raízes das plantas através de pavios por capilaridade, sendo o método mais utilizado, o sistema de pavio ou capilaridade (MARTINS, 2003).

Embora no Brasil a cultura da alface tenha sido pioneira em sistemas hidropônico, estes sistemas permitem o cultivo de um grande número de espécies. Na literatura podemos constatar os trabalhos de vários autores que estudaram o desenvolvimento das mais variadas culturas influenciadas por diversos fatores que afetam a produção.

Entre os trabalhos mais recentes podemos citar: Schmitt *et al.* (2016) que trabalharam com morango objetivando determinar o efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva no crescimento de plantas matrizes; Oliveira *et al.* (2013) estudaram o desempenho de duas cultivares de rúcula cultivadas em substrato e fertirrigadas com soluções nutritivas de diferentes salinidades; Santos Júnior *et al.* (2016) avaliaram os efeitos do estresse salino sobre as variáveis de produção e pós-colheita de flores de girassóis; Bione *et al.* (2014) avaliaram os efeitos de águas salobras em relação ao crescimento e à produção de plantas de manjeriço.

É possível notar a relação existente entre os estudos que embora tenham ocorrido com culturas diferentes todos concentram-se basicamente tentando identificar melhor condutividade elétrica da solução, avaliar efeito de temperatura ou estudar a viabilidade do uso de água salobra.

2.3 A cultura da alface

A alface (*Lactuca sativa*) é uma hortaliça folhosa de grande importância econômica consumida, principalmente, *in natura* na forma de saladas. Pertencente à família Asteraceae, tribo Cichoriceae, é uma planta herbácea, muito delicada, com caule pequeno, não ramificado, o qual se prendem as folhas em forma de roseta, podendo essas serem lisas ou crespas, verdes ou roxas, formando ou não uma cabeça (SOARES, 2007).

O sistema radicular é muito ramificado e superficial, explorando apenas os primeiros 25 cm de solo, quando a cultura é transplantada. Em semeadura direta, a raiz pivotante pode atingir até 60 cm de profundidade (FILGUEIRA, 2008). Em sistema hidropônico Nogueira e Silva (2002) encontraram 16,5 cm como valores máximos de comprimento de raiz, já Bremenkamp *et al.* (2010) encontraram valores máximos de até mais de 30 cm.

Em geral, a parte consumida da alface são as folhas, mas também o caule pode ser consumido e as sementes podem ser usadas para a produção de óleo. O valor alimentar de energia da alface normalmente é baixo, porém contém vitamina B e C e as sementes de alface contêm vitamina E (VRIES, 1997).

O consumo regular de alface proporciona inúmeros benefícios a saúde. Segundo Kim *et al.* (2016) a alface contém baixo teor de gordura, calorias e sódio, além disso, é fonte de fibras, ferro, folato e vitamina C e vários outros compostos bioativos benéficos à saúde que apresentam ação anti-inflamatória, redução do colesterol, e atividades antidiabéticas.

A alface possui atividade antioxidante (NOMAANE *et al.*, 2013). De acordo com Nicolle *et al.* (2004) o consumo de alface melhora o estado antioxidante devido ser rico em vitaminas C, E e carotenóides. Os mesmos autores observaram efeito benéfico sobre o metabolismo de lípidos e sobre a oxidação de tecido e relataram que o consumo regular de alface deve contribuir com a proteção contra doenças cardiovasculares.

Koronowicz *et al.* (2016) observaram em experimento que o extrato de plantas de alface pode ser usado de forma eficaz no tratamento de câncer. No Brasil o consumo dessa hortaliça é aproximadamente de 1,3 kg por pessoa ao ano (IBGE, 2011).

2.3.1 Origem

A teoria mais aceita é que a alface cultivada é originária de *L. serriola*. Segundo Linuqvist (1960) existem duas teorias quanto a origem da alface. A primeira considera que

o vegetal originou-se de formas selvagens de *L. sativa* e a segunda relata que a alface se originou a partir da descendência direta de *L. serriola*. O autor explica que qualquer teoria sobre a origem de *L. sativa* deve levar em conta o parentesco muito próximo com *L. serriola* e apresenta algumas hipóteses para explicar a proximidade entre as duas espécies:

1. Ambas as espécies são originárias de populações híbridas heterogêneas, que incluiu vegetais de alguma utilidade para populações primitivas e que *L. sativa* evoluiu através da seleção do homem, e *L. serriola* através da adaptação aos habitats.
2. Os progenitores de *L. sativa* eram híbridos entre *L. serriola* e outras espécies.
3. *L. serriola* é um produto de hibridação de espécies cultivadas de *L. sativa* e algumas outras espécies.

As regiões do Egito, Mesopotâmia, leste e sudoeste da Ásia são apontadas como prováveis centro de origem da alface. Sendo que a região mais provável é Sudoeste da Ásia. Posteriormente se espalhou dessa região para o Egito, como sugerido por evidências sobre pinturas de parede de cerca de 2500 a.C. e, em seguida para a Grécia e Roma, onde foi descrito na literatura que data cerca de 550 a.C. Na Europa os indícios de cultivo de alface datam cerca de 1485. Alface chegou ao continente americano por volta de 1500 (DAVEY *et al.*, 2002). No Brasil, sua introdução foi feita pelos portugueses em 1650 (SALA; COSTA, 2012). Na época da domesticação, a produção da alface visava principalmente a produção de sementes para a extração de óleo.

2.3.2 Cultivares

Segundo Filgueira (2008), os cultivares de alface disponíveis no mercado, podem ser agrupados em grupos genéticos de acordo com sua morfologia. O autor cita e descreve os seguintes grupos:

- **Repolhuda-crepa (americana)** – As folhas são crespas, consistentes, com nervuras destacadas formando uma cabeça compacta. As folhas internas são mais crocantes e mais claras que as folhas externas sendo preferidas para sanduíches. É resistente ao transporte e conserva-se melhor após a colheita, em relação a outros tipos. A cultivar típica é a norte-americana Great Lakes, da qual há várias seleções. Atualmente outras cultivares têm sido introduzidas no mercado brasileiro exemplificando-se como Tainá, Madona e Lucy Brown.

- **Repolhuda Manteiga** – As folhas são lisas, muito delicadas, de coloração verde-amarelada e aspecto amanteigado, formando uma típica cabeça compacta. A cultivar típica é a norte-americana White Boston, que já foi considerada padrão de excelência em alface. Atualmente, vem sendo substituída por outras cultivares, como Brasil 303 e Carolina.
- **Solta-lisa** – As folhas são macias, lisas e soltas, não havendo formação de cabeça. A cultivar típica é a tradicional Babá de verão. Atualmente, há diversas cultivares, como Monalisa, Luisa e Regina.
- **Solta-crespa** – As folhas são bem consistentes, crespas e soltas, não formando cabeça. A cultivar típica é a norte-americana Grand Rapids. Há novas cultivares, exemplificando-se com Verônica, Vanessa, Marisa e Solaris.
- **Mimosa** – Este é um tipo que recentemente vem adquirindo certa relevância. As folhas são delicadas e com aspecto “arrepinado”. Bons exemplos são as cultivares Salad Bowl e Greenbowl.
- **Romana** – Este grupo possui menor importância econômica. As folhas são alongadas e consistentes, com nervuras bem protuberantes, formando cabeças fofas. Bons exemplos são as tradicionais cultivares Romana Branca de Paris e Romana Balão.

2.3.3 Condições climáticas favoráveis

A alface é uma planta típica de países que apresentam temperaturas mais amenas (COSTA; LEAL, 2009). Sua adaptação a regiões de temperatura e luminosidade elevadas tem sido um grande obstáculo ao crescimento da planta, limitando o seu potencial genético (BEZERRA NETO *et al.*, 2005). A temperatura pode influenciar significativamente a cultura da alface, alterando a sua arquitetura, produção, ciclo e resistência ao pendoamento (DIAMANTE *et al.*, 2013).

Segundo Brunini *et al.* (1976) a temperatura média mensal mais indicada para o bom desenvolvimento e boa produção de plantas de alface varia de 15 a 18°C, com máximo de 21 a 24°C e mínimo de 7°C. Em estudos realizados por estes autores, com a cultivar White Boston, os mesmos observaram que a temperatura mínima de desenvolvimento desta hortaliça varia com o estágio da cultura, pois para a fase germinação-transplante a temperatura correspondeu a 6°C, e para a fase transplante-colheita esse parâmetro foi de 10°C. Outro fator que se observou foi que o desenvolvimento da cultivar White Boston em

função da temperatura do ar não é linear, pois atinge um valor máximo em torno dos 22 °C e após isso a taxa de desenvolvimento decresce. A temperatura ideal para a taxa de crescimento relativo declina a partir de mais de 23 °C (WHEELER, 1993). Henz e Suinaga (2009) relatam que a ocorrência de temperaturas mais elevadas encurta o ciclo da cultura e, dependendo do genótipo, pode resultar em plantas menores porque o pendoamento ocorre mais precocemente.

JEONG *et al.* (2015) conduziram estudo para caracterizar as concentrações de polifenóis em folhas de alface cultivada sob diferentes temperaturas noturnas (4, 12 e 20 °C). Em conclusão, os autores relataram que as temperaturas de 12 e 20 °C aos 20 dias produziram alface rico em polifenóis.

Na fase de processamento da alface, a temperatura elevada pode ser benéfica. Diana *et al.* (2005) relataram que o tratamento durante um período de 1 minuto com temperaturas elevadas (50 °C) mostrou um efeito positivo sobre as enzimas relacionadas com a manutenção da qualidade.

Já Feltrin *et al.* (2009) afirmam que embora seja reconhecida como planta típica de clima temperado, a alface possui cultivares melhoradas geneticamente com maior tolerância às temperaturas elevadas, o que possibilita seu cultivo todo o ano.

Segundo Seginer *et al.* (1991) a cultura possui dois mecanismos para se adaptar a temperaturas mais elevadas. Os autores estudaram temperatura ideal para cultivo de alface em estufa e explicam que com o aumento da área foliar ocorre a elevação da respiração devido uma fração maior de folhas sombreada. A segunda é o efeito positivo que a temperatura tem no incremento de área foliar. Quando as plantas são jovens, a temperatura recomendada (até 30 °C) pode ser consideravelmente maior do que o ótimo para fotossíntese bruta (24 ±1 °C) por favorecer o segundo mecanismo.

De acordo com Bezerra Neto *et al.* (2005) de modo geral baseados em dados obtidos em experimento, infere-se que os efeitos negativos de temperatura e luminosidade elevadas na produtividade da alface nas condições do semiárido nordestino podem ser minimizados de forma significativa quando se utiliza tela de sombreamento com sombrite de cor branca a uma altura a partir de 40 cm.

De acordo com Neves *et al.* (2016) o cultivo em ambiente protegido possibilita a produção de alface em condições limitantes para o seu desenvolvimento quando comparado ao cultivo convencional em campo aberto. Entretanto, a utilização de casas de vegetação do tipo “estufas” provoca o aumento da temperatura dentro desses ambientes, tornando-se uma característica indesejável para o cultivo nas condições tropicais, além do

elevado investimento inicial necessário. Segundo os mesmos autores os ambientes com telas de sombreamento e termo refletora 50% proporcionaram melhores condições para o cultivo de alface americana.

Dependendo do grupo genético as cultivares de alface apresentam respostas diferentes as condições climáticas. A alface tipo lisa é uma alternativa de mercado ao produtor, apresentando vantagens como a existência de materiais com resistência ao calor e ao pendoamento (FILGUEIRA, 2008). Já as principais cultivares de alface americana disponíveis no Brasil apresentam limitações de cultivo em determinadas regiões e épocas de plantio (SALA; COSTA, 2008).

2.3.4 Cultivo de alface hidropônico

A alface é uma espécie muito difundida em sistema de cultivo hidropônico no Brasil, provavelmente devido ao seu pioneirismo como cultura hidropônica no país, bem como, por se tratar de cultura de manejo mais fácil e por ser de ciclo curto (45 a 60 dias) garantindo assim retorno de capital mais rápido (SANCHEZ, 2007).

Na tentativa de viabilizar e elevar a eficiência do cultivo hidropônico no país, muitos pesquisadores desenvolveram estudos apontando os principais fatores e as possíveis soluções que contribuem ou limitam a produção desta cultura no referido sistema.

Nesse sentido Feltrin *et al.* (2009) avaliaram o desempenho de quatro cultivares de alface do grupo crespa, nos períodos de inverno e verão, em cultivo protegido, conduzidas no solo e em hidroponia em Jaboticabal- SP e relataram que o cultivo de verão determinou redução no acúmulo de matéria fresca cerca de 40%, constituindo-se em época pouco adequada à produção de alface em Jaboticabal.

Com o objetivo de avaliar a utilização do biofertilizante em substituição à solução nutritiva mineral no cultivo hidropônico da alface, Dias *et al.* (2009) conduziram um estudo, em ambiente protegido no município de Mossoró, RN e observaram que os melhores resultados de produção foram obtidos quando usaram solução nutritiva mineral.

Luz *et al.* (2008) estudaram a influência dos intervalos de irrigação na produção da alface cv. “Regina” em sistema hidropônico NFT e no consumo de energia do sistema e observaram que o intervalo de 45 minutos entre irrigações destacou-se por ter proporcionado diminuição no custo da energia elétrica de 42,1%, sem prejuízos à produtividade.

Costa e Leal (2009) estudaram a produção hidropônica de alface-crespa, variedade “Vera”, em bancadas inclinadas com canais de 100 mm, utilizando a técnica de

filme de solução nutritiva, em resposta à aplicação de dióxido de carbono e ao resfriamento evaporativo e concluíram que o ambiente climatizado com incremento de dióxido de carbono promoveu melhor desenvolvimento das plantas, com maior número de folhas comercializáveis.

Almeida *et al.* (2011) objetivando avaliar o efeito da omissão de macronutrientes no crescimento da alface cultivar Verônica, bem como observar os sintomas de deficiência mineral, realizaram estudo e concluíram que a omissão de macronutrientes causou prejuízos, pois afetou a nutrição da hortaliça que refletiu em alterações morfológicas, traduzindo como sintoma característico de cada nutriente.

Soares *et al.* (2015) estudaram o comportamento da alface americana (cv. Tainá) sob níveis crescentes de estresse salino (0,2 - testemunha, 1,2; 2,2; 3,2; 4,2 e 5,2 dS m⁻¹) em sistema hidropônico tipo NFT, usaram água salobra e água doce no preparo das soluções e perceberam que as massa fresca e seca da parte aérea e a área foliar sofreram reduções, por cada incremento unitário da condutividade elétrica.

Barbieri *et al.* (2010) buscando determinar a condutividade elétrica ideal para produção de alface em sistema hidropônico NFT sob condições tropicais de alta temperatura e luminosidade e revelaram que não há uma condutividade elétrica ideal para a solução nutritiva, mas uma faixa recomendada, cujos valores podem variar de 0,75 a 1,5 dS m⁻¹, para condições de alta temperatura.

Costa *et al.* (2001) avaliaram o efeito da condutividade elétrica sobre a produção e desenvolvimento de alface americana de cabeça crespa, cultivar Ryder em hidroponia e relataram que os maiores pesos do material fresco e seco foram conseguidos com CE 2,46 ($\pm 0,24$) dS cm⁻¹.

Objetivando avaliar o desenvolvimento da alface, dos tipos Mimosa e Romana, em função de diferentes concentrações da solução nutritiva, em sistema de cultivo hidropônico NFT, Luz; Fagundes e Silva (2015) concluíram que o cultivo de alface, dos tipos Mimosa e Romana em sistema hidropônico – NFT pode ser feito com o uso da solução nutritiva na concentração mais diluída (50%).

Monteiro Filho *et al.* (2014) estudaram o cultivo de cultivares de alface em sistema hidropônico tipo floating com soluções nutritivas organominerais e relataram que as soluções organominerais promoveram uma resistência maior à variação do pH e substituíram parcialmente a solução mineral.

Paulus *et al.* (2010) avaliaram a produção e os indicadores fisiológicos de alface cultivada em hidroponia com a utilização de água salina e reportaram e verificaram que o

cultivo hidropônico possui potencial de uso da água salina como alternativa para produção de hortaliças.

Date *et al.* (2005) estudaram o efeito da contaminação dos fertilizantes sobre as raízes de alface e relataram que a cloramina pode inibir o crescimento das plantas e causar escurecimento nas raízes.

Percebe-se que a maiorias dos pesquisadores direcionam seus estudos para avaliar os efeitos da temperatura do ambiente e da condutividade elétrica da solução nutritiva, indicando que estes dois fatores são os principais gargalos da produção de alface hidropônico.

2.3.5 Composição da solução nutritiva e composição mineral da parte aérea de alface

As primeiras formulações de soluções nutritivas para cultivo hidropônico, foram desenvolvidas por Knop, na Alemanha e incluíam somente KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KH_2PO_4 , MgSO_4 e um sal de ferro. Na época, acreditava-se que essa solução atendia toda a exigência nutricional das plantas (TAIZ *et al.*, 2017). Na atualidade as formulações de solução nutritiva usam como referência a conhecida solução Hoagland desenvolvida por Hoagland e Arnon (1950).

A formulação de uma solução nutritiva deve basear-se na solução de Hoagland. Isso porque Hoagland e Arnon foram os primeiros a apresentarem uma solução nutritiva completa e balanceada, que era baseada nas exigências do tomateiro. Em 1957, Johnson *et al.* (1957) fizeram uma adaptação na relação $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ visando manter a solução mais tamponada.

De acordo com Cometti *et al.* (2006) quando o nitrogênio é suprido na forma nítrica, a absorção de ânions é maior que de cátions, ocorrendo elevação do pH. A absorção de um mol de NO_3^- é feita em co-transporte com dois mols de H^+ , enquanto na absorção de um mol de NH_4^+ pode ocorrer bombeamento de um mol de H^+ para o exterior da célula. Assim, quando a absorção de NO_3^- aumenta o pH a absorção de NH_4^+ o reduz.

Segundo Cometti *et al.* (2008), a concentração de sais observada na solução de Hoagland se perpetuou e pode ser observada na maioria das soluções em uso atualmente, alcançando níveis de condutividades elétricas (CE) maiores do que $2,0 \text{ dS m}^{-1}$.

O cultivo hidropônico bem sucedido exige monitoramento e ajuste diário das características químicas da solução nutritiva. O ajuste da concentração, pH e composição

relativa dos nutrientes, pode influenciar o crescimento e a produção das culturas. De acordo com Backes *et al.* (2004), deve-se considerar os limites de pH, pressão osmótica e proporção entre nutrientes, para que um não interfira na absorção do outro e não ocorram precipitações de compostos insolúveis.

No Brasil, normalmente os produtores adotam a solução proposta por Furlani (1998) como solução padrão (tabela 1), usando a proporção sugerida ou realizando alterações respeitando a composição relativa da mesma.

Tabela 1 – Composição proporcional de fertilizantes usados no preparo de 1.000 L de solução nutritiva para as culturas de hortaliças de folhas, proposta por Furlani (1998).

Sal/fertilizante	g/1.000 L
Nitrato de cálcio	750
Nitrato de potássio	500
Fosfato monoamônio	150
Sulfato de magnésio	400
Sulfato de cobre	0,15
Sulfato de zinco	0,5
Sulfato de manganês	1,5
Ácido bórico ou Bórax	1,5
Molibdato de sódio ou amônio	0,15
Ferrilene@ (FeEDDHA-6%Fe) ou outra fonte quelatizado	30

Fonte: Furlani (1998).

Fernandes *et al.* (2018) avaliaram o crescimento e a produtividade da alface Americana cultivada em sistema hidropônico NFT e os resultados mostram que, soluções nutritivas de até 55% da solução nutritiva padrão não reduziram o crescimento e a produção da alface Americana.

O correto fornecimento de nutrientes está relacionado com o volume de solução, estágio de desenvolvimento das plantas, taxa de absorção de nutrientes, frequência de renovação e reposição de nutrientes na solução nutritiva. Tem-se observado que em condições de temperaturas e luminosidade mais elevadas a concentração elétrica da solução nutritiva deve ser reduzida (TORRES, 2009).

De acordo com Quadros *et al.* (2011), uma das maneiras para saber se a planta está, ou não, bem nutrida durante o ciclo é pela comparação dos valores dos teores dos

nutrientes em seu tecido, com valores de tabela. Nesse sentido podemos usar a avaliação da composição mineral da parte aérea das plantas para entender o efeito de diferentes formulações de soluções nutritivas em absorção de nutriente e produção vegetal.

Quadros *et al.* (2011) avaliaram o teor de macronutrientes na parte aérea de plantas de alface em função de doses de composto orgânico com e sem adição de fósforo ao solo e relataram que a ordem decrescente dos teores de macronutrientes nas plantas foi potássio > cálcio > nitrogênio > magnésio > fósforo > enxofre.

Kano; Cardoso e Villas Bôas (2011) avaliaram a curva de acúmulo de nutrientes pela planta de alface destinada à produção de sementes e verificaram que a ordem decrescente de acúmulo de nutrientes foi: K>N>Ca>Mg>P>S>Fe>Mn>Zn>B>Cu.

Grangeiro *et al.* (2006) determinaram o acúmulo de nutrientes em cultivares de alface cultivadas em condições do semiárido e encontraram a seguinte ordem decrescente dos nutrientes acumulados pelas cultivares de alface: K, N, P, Mg e Ca.

2.4 Trocas gasosas e reações de carboxilação

Os organismos autotróficos possuem a capacidade de fixar o carbono do CO₂ atmosférico em compostos orgânicos através de um processo conhecido como fotossíntese. Segundo Taiz e Zeiger (2017) a mais importante rota autotrófica de fixação de CO₂ é o ciclo de Calvin-Benson, encontrado em muitos procariotos e em todos eucariotos fotossintetizantes.

A formação de moléculas orgânicas tem início com a reação de fixação do CO₂, catalisada por uma enzima denominada ribulose1,5bisfosfato carboxilase/oxigenase (rubisco) (KERBAUY, 2008).

Modificações químicas, mutagênese sítio-direcionada, cálculos de dinâmica molecular e estruturas cristalinas de alta resolução mostraram que a molécula de CO₂ desempenha um papel duplo na atividade da rubisco: o CO₂ transforma a enzima de uma forma inativa para uma forma ativa (ativação) e é também o substrato para a reação de carboxilação (catálise) (TAIZ *et al.*, 2017).

Por controlar a entrada de CO₂ e a saída de água das folhas, o padrão de comportamento dos estômatos afetam diretamente a fotossíntese das plantas. Após o CO₂ penetrar na câmara estomática e atingir as células do mesófilo, a eficiência do processo de fixação do carbono no ciclo de carboxilação passa a depender de reações químicas e da atuação de enzimas específicas que atuam potencializando as reações. Os fatores ambientais

como temperatura, luminosidade, condutividade elétrica da água ou solução nutritiva e estado nutricional das plantas afetam tanto o comportamento estomático como o padrão das reações de carboxilação.

A enzima Ribulose 1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (RURISCO), responsável pela fixação do CO₂ em plantas, tem sua atividade carboxilase afetada em condições de estresse, devido aumento da concentração de inibidores, redução da regeneração de Ribulose 1,5-bisfosfato (RuBP), alteração do pH do estroma, entre outros fatores, afetando as reações do ciclo de Calvin e diminuindo a assimilação líquida de CO₂ nas plantas (GALMÉS *et al.*, 2013).

O carbono nos tecidos vegetais, representa o carbono líquido obtido durante a fotossíntese, isto é, o balanço de carbono obtido através dos estômatos menos o carbono perdido através da fotorrespiração e respiração (SCHUBERT e JAHREN, 2018).

2.4.1 Efeito da concentração da solução nutritiva nas trocas gasosas

O substrato principal para a fotossíntese é o CO₂. As ações coordenadas de demanda pelas células fotossintéticas e suprimento pelas células-guarda determinam a taxa fotossintética foliar, medida pela captação líquida de CO₂ (TAIZ; ZEIGER, 2017). Os estômatos são sensíveis a alterações no ambiente e permitem que a planta se adapte rapidamente às mudanças bióticas e estímulos abióticos (CHAVES; MAROCO e PEREIRA, 2003).

Segundo Craparo *et al.* (2017), o monitoramento da condutância estomática ao vapor de água (gs) e/ou transpiração, fornece informações sobre a interação das plantas com o ambiente microambiente. Sendo esses dados importantes para tomada de decisão visando na elaboração de práticas de manejo.

Como as trocas gasosas das plantas acontecem por meio da fenda estomática que juntamente com as células guardas e as células subsidiárias formam o complexo estomático. Essas células sofrem mudanças e alteram a condutância estomática na tentativa de reduzir a taxa de transpiração e conseqüentemente atenuar o déficit hídrico. Normalmente plantas cultivadas em concentrações de sais mais elevadas, tentando reduzir as perdas de água, tendem a reduzir a abertura estomática e conseqüentemente a condutância estomática. A redução da condutância estomática prejudica a absorção de CO₂. O gradiente que governa a perda de água é cerca de 50 vezes maior que o que regula o influxo de CO₂ (TAIZ e ZEIGER,

2017). A redução a entrada de CO₂ proporciona uma condição de menor concentração interna desta molécula reduzindo também a taxa de fotossíntese.

De acordo com Costa *et al.* (2001) a concentração da solução nutritiva, além de afetar outras variáveis, influencia a abertura estomática, o que tem relação com a eficiência fotossintética, a expansão das folhas, o crescimento radicular e o índice de colheita. Outros fatores também podem provocar alterações na condutância estomática. Segundo Chaves, Maroco e Pereira (2016) essa variável pode ser influenciada continuamente de acordo com as mudanças no ambiente, como concentração atmosférica de CO₂, luz solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, etc.

As plantas absorvem água por diferença de potencial entre a solução e o tecido vegetal. O excesso de íons acumulado na solução provoca redução no potencial osmótico e no potencial hídrico da mesma. Para que as plantas continuem absorvendo água há a necessidade da redução dos potenciais das raízes e das folhas mantendo assim um gradiente de potencial no sistema solução planta. O problema é que a elevação da concentração de solutos nas raízes, especialmente os iônicos, pode causar redução da permeabilidade do sistema radicular. Com isso ocorre redução na absorção de água e esse fator associado a um ambiente que potencialize a demanda transpirativa, submete a planta a uma condição de déficit hídrico.

Segundo Taiz e Zeiger (2017) os efeitos da salinidade sobre as plantas são semelhantes aos efeitos causados por déficit hídrico e podem ser classificados em efeitos primários e secundários. São considerados como sintomas primários a redução do potencial hídrico, a desidratação celular e citotoxicidade iônica. Já os secundários dentre outros podemos destacar a redução da expansão celular/foliar; fechamento estomático; abscisão foliar; cavitação e inibição fotossintética.

Na tabela 2 podemos observar que em todos os trabalhos os autores relataram que a condutância estomática (g_s), a concentração interna de CO₂ (C_i), a transpiração (E), fotossíntese (A) e a produção das plantas foram comprometidas quando cultivadas em concentrações de sais mais elevadas.

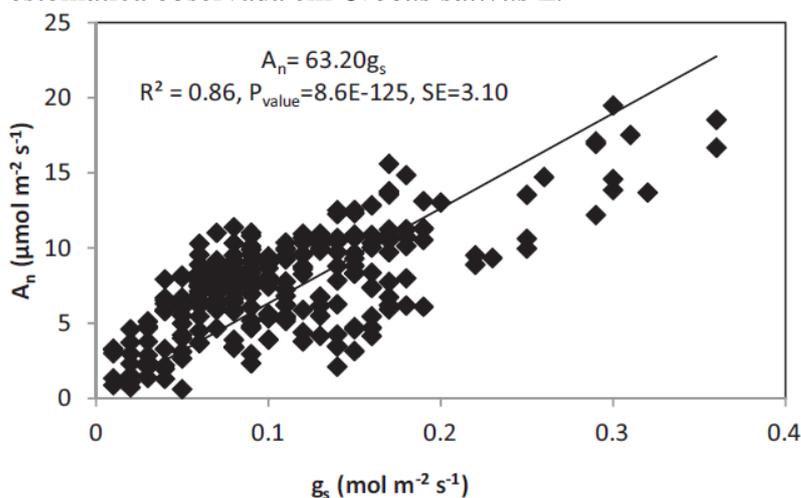
Tabela 2 – Revisão de trabalhos que avaliaram o efeito da condutividade elétrica na Condutância Estomática (g_s), a Concentração interna de CO_2 (C_i), a Transpiração (E), Fotossíntese (A) e a produção de diferentes culturas.

Cultura	g_s	C_i	E	A	Prod.	Fonte
<i>Vigna unguiculata</i>	-	NA	-	-	-	Silva <i>et al.</i> (2011)
<i>Anacardium occidentale</i> L	ns	NA	ns	ns	ns	Amorim <i>et al.</i> (2010)
<i>Jatropha curcas</i> L	-	NA	-	-	NA	Sousa <i>et al.</i> (2012)
<i>Vigna unguiculata</i>	-	NA	-	-	NA	Neves <i>et al.</i> (2009)
<i>Alhagi pseudalhagi</i>	-	-	NA	-	NA	Kurban <i>et al.</i> (1999)
<i>Solanum melongena</i> L	-	-	-	-	-	Bosco <i>et al.</i> (2009)
<i>Citrullus lanatus</i> L	-	-	-	+/-	NA	Oliveira <i>et al.</i> (2016)
<i>Crocus sativus</i> L	-	ns	-	-	NA	Yarami e Sepaskhah (2015)
<i>Hordeum vulgare</i>	-	-	NA	-	NA	Jaing <i>et al.</i> (2006)

A salinidade contribuiu com a redução da variável; + A salinidade contribuiu com a elevação da variável; ns – A salinidade não afetou a variável; NA – Variável não avaliada no trabalho.
Fonte: elaborada pelo autor.

A figura 1 representa a relação entre a condutância estomática e a taxa de fotossíntese. É facilmente observável que as variáveis possuem relação direta, ou seja, quanto maior a condutância estomática maior é a taxa de fotossíntese, ratificando o que foi relatado anteriormente.

Figura 1 – Relação entre fotossíntese e condutância estomática observada em *Crocus sativus* L.



Fonte: Yarami e Sepaskhah (2015)

Com a redução na fotossíntese a produtividade das plantas fica comprometida. Como pode ser observado nos trabalhos de Bosco *et al.* (2009) e Silva *et al.* (2011).

Os efeitos iônicos específicos resultantes da acumulação de íons resultantes de concentrações salinas elevadas também podem causar danos na maquinaria da fotossíntese reduzindo assim seus valores.

Kurban *et al.* (1999) reporta que, a redução na fotossíntese causada pela maior condutividade elétrica da solução podem estar mais relacionadas com os danos no aparelho fotossintético e/ou no sistema enzimático de fixação do CO₂, causadas pela toxidez iônica do que, propriamente, com as limitações impostas pelos estômatos.

Moreira, Soares Filho e Fernandes (2014), avaliaram os mecanismos fisiológicos de percepção e tolerância ao estresse salino em híbridos de citros em cultivo hidropônico e relataram que as variáveis fluorescência inicial, condutância estomática e eficiência no uso da água podem ser usadas para descrever a percepção do estresse salino nos híbridos estudados.

Silva *et al.* (2015) estudaram as variáveis fisiológicas da berinjela em função da lâmina de irrigação e observaram que a taxa fotossintética aumenta com o acréscimo da disponibilidade hídrica.

Morais, Rossi e Higa (2017) verificaram em Taxi-Branco que o comportamento das taxas de transpiração foliar foi inversamente proporcional às taxas de fotossíntese líquida, mostrando incremento em função do aumento da temperatura foliar.

Guerra, Costa e Tavares (2017) avaliaram o efeito de telas de sombreamento em relação ao pleno sol sobre a capacidade fotossintética e a produtividade de alface crespa cultivar Elba e observaram valores médios de 15,53 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), 4,92 ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e 1,04 ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) para fotossíntese, transpiração e condutância estomática respectivamente.

Soares *et al.* (2015) estudando a cultivar Tainá, usando água com diferentes composições em sistema hidropônico tipo NFT, observaram valor de condutância estomática de 0,65 $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para plantas normais e 0,10 $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para plantas sob estresse.

Santos *et al.* (2010) estudaram a atividade fotossintética de alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais e verificaram que os valores variaram de 9,3 a 16,4 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), 2,9 a 5,4 ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e 0,24 a 0,69 ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) para fotossíntese, transpiração e condutância estomática, respectivamente.

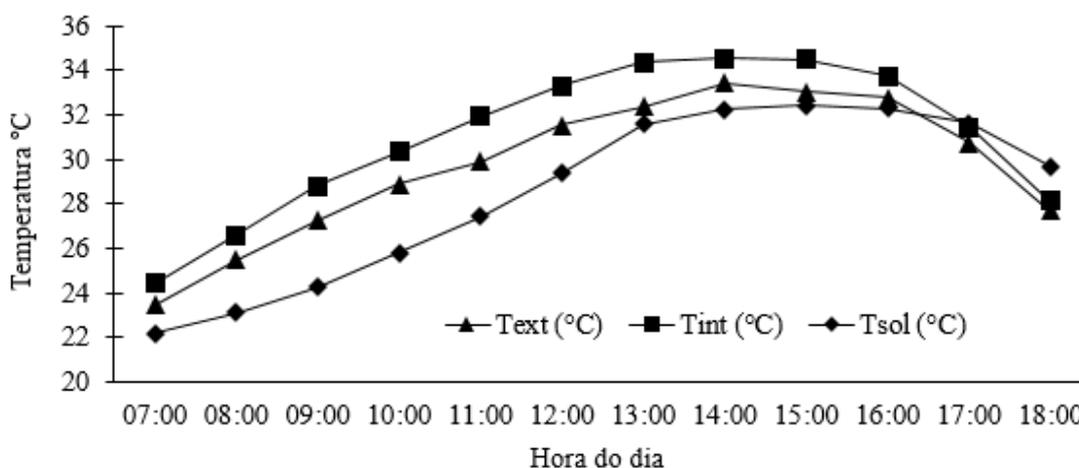
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

Para testar as hipóteses formuladas, montou-se um sistema de cultivo hidropônico do tipo técnica de fluxo laminar de nutrientes (NFT), que foi montado em uma área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará campus Tauá. O município de Tauá-CE (Coordenadas – Latitude: 06°00'11"S; Longitude: 40°17'34"W; Altitude 402 m) está situado no estado do Ceará, mais precisamente, na macrorregião dos Sertões dos Inhamuns. Baseado na classificação de Köppen, em Tauá predomina clima tipo BSh (Semiárido quente) com temperatura média de 25,4 °C e com pluviosidade média anual 576 mm.

Diariamente foi mensurado, a cada hora, a temperatura da solução nutritiva, temperatura de dentro da estufa e a temperatura do ambiente externo no intervalo de 7h00min às 18h00min, usando um termômetro analógico. Os valores médios de temperatura são apresentados na figura 2.

Figura 2 – Valores médios de temperatura do interior (Tint) da estufa, temperatura do ambiente externo (Text) e temperatura da solução nutritiva (Tsol), durante 45 dias de cultivo de alface em sistema hidropônico.



Fonte: elaborada pelo autor.

3.2 Descrição do sistema

O sistema foi montado dentro de uma estufa agrícola com dimensões de 6,4 m

de largura e 16 m de comprimento com pé direito de 4,25 m, montada com estrutura em aço galvanizado coberta com filme agrícola difusor de 150 micras e revestimentos frontais e laterais com tela monofilamento preta 50% (Figura 3).

Figura 3 – Estufa agrícola usada na condução do experimento.



Fonte: elaborada pelo autor.

O sistema NFT usado no experimento é composto por quatro unidades contendo, cada uma, três tubulações de PVC com diâmetro de 75 mm e 6 m de comprimento, que serviram de suporte para as plantas, uma tubulação PVC de retorno com diâmetro de 50 mm e um reservatório com capacidade para 150 litros usado para alimentar o sistema e coletar a solução do retorno, o sistema foi montado em cima de uma bancada de caibro com declividade de 3% (Figura 4).

Figura 4 – Vista geral do sistema de cultivo hidropônico tipo NFT, montado no Instituto Federal do Ceará campus Tauá-Ce.

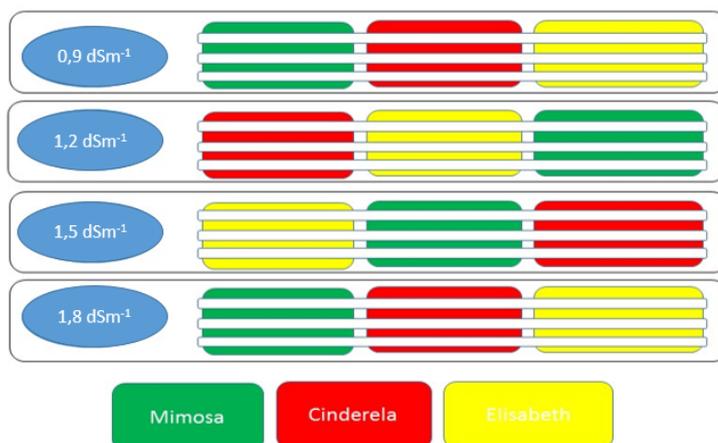


Fonte: elaborada pelo autor

3.3 Delineamento experimental

O experimento foi montado em um delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdivididas 4 x 3 totalizando 12 tratamentos, sendo que nas parcelas foram alocadas as condutividades elétrica da solução nutritiva (0,9; 1,2; 1,5; 1,8 dS m⁻¹) e nas subparcelas os cultivares de alface (Elisabeth; Cinderela e Mimosa Salad Bowl) conforme o croqui experimental apresentado na figura 5. Cada subparcela era composta por 24 plantas.

Figura 5 – Croqui do delineamento em parcelas subdivididas com quatro soluções nutritiva e três variedades de alface.



Fonte: elaborada pelo autor.

3.4 Condução do experimento

3.4.1 Produção de mudas

As mudas foram produzidas em bandejas de isopor de 160 células em substrato de fibra de coco. No dia 17/06/2016 foi realizado a semeadura das três variedades de alface, para essa atividade usou-se duas sementes por célula da bandeja e as mesmas foram depositadas a 0,5 cm de profundidade. Para que todas as sementes fossem semeadas na mesma profundidade, usou-se uma ferramenta, produzida com madeira e prego caibral, para auxiliar a abertura furos com a mesma profundidade (Figura 6). Em seguida as bandejas foram acomodadas em sobre estrados de madeira dentro da própria casa de vegetação que o experimento foi conduzido.

Figura 6 – Ferramenta usada para fazer aberturas dos furos para a realização da semeadura



Fonte: elaborada pelo autor.

A emergência das plântulas foi completada no dia 20/06/2016, nessa oportunidade foi realizado um desbaste manual deixando apenas uma plântula por célula. As bandejas foram irrigadas, durante 14 dias, com solução nutritiva $0,9 \text{ dS m}^{-1}$ três vezes ao dia, sempre no início da manhã, meio dia e final da tarde. As irrigações foram realizadas com um regador com capacidade volumétrica de 5 L.

3.4.2 Preparo das soluções

As soluções foram preparadas a base Kristalon laranja® e Calcinit®. Inicialmente mediu-se a condutividade elétrica da água em seguida adicionou-se a quantidade de nutrientes necessário para elevar a condutividade elétrica da água usando como base a relação empírica ($0,64 \text{ g l}^{-1}$) entre a condutividade elétrica (C.E., dS m^{-1}) e a concentração de Sólidos Totais Dissolvidos (STD, mg l^{-1}) descritos na equação apresentado por Metcalf e Eddy (1991). Para medir a condutividade elétrica da água e da solução foi utilizado condutivímetro digital portátil. Diariamente os reservatórios foram recarregados e as concentrações de nutrientes corrigidas. Toda a água e nutrientes usados nas recargas foram quantificados. A composição de nutrientes nos fertilizantes é apresentada na tabela 3.

Tabela 3 – Fertilizantes usados na preparação das soluções e suas respectivas proporções de nutrientes.

Fertilizante	Nutrientes (%)											
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn	B	Fe	Mo
KristalonLaranja® (06-12-36)	6	12	36	-	18	8	0,01	0,04	0,025	0,025	0,07	0,004
Calcinit®	15,5			19								
Ferrilene®											6	

Fonte: Yara Brasil

3.4.3 *Transplântio*

O trasplântio foi realizado no dia 04/07/2016, quando as plantas se encontravam com 3 a 4 folhas. As mudas foram retiradas das bandejas com o auxílio de uma espátula em seguida levadas a bancada do sistema hidropônico NFT. Como a fase de berçário foi conduzida no próprio sistema, usou-se copos descartáveis de 90 mL, sem o fundo, para servir de apoio para as mudas na bancada (figura 7).

Figura 7 – Copo descartável usado para acomodação das mudas de alface durante a fase de berçário.



Fonte: elaborada pelo autor.

3.4.4 *Operação do sistema NFT*

O sistema de bombeamento da solução é composto por 4 eletrobombas que tinham o funcionamento controlado por um temporizador, construído a partir de um arduino, programado para acionar o sistema por 15 minutos interuptos e em seguida desligar o sistema por 15 minutos. Essa programação funcionava das 6:00 h até às 18:00 h, a partir desse horário até a 6:00 h, o temporizador acionava o sistema por 15 minutos e desligava por uma hora.

3.4.5 Retirada dos copos

No dia 17/07/2016 as plantas foram retiradas dos copos, para isso as mudas foram retiradas da bancada, tendo o cuidado para não causar danos ao sistema radicular, tendo em vista sua fragilidade. Em seguida foi realizado um corte com uma tesoura na base do copo, facilitando assim a remoção do objeto.

3.4.6 Colheita

As plantas foram colhidas de forma manual, retirando-se da bancada 10 plantas por subparcela. As plantas selecionadas para a colheita foram as que apresentavam a maior homogeneidade dentro do tratamento. Essa etapa ocorreu no dia 04/08/2016, quando os vegetais estavam com 45 dias após a emergência. Logo após a colheita as plantas foram levadas ao laboratório de biologia do Instituto Federal do Ceará *campus* Tauá, para aferição das variáveis de produção.

1.4.7 Avaliação das plantas

Um dia antes da colheita foi realizado uma avaliação de variáveis fisiológicas. Após a colheita foi quantificado a área foliar, a massa fresca da raiz, caule e folha e em seguida o material foi colocado em uma estufa de circulação de ar a 65 °C.

3.4.7.1 Medições das trocas gasosas e teores relativos de clorofila total: índice Spad

As avaliações fisiológicas foram realizadas no dia 03/08/2016, um dia antes da colheita. Estas medidas foram realizadas em dois horários às 7:30 h e às 11:30 h. A taxa de fotossíntese, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO₂ em folhas totalmente expandidas, foi medida utilizando-se o analisador de gases infravermelho portátil (IRGA), modelo Li – 6400XT (Portable Photosynthesis System - LI) da LICOR®. Os teores relativos de clorofila total foram mensurados no intervalo entre as medidas de trocas gasosas e para isso usou-se um medidor portátil (SPAD 502, Minolta Co, Ltd, Osaka, Japan).

3.4.7.2 Massa fresca e seca da raiz, caule e folha

Aos 47 dias após a semeadura (DAS), as plantas foram colhidas retiradas da bancada, separadas em frações caule, folha e raiz, pesadas para a obtenção da massa fresca e levados para estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até massa constante. Após secagem a massa seca da raiz (MSR) a massa seca do caule (MSC) e a massa seca das folhas (MSF) foram mensuradas com o auxílio de uma balança de precisão.

3.4.7.3 Área foliar

A área foliar foi mensurada utilizando um integrador de área (LI-3100, Li-Cor, Inc. Lincoln, NE, USA). As folhas foram destacadas do caule e passadas individualmente no aparelho, sendo o valor expresso em cm² por planta.

3.4.7.4 Composição química da parte aérea

Após a pesagem, parte do material da fração folha, que passou por secagem em estufa, foi moído em moinho tipo “Willey” e acondicionado em recipientes plásticos hermeticamente fechados e posteriormente foram enviadas ao laboratório para análise.

A análise de nitrogênio (N) total das folhas de alface foi mensurado pelo método de Kjeldahl. Os elementos Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Cobre (Cu) foram quantificados por digestão nitro-perclórica. Usou-se o método do colorimétrico com azometina-H para estimar o percentual de boro (B) nas folhas de alface (BATAGLIA e RAIJ, 1990). As análises foram realizadas no laboratório de análise de solo e tecido vegetal do Sindicato dos Produtores Rurais de Manhuaçu – MG. (Labsolo).

3.4.7.5 Consumo de água e fertilizante

A cada recarga realizada nos reservatórios de alimentação no sistema o volume de água e a quantidade de fertilizante foram mensurados e no final do ciclo foi realizado o somatório das quantidades em cada caixa. Após a colheita foi possível estimar o consumo de água por planta relacionando o quantitativo de água consumida de cada reservatório pelo número de plantas da parcela.

3.5 Análise dos dados.

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1% e 5% de probabilidade. Quando as variáveis, referente aos tratamentos qualitativos, apresentaram diferença significativa, as médias foram submetidas a teste de média tipo tukey. Já os tratamentos quantitativos, foram submetidos a análise de regressão. Para a realização destas análises foram usados os softwares Microsoft Excel, ASSISTAT versão 7.6 beta e STATISTICA versão 7.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para facilitar a análise e interpretação, os resultados foram divididos em: variáveis de crescimento; trocas gasosas; composição nutricional e consumo de água e fertilizante. Nas seções seguintes são apresentadas as análises estatísticas, teste de médias, análise de regressão e discussão dos resultados encontrados.

4.1 Variáveis de crescimento.

Os tratamentos avaliados, condutividade elétrica da solução nutritiva e cultivares de alface, exerceram efeito significativo em todas as variáveis de produção analisadas, porém a interação entre os referidos tratamentos não se mostrou significativa (tabela 4).

Tabela 4 – Resumo das análises das variâncias para as variáveis Massa Fresca de Folhas (MFF), Massa Fresca de Caule (MFC), Massa Fresca de Raiz (MFR), Massa Fresca da Planta Inteira (MFPI), Massa Seca de Folhas (MSF), Massa Seca de Raiz (MSR) e área Foliar (AF) de plantas de três cultivares de alface, conduzidas em sistema hidropônico tipo NFT, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplante.

FV	GL	Teste F						
		MFF	MFC	MFR	MFPI	MSF	MSR	AF
CE (a)	3	9,98 ⁻	5,37 ⁻	4,40 ⁻	8,03 ⁻	2,57 ⁻	11,73 ⁻	3,23 ⁻
Cultivar (b)	2	86,69 ^{**}	101,13 ^{**}	20,18 ^{**}	94,55 ^{**}	45,34 ^{**}	10,80 ^{**}	66,59 ^{**}
(a) x (b)	6	0,94 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,70 ^{ns}	1,58 ^{ns}	1,60 ^{ns}	0,29 ^{ns}
R. Linear	1	27,95 ^{**}	6,75 [*]	2,10 ^{ns}	19,54 ^{**}	5,66 [*]	20,88 ^{**}	7,02 [*]
R. Quadrática	1	0,72 ^{ns}	1,43 ^{ns}	5,96 [*]	1,77 ^{ns}	0,14 ^{ns}	3,16 ^{ns}	2,57 ^{ns}
R. Cúbica	1	1,27 ^{ns}	7,94 [*]	5,13 [*]	2,79 ^{ns}	1,89 ^{ns}	11,15 ^{**}	0,10 ^{ns}

FV – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; ns significativo; *significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 5% de probabilidade; CE – condutividade elétrica da solução; Teste F – Teste para comparação de variâncias.

Em relação aos efeitos significativos, resultados semelhantes foram encontrados por Monteiro Filho *et al.* (2014), estes autores analisaram a composição da solução nutritiva e diferentes variedades de alface em sistema hidropônico e relataram que as variáveis de produção foram influenciadas tanto pela solução hidropônica como pelo material genético da planta. Os efeitos significativos da condutividade elétrica da solução nutritiva sobre as variáveis de produção de alface também foram observados por Soares *et al.* (2015) e Magalhães *et al.* (2010).

Na tabela 5 consta o teste de médias para variáveis de produção em função do cultivar de alface. Observa-se que o cultivar Mimosa mostrou-se superior em todos os parâmetros relacionados a massa. Quando comparada as cultivares Cinderela e Elisabeth, com destaque para massa fresca de caule, massa fresca de raiz e massa fresca da planta inteira, tendo em vista que estes são os parâmetros considerados para a comercialização, pois normalmente a parte comercializada da alface é a planta inteira ou a parte aérea em seu estado fresco. A variável área foliar ratifica a inferioridade do cultivar Cinderela, esta produziu aproximadamente metade da área foliar das demais cultivares.

Tabela 5 – Teste de médias para o efeito significativo do tratamento variedade sobre as variáveis Massa Fresca de Folhas (MFF), Massa Fresca de Caule (MFC), Massa Fresca de Raiz (MFR), Massa Fresca da Planta Inteira (MFPI), Massa Seca de Folhas (MSF), e Massa Seca de Raiz (MSR) de plantas de três cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.

Cultivar	MFF	MFC	MFR	MFPI	MSF	MSR	AF
Mimosa	260,43 a	35,50 a	93,28 a	391,45 a	14,83 a	5,91 a	4420,17 a
Cinderela	119,97 c	10,68 c	70,31 b	191,70 c	8,28 c	4,97 b	2175,25 b
Elisabeth	178,55 b	15,22 b	84,16 a	274,84 b	10,84 b	5,48 a	4897,17 a
CV (%)	18,19	25,72	13,98	16,14	19,38	11,72	16,11
DMS	26,29	4,35	9,00	17,29	1,70	0,50	650,13

CV – Coeficiente de variação

DMS – Diferença mínima significativa

Fonte: elaborada pelo autor.

Avaliando a massa fresca da parte aérea, a produção média da cultivar Mimosa atingiu valor de 295,93 g planta⁻¹ aos 45 dias após a emergência, produção superior a encontrada por Luz, Fagundes e Silva (2010) que avaliando a produção desta cultivar em sistema hidropônico na cidade de Uberlândia-SP, encontraram valores médios de produção de parte aérea de 198,3 g planta⁻¹ aos 59 (DAS). Sedyama *et al.* (2009) também avaliaram a produção de cultivares de alface, dentre elas a Mimosa e chegaram a valores de 236,1 g planta⁻¹ para massa fresca de folhas e 336,3 g planta⁻¹ para massa fresca da planta inteira aos 46 dias após a semeadura. O autor ainda avaliou mais 35 cultivares e o valor máximo obtido para as referidas variáveis foi com o cultivar Org do grupo americana, que apresentou valor máximo de 445 g planta⁻¹ aos 63 DAS.

Costa e Leal (2009) estudando a produção do cultivar Vera em três ambientes de cultivo encontraram valores médios de 167,83 g planta⁻¹ para massa fresca de folha, já Streck

et al. (2007) encontraram valores de 242,80 g planta⁻¹ de folhas frescas para o cultivar Regina.

Magalhães *et al.* (2010) avaliaram o desempenho de várias cultivares de alface em cultivo hidropônico e encontraram os seguintes valores médios para massa fresca da planta inteira (g planta⁻¹) aos 45 DAS: Regina 579 – 149,3; Luisa - 101,6; Vit Verdinha – 157,8; Floresta – 82,9; Babá de verão – 125,9; Manoa – 136,7; Saia Véia 115,8, com média geral entre os cultivares de 124,3 g planta⁻¹. Todas as cultivares apresentaram menor valor de massa fresca da planta inteira, quando comparado com o presente estudo.

O fator cultivar também influenciou a variável área foliar (tabela 5). O cultivar Mimosa produziu 4420,17 cm² de área foliar e não diferiu estatisticamente do cultivar Elisabeth que produziu 4897,17 cm². Já a cultivar Cinderela apresentou 2175,25 cm² representando apenas 49% e 44% da área foliar das cultivares Mimosa e Cinderela, respectivamente.

Oliveira *et al.* (2011) também observaram efeito significativo, sobre a área foliar, tanto dos cultivares como da condutividade elétrica da solução. Porém, o valor máximo obtido foi de 2291,76 cm², e o mínimo 1259,01 cm² para as cultivares Stella e Grandes Lagos 659, nesta ordem, aos 35 DAT, ficando bem abaixo dos valores de área foliar das cultivares Mimosa e Elisabeth.

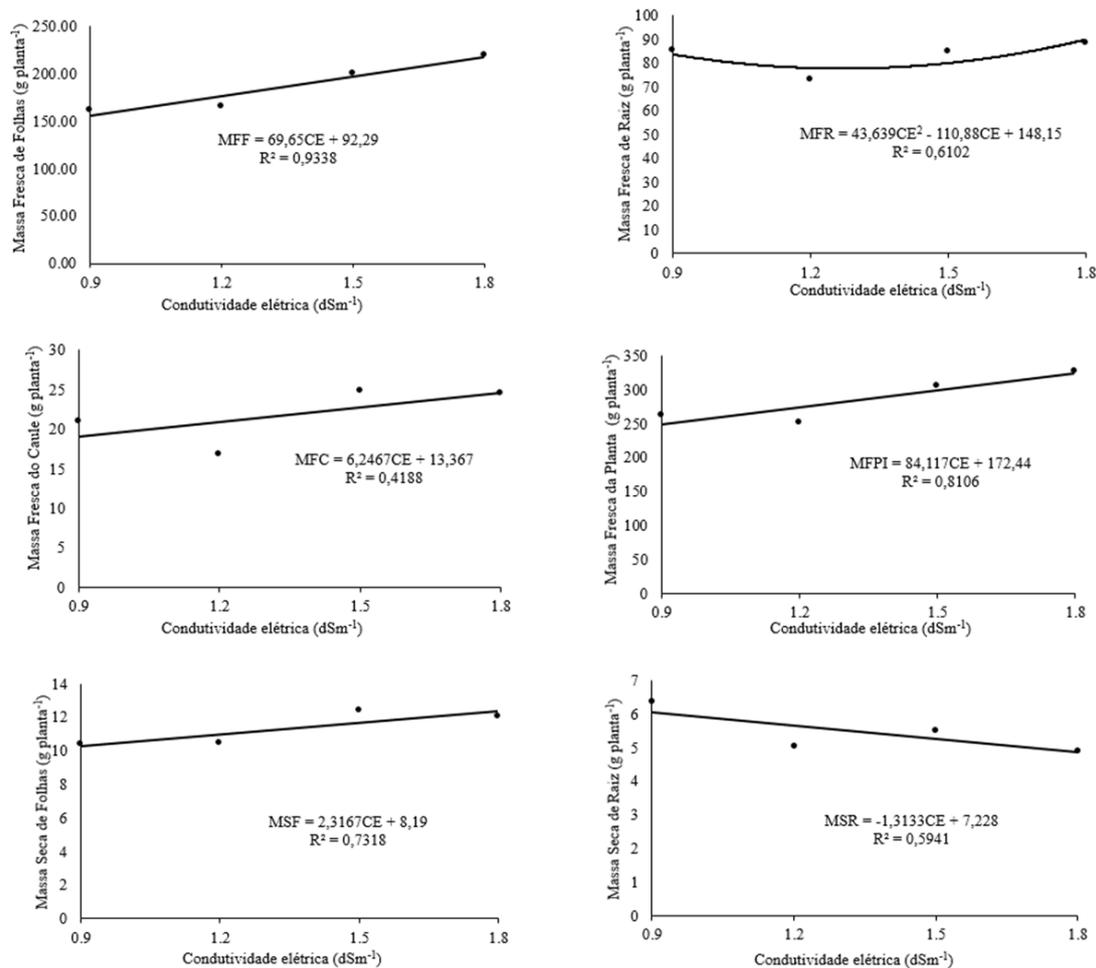
Área foliar menor também foi observada por Almeida *et al.* (2011) que encontraram valores de área foliar para a cultivar Veronica, variando de 828,15 a 1313,53 cm². No entanto, Feltrim *et al.* (2009) encontraram valores bem semelhantes ao presente estudo, os referidos autores descreveram os seguintes valores médios para área foliar de quatro cultivares de alface: 4858,20 (Marisa); 4872,10 (Verônica); 3609,80 (Veneza Roxa) e 4925,50 (Vera).

A comparação dos valores obtidos no presente experimento, com os relatos encontrados na literatura mostra que as cultivares Mimosa e Elisabeth produziram área foliar satisfatória ficando os valores semelhantes aos valores máximos descritos na maioria dos trabalhos.

A figura 8 apresenta as variáveis de produção de plantas de alface em função da condutividade elétrica da solução nutritiva. É possível observar na referida figura que para o intervalo de condutividade elétrica avaliado, de 0,9 a 1,8 dS m⁻¹, as variáveis massa fresca de folhas, massa fresca de caule, massa fresca de raiz, massa fresca da planta inteira e massa seca de folhas apresentaram a mesma resposta, com os dados se ajustando a um modelo

linear crescente, ou seja todos os resultados cresceram com a elevação da condutividade elétrica da solução.

Figura 8 – Variáveis Massa Fresca de Folhas (MFF), Massa Fresca de Caule (MFC), Massa Fresca de Raiz (MFR), Massa Fresca da Planta Inteira (MFPI), Massa Seca de Folhas, Massa Seca de Caule e Massa Seca de Raiz de plantas de três cultivares de alface, conduzidas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Prosseguindo analisando a figura 8 é possível observar ainda que para cada elevação unitária da condutividade elétrica da solução nutritiva, dentro do intervalo avaliado, resulta na elevação da produção de 69,65 g na matéria fresca das folhas, 6,24 g na matéria fresca do caule, 84,11 g na matéria fresca da planta inteira e 2,31 g na matéria seca das folhas. Em todas as variáveis de produção avaliadas, a condutividade elétrica da solução de 1,8 dSm⁻¹ proporcionou produção máxima.

Resultados semelhantes foram encontrados por Fonseca, Schuck e Silva (2010) que obtiveram melhor desenvolvimento vegetativo, de plantas de alface, quando usaram a solução nutritiva com condutividade elétrica de $1,8 \text{ dS m}^{-1}$.

Os resultados da presente pesquisa também diferem de Paulus *et al.* (2010) que encontraram resultados exatamente contrários. Os autores observaram que as variáveis de produção apresentaram resposta linear decrescente em função da condutividade elétrica da solução. Possivelmente, o fato de Paulus *et al.* (2010) terem usado cloreto de sódio para elevar a condutividade elétrica da solução nutritiva elevou a concentração desses elementos na concentração o que pode ter acarretado em um desbalanceamento no ajuste osmótico da planta, o que não foi observado no presente estudo.

Na literatura revisada observou-se muitos dados conflitantes em relação ao valor de condutividade elétrica que maximiza a produção de alface. Nos estudos de Barbieri *et al.* (2010) a produção máxima foi alcançada com a condutividade elétrica de $1,24 \text{ dS m}^{-1}$. Andriolo *et al.* (2005) trabalharam com o cultivar Vera e concluíram que $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ proporcionou maior produção. Seo *et al.* (2009) variaram a condutividade elétrica da solução de $0,5$ a $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ e observaram que a condutividade elétrica de $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ proporcionou maior índice de área foliar, número de folhas, altura de planta, massa fresca por planta e teor de clorofila, Beninne *et al.* (2002) também trabalharam com a variação da condutividade elétrica em alface tipo crespa cultivar verônica e obtiveram maiores resultados de produção usando a condutividade elétrica de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$.

Resultados de diversos trabalhos nos conduzem a perceber que os tipos de íons e suas proporções na composição da solução nutritiva, dentro de certo intervalo, bem como a idade de colheita da planta podem ter contribuição maior que a própria condutividade elétrica. Normalmente, a toxicidade é provocada pelos íons cloreto, sódio e boro (DIAS e BLANCO, 2010).

Segundo Epstein e Bloom (2005) as anomalias associadas a estresse salino estão relacionadas com a composição elementar do solo. Concentrações elevadas de Na^+ , Cl^- , As e Cd associadas a baixas concentrações de nutrientes essenciais, como Ca^{2+} , Mg^{2+} , N e P potencializam os efeitos do estresse salino. Baseado nessa afirmativa é possível ratificar que a contribuição positiva da elevação da condutividade elétrica da solução com a elevação das variáveis de produção pode ser atribuída a composição balanceada da solução nutritiva.

Como o estresse salino possui dois componentes: o efeito osmótico e efeito iônicos específicos (EPSTEIN e BLOOM, 2005) o efeito osmótico pode ter sido minimizado

com a disponibilidade abundante de água no sistema radicular e o efeito de específicos pela ausência ou baixa concentração dos referidos elementos.

No geral, o incremento de fitomassa da parte aérea em detrimento a redução do sistema radicular observado no presente estudo é condizente com o relato de Gondim *et al.* (2010) ao perceberem que a condutividade elétrica de $2,6 \text{ dS m}^{-1}$ proporcionou produção máxima de $1.277,35 \text{ g planta}^{-1}$, mesmo inibindo o crescimento radicular.

O sistema radicular da alface apresentou desempenho diferente das variáveis da parte aérea. Embora os dados do peso fresco da raiz tenham se ajustado ao modelo quadrático o peso seco da raiz apresentou resposta linear decrescente, mostrando que à medida que aumenta a condutividade elétrica da solução o peso do sistema radicular tende a reduzir, para cada unidade em dS m^{-1} que se eleva na condutividade elétrica da solução nutritiva acarreta um decréscimo de $1,31 \text{ g}$ no peso seco da raiz que em termos percentuais representa $21,7\%$.

Como no sistema hidropônico a raiz é órgão da planta que fica em contato direto com a solução, acaba sendo o órgão mais sensível a variação da condutividade elétrica da solução nutritiva. Park *et al.* (2016) explica que a redução no crescimento da raiz é uma resposta fitossanitária exposição a substâncias químicas.

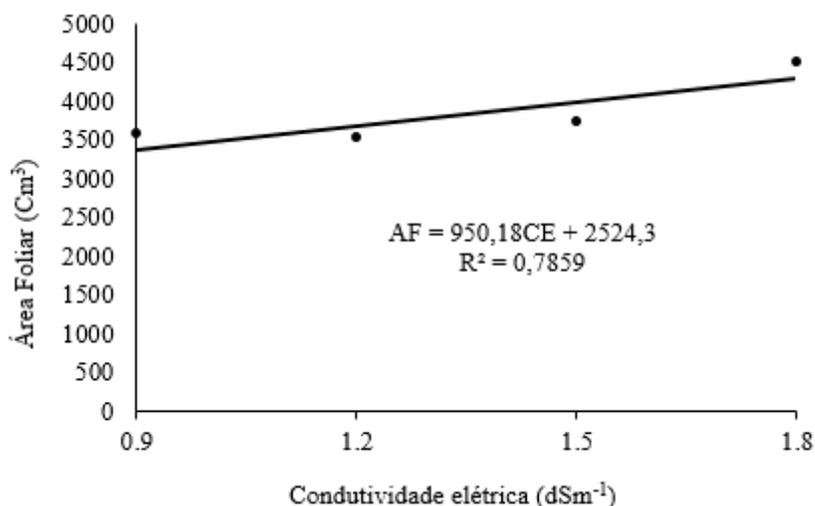
Para Taiz e Zeiger (2017) o crescimento do sistema radicular depende da disponibilidade de água e nutrientes no microambiente que a circunda. Se a fertilização e a irrigação fornecem água e nutrientes em abundância o crescimento da raiz pode não acompanhar o crescimento da parte aérea.

Baseado nisso é possível inferir que quando se eleva a condutividade elétrica da solução, adicionando fertilizantes com concentração de nutrientes balanceada, a rizosfera vai ficando cada vez mais abastecida estimulando a planta reduzir o crescimento radicular visando à redução no dispêndio de energia.

Costa *et al.* (2001) trabalhando com diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, observaram que o tratamento aplicado não exerceu efeito significativo sobre massa seca do sistema radicular de alface. Porém, Cavalcante *et al.* (2010) observaram redução no peso seco do sistema radicular com a elevação da condutividade elétrica da solução nutritiva, sendo que os referidos autores trabalharam com Crisântemo em vasos.

A figura 9 apresenta a resposta da variável área foliar de três cultivares de alface em função da condutividade elétrica da solução nutritiva. Semelhante aos dados de produção, o modelo linear crescente foi o que melhor ajustou-se aos valores de área foliar. Observa-se que para cada elevação de uma unidade na condutividade elétrica da solução nutritiva, acarreta na elevação de $959,18 \text{ cm}^2$ na área foliar das plantas.

Figura 9 – Área Foliar de plantas de três variedades de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio.



Fonte: elaborada pelo autor.

Na literatura é possível observar que diversos autores têm observado redução da área foliar com a elevação da condutividade elétrica da solução para as mais diversas culturas: Cavalcante *et al.* (2010) Crisântemo; Schmitt *et al.* (2016) Morango; Oliveira *et al.* (2013) Rúcula; Azevedo Neto e Tabosa (2000) Milho; Dias *et al.* (2010) Melão; Silva *et al.* (2013) Berinjela; Oliveira *et al.* (2007) Tomate; Rebouças *et al.* (2013) Coentro. Contudo, também é possível observar na literatura trabalhos que obtiveram incremento na área foliar com aumento da condutividade elétrica da solução. Podemos citar o trabalho de Muller *et al.* (2007) que observaram incremento na área foliar com o aumento da condutividade elétrica em batata.

Segundo Taiz e Zeiger (2017) a redução da área foliar é um mecanismo adaptativo de plantas cultivadas sob excesso de sais, visto que, nesta condição, é interessante a redução na transpiração. Analisando a figura 9, é possível inferir que as plantas não sofreram estresse salino. Existe um limiar de concentração de sal, sendo que acima deste valor as plantas começam a exibir sinais de redução de crescimento, descoloração foliar e perda de massa de matéria seca (MAAS e HOFFMAN, 1977).

Provavelmente, devido as hipóteses já levantadas anteriormente para as variáveis de produção associado ao feito do intervalo avaliado (0,9 a 1,8 ds m⁻¹), acredita-se que o referido limiar não foi atingido e a concentração de sais da solução não foi suficiente para provocar estresse nas plantas.

A metodologia usada para o preparo das soluções também pode ter contribuído para o incremento observado na área foliar, tendo em vista que a elevação da condutividade elétrica foi obtida através da adição de doses crescentes de Kristalon e Calcinite, em uma água com condutividade elétrica inicial muito baixa, este fato deve ter elevado a disponibilidade de elementos essenciais ao crescimento vegetal, promovendo melhor desenvolvimento da planta.

4.2 Análises fisiológicas

Na tabela 6 observa-se que as variáveis condutância estomática, transpiração, fotossíntese líquida e eficiência instantânea de carboxilação, apresentaram interação significativa entre os fatores avaliados, apontando que as cultivares de alface apresentaram respostas diferentes aos tratamentos aplicados, quando comparadas entre si. Já as variáveis eficiência fotossintética e Índice SPAD foram influenciadas apenas pelo fator cultivar. Destaca-se que a concentração interna de CO₂ não foi afetada.

Tabela 6 – Resumo das análises das variâncias das variáveis condutância estomática (gs), transpiração (E), Fotossíntese líquida (A), Concentração interna de CO₂ (Ci), eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci), eficiência instantânea do uso da água (A/E) e Índice SPAD de plantas de três cultivares de alface, conduzidas em sistema hidropônico tipo NFT, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplante.

FV	GL	Teste F						
		gs	E	A	Ci	A/Ci	A/E	Spad
CE (a)	3	4,14 ⁻	5,32 ⁻	3,55 ⁻	1,14 ⁻	2,98 ⁻	1,34 ⁻	5,52 ⁻
Cultivar (b)	2	0,54 ^{ns}	1,61 ^{ns}	3,01 ^{ns}	3,10 ^{ns}	4,06 [*]	4,72 [*]	32,66 ^{**}
(a) x (b)	6	4,09 ^{**}	8,98 ^{**}	8,17 ^{**}	1,29 ^{ns}	7,40 ^{**}	1,61 ^{ns}	0,78 ^{ns}
R. Linear	1	11,40 ^{**}	12,01 ^{**}	3,68 ^{ns}	2,35 ^{ns}	1,90 ^{ns}	0,43 ^{ns}	7,89 [*]
R. Quadrática	1	0,83 ^{ns}	1,38 ^{ns}	6,79 [*]	1,03 ^{ns}	6,93 [*]	0,62 ^{ns}	8,45 [*]
R. Cúbica	1	0,19 ^{ns}	2,55 ^{ns}	0,19 ^{ns}	1,29 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,22 ^{ns}

FV – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; ns significativo; *significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 5% de probabilidade; CE – condutividade elétrica da solução; Teste F – Teste para comparação de variâncias.

Fonte: elaborada pelo autor.

Observa-se na tabela 7 que apenas a condutividade elétrica de 1,8 dS m⁻¹ proporcionou diferença significativa entre as cultivares. As cultivares Cinderela e Elisabeth

foram afetadas quando cultivadas com a maior condutividade elétrica, provocando redução drástica no valor da variável em análise, atingindo o valor de 0,19 e 0,42 mol m⁻² s⁻¹, respectivamente. O valor máximo foi 0,67 mol m⁻² s⁻¹, observado no cultivar Mimosa Salad Bowl cultivado com menor condutividade elétrica da solução nutritiva (0,9 dSm⁻¹).

Tabela 7 – Desdobramento da interação significativa da condutância estomática (mol m⁻² s⁻¹) de três variedades de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplante.

Condutividade elétrica da solução	Variedades de alface		
	Mimosa	Cinderela	Elisabeth
0,9	0,67 A	0,58 A	0,48 A
1,2	0,50 A	0,60 A	0,60 A
1,5	0,39 A	0,62 A	0,44 A
1,8	0,58 A	0,19 B	0,42 AB

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si.

Fonte: elaborada pelo autor.

Soares *et al.* (2015) estudando a cultivar Tainá, usando água com diferentes composições em sistema hidropônico tipo NFT, observaram valor de condutância estomática de 0,65 mol m⁻² s⁻¹ para plantas normais e 0,10 mol m⁻² s⁻¹ para plantas sob estresse. Valores semelhantes para essa variável, foram encontrados por Santos *et al.* (2010), os autores avaliaram a cultivar Saia Veia submetida a diferentes tipos de compostagem e observaram valor médio entre os tratamentos de 0,68 mol m⁻² s⁻¹. Já Guerra, Costa e Tavares (2017) observaram valores variando de 0,92 a 1,13 mol m⁻² s⁻¹ quando avaliaram a cultivar Elba em diferentes condições de sombreamento.

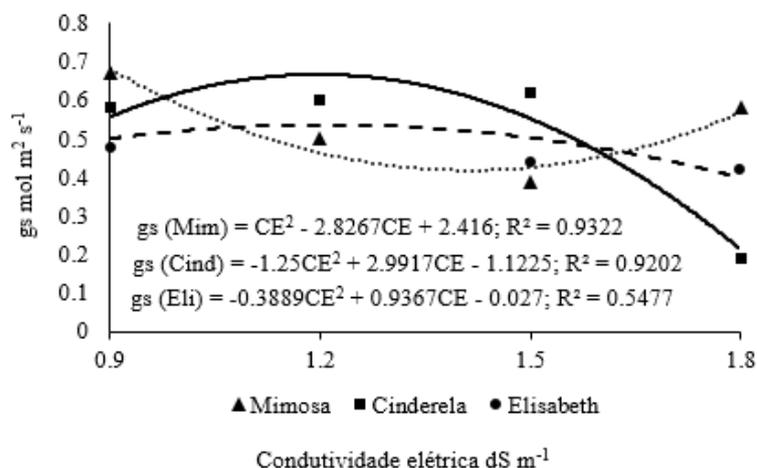
Baseado nos trabalhos citados é notório que além de outros fatores, o material genético da alface influencia significativamente a variável em análise, mas o que observamos em comum entre os estudos é que sempre em condições limitantes as plantas reduzem a condutância estomática, ou seja fecham os estômatos.

Esse comportamento é facilmente observado no presente estudo quando comparamos as três cultivares de alface em função da condutividade elétrica. Enquanto o cultivar Mimosa praticamente não foi afetado, os cultivares Cinderela e Elisabeth sofreram redução acentuada quando cultivada com maior concentração de nutrientes na solução. Como a abertura da fenda estomática é sinônimo de perda de água, qualquer condição que

possa contribuir com déficit hídrico, a planta rapidamente usa como defesa o fechamento parcial dessa porta, o que acarreta diretamente na redução da condutância estomática.

Quando avaliamos a resposta da condutância estomática dos três cultivares de alface em função da condutividade elétrica da solução nutritiva (figura 10), verificamos que a variável em análise se ajustou ao modelo quadrático para as três cultivares, sendo que a resposta da cultivar mimosa diferiu das demais por ajustar-se a função com modelo inverso.

Figura 10 – Condutância estomática (g_s) de plantas de três cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.



Fonte: elaborada pelo autor.

O valor de 1,2 ds m⁻¹ maximizou a condutância estomática das cultivares Elisabeth e Cinderela. A cultivar Mimosa teve a condutância estomática maximizada pelos valores extremos, sendo que o valor de 1,41 dS m⁻¹ proporcionou menor abertura dos estômatos para esta cultivar.

Normalmente as plantas tendem a fechar seus estômatos quando são cultivadas em meio com maior concentração de sais. Este comportamento foi observado em diferentes espécies de plantas, como pode ser visto nos resultados dos trabalhos de: Silva *et al.* (2011) e Neves *et al.* (2009) (feijão de corda); Sousa *et al.* (2012) (Pinhão manso); Kurban *et al.* (1999) (Alhagi); Bosco *et al.* (2009) (Berinjela); Oliveira *et al.* (2016) (Melancia); Yarami e Sepaskhah (2015) (Açafrão) e Jiang *et al.* (2006) (Cevada).

De acordo com Silva *et al.* (2015) a oferta de água em quantidade adequada para a planta, proporciona maior abertura estomática. Como no sistema hidropônico tipo NFT o

sistema radicular das plantas é mantido em contato periódico com água em abundância, a quantidade de água não é um fator limitante para abertura estomática.

No entanto, a elevação da condutividade elétrica da solução nutritiva deve ter proporcionado redução no potencial osmótico da solução, como o fluxo de água para o interior das raízes ocorre por diferença de potencial, conseqüentemente deve ter havido uma redução no gradiente de potencial hídrico, esse fato explica por que as plantas cultivadas com soluções mais concentradas consumiram menos água. Menos água entrando no tecido da planta foi o suficiente para acionar o sinal de alerta de déficit hídrico e conseqüentemente promoveu redução da abertura estomática. Pois segundo Oliveira *et al.* (2016), o aumento da concentração de nutrientes na solução nutritiva, possivelmente em função do aumento do caráter salino da mesma, promove o estresse salino.

Já a cultivar mimosa não foi afetada pela maior contração avaliada ($1,8 \text{ dS m}^{-1}$), indicando que a referida pode ser cultivada com esta solução sem prejuízo para a seu comportamento estomático.

A tabela 8 apresenta o desdobramento da interação significativa para a variável transpiração. Observa-se resposta semelhante a condutância estomática, enquanto o cultivar mimosa não foi afetado pela elevação da condutividade elétrica da solução nutritiva, a transpiração dos cultivares Cinderela e Elisabeth sofreu redução, quando cultivadas com solução mais concentrada ($1,8 \text{ dS m}^{-1}$). As demais concentrações ($0,9$; $1,2$ e $1,5 \text{ dS m}^{-1}$) não alteraram o padrão de transpiração entre as cultivares.

Tabela 8 – Desdobramento da interação significativa da transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de três cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.

Condutividade elétrica da solução	Variedades de alface		
	Mimosa	Cinderela	Elisabeth
0,9	10,95 A	10,65 A	9,61 A
1,2	10,03 A	11,68 A	10,99 A
1,5	8,00 A	10,11 A	9,36 A
1,8	12,01 A	5,47 C	8,15 B

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si
Fonte: elaborada pelo autor.

Os valores limites foram observados no cultivar Cinderela, sendo 11,68 e 5,47 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ valor máximo e mínimo, respectivamente. Baseado nesse resultado é possível inferir que essa cultivar é mais sensível a variação do fator em estudo.

Muitos trabalhos na literatura apresentam valores bem abaixo dos dados encontrados no presente estudo. Santos *et al.* (2010) trabalhando com a cultivar Saia Veia relataram que a transpiração variou de 2,9 a 5,4 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. No trabalho de Guerra, Costa e Tavares (2017) a cultivar Elba apresentou valores de transpiração variando de 4,70 a 5,85 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Essa diferença entre os valores encontrados no presente estudo e os relatados na literatura está relacionado ao sistema de cultivo. Já que em situação de ótima disponibilidade hídrica, as plantas geralmente apresentam altas taxas transpiratórias (SILVA *et al.*, 2015). Portanto plantas cultivadas em sistema hidropônico tendem a transpirar mais devido a abundância de água em contato direto com o sistema radicular da planta. Embora o ambiente seja responsável por controlar a demanda transpirativa, por outro lado a disponibilidade de água controla a oferta e conseqüentemente contribui de forma decisiva no quantitativo de água transpirada. Como todos os trabalhos citados foram conduzidos no solo as plantas transpiraram menos porque absorveram menos água.

Quando avaliamos trabalhos conduzidos em sistemas hidropônicos observamos valores semelhantes para a transpiração ao observado no nosso estudo.

Averiguando o trabalho de Albornoz, Lith e Fuentes (2014), que investigaram a transpiração do cultivar Black Seeded Simpson em sistema hidropônico, os autores encontraram valores de transpiração variando de aproximadamente 4,8 a 10 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

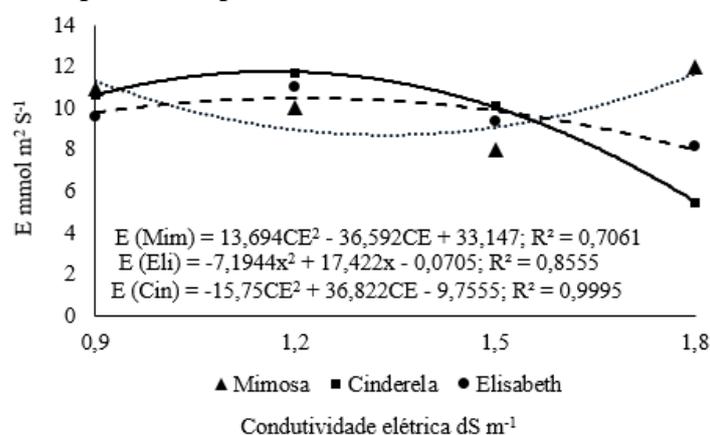
Podemos observar facilmente que a redução da condutância estomática se apresentou como fator determinante para a redução da transpiração. Como em condições normais de cultivo, o gradiente de difusão que impulsiona a saída de água da folha por transpiração é muito maior que o gradiente que impulsiona a entrada de CO_2 , a perda de água acaba sendo muito mais sensível a qualquer alteração na fenda estomática.

Para ratificar essa hipótese observamos na tabela 6, que enquanto a transpiração foi afetada pela redução da condutância estomática, a concentração interna de CO_2 não foi não sofreu alteração.

A figura 11 apresenta a variação da transpiração em função da elevação da condutividade elétrica da solução nutritiva dos três cultivares. Observamos que o modelo que melhor se ajustou para representar o resultado foi o modelo quadrático. A resposta para a transpiração foi a mesma observada para a condutância estomática. O valor de

condutividade elétrica de 1,21 e 1,16 ds m⁻¹ maximizaram a fotossíntese das cultivares Elisabeth e Cinderela, respectivamente. Já a condutividade elétrica de 1,33 ds m⁻¹ proporcionou menor taxa de transpiração na cultivar Mimosa.

Figura 11 – Transpiração (mmol m⁻² s⁻¹) de plantas de três variedades de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplante.



Fonte: elaborada pelo autor.

É notório a contribuição da concentração da solução nutritiva com a redução da transpiração nas cultivares Cinderela e Elisabeth. Segundo Silva *et al.* (2017) as respostas fisiológicas aclimatativas das plantas estão relacionadas, principalmente, à regulação estomática. Para Lima *et al.* (2010), o comportamento estomático determina a demanda transpirativa. Como explicado anteriormente a redução no gradiente de potencial hídrico deve ter sido decisivo para contribuir com o fechamento dos estômatos e consequentemente redução da transpiração.

O valor intermediário de condutividade elétrica da solução nutritiva reduziu a transpiração do cultivar Mimosa. No entanto quando a solução foi mais concentrada a transpiração das plantas voltou a crescer. Fatores inerentes à arquitetura das folhas devem ter contribuído para esse comportamento, já que a cultivar mimosa possui folhas recortadas que diferem morfológicamente das cultivares em comparação, o que deve ter proporcionado um padrão de sombreamento diferente a medida que a área foliar vai aumentando até atingir um limite.

Como o CO₂ é o principal substrato para a realização da fotossíntese, antes de apresentar os resultados referentes a esta taxa é importante ratificar que a concentração

interna de CO₂ não foi afetada nem pela cultivar usada nem pela elevação da condutividade elétrica da solução nutritiva.

Os valores de concentração interna de CO₂ variaram de 300,01 a 309,01 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para os cultivares Elisabeth e Cinderela respectivamente. Como a redução média na condutância estomática foi de apenas 13,62% não deve ter sido suficiente para alterar a concentração de CO₂, já que Taiz e Zaiguer (2017) afirmam que o gradiente que impulsiona entrada de CO₂ é 52 vezes menor que o que motiva a saída de água da folha. Quando a redução da condutância estomática é menor que 40%, poucas variações nas trocas gasosas são observadas (GALMÉS et al., 2013).

A tabela 9 apresenta o desdobramento da interação significativa para a variável fotossíntese. Observamos no geral que a fotossíntese da cultivar mimosa foi menos afetada que os outras cultivares. Novamente a cultivar Cinderela foi o mais afetado tanto pela maior quanto pela menor concentração. O maior valor (17,49 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi observado do cultivar Elisabeth enquanto o menor (7,43 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no cultivar Cinderela.

Tabela 9 – Desdobramento da interação significativa da fotossíntese ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de três cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio.

Condutividade elétrica da solução	Variedades de alface		
	Mimosa	Cinderela	Elisabeth
0,9	16,42 A	12,06 B	13,60 AB
1,2	14,02 A	16,07 A	17,49 A
1,5	11,73 B	16,62 A	15,51 AB
1,8	15,90 A	7,43 B	12,65 A

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si.

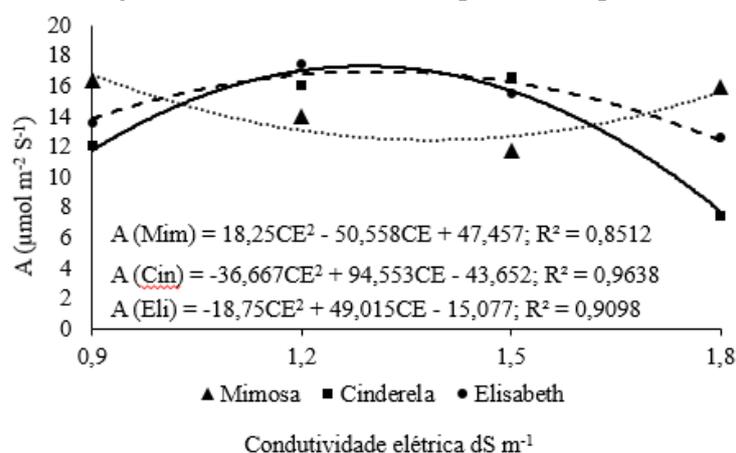
No geral, os valores são satisfatórios quando comparados aos valores observados em outros trabalhos. Guerra, Costa e Tavares (2017) relataram valores de fotossíntese para alface variando de 13,24 a 17,44 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e Santos *et al.* (2010) observaram valores de 9,30 a 16,40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Segundo Rosa *et al.* (2014) normalmente em sistemas hidropônicos encontra-se valores mais elevados para a variável em análise. Os autores atribuem esse incremento ao aumento da concentração de CO₂ e temperatura em estufas, bem como a melhor disponibilidade de água e nutrientes minerais.

Rosa *et al.* (2014) avaliaram a fotossíntese de duas cultivares de alface (Mimosa Roxa e Mimosa verde) em cultivo convencional e sistema hidropônico e verificaram que o

cultivar Mimosa verde apresentou melhor desempenho ($15,53 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) quando cultivado em sistema hidropônico. Valor bem semelhante ao observado do presente estudo para a cultivar do grupo Mimosa.

A figura 12 apresenta a variação da fotossíntese das três cultivares de alface em função da condutividade elétrica da solução nutritiva. A fotossíntese das três cultivares pode ser representada por um modelo quadrático. Os valores de condutividade elétrica de 1,29 e 1,31 dS m^{-1} maximizaram a taxa de fotossíntese das cultivares cinderela e Elisabeth, respectivamente. Já o valor de 1,31 dS m^{-1} proporcionou a menor taxa de fotossíntese observada na cultivar Mimosa. A taxa fotossintética reflete as respostas observadas nas variáveis condutância estomática e transpiração.

Figura 12 – Fotossíntese (A) de plantas de três cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio.



Fonte: elaborado pelo autor

A resposta da cultivar mimosa para fotossíntese é justificada pelo padrão de concentração de cálcio e magnésio nas folhas. A redução da transpiração provocou redução no fluxo de massa dos nutrientes citados, reduzindo assim a concentração dos mesmos nas folhas. Como o magnésio participa na formação do ATP, é constituinte da clorofila e contribui para a fixação do CO_2 a fotossíntese refletiu a mesma respostas desse elemento.

Diversos trabalhos na literatura apontam redução linear para a taxa de fotossíntese em função da elevação da condutividade elétrica. O principal motivo apontado para a redução da fotossíntese é a redução da concentração interna de CO_2 em função do fechamento dos estômatos.

Redução na taxa de fotossíntese em função da elevação da condutividade elétrica da solução nutritiva é relatado por diversos autores na literatura. Podemos citar os trabalhos de Soares *et al.* (2017) em couve flor hidropônico; Silva *et al.* (2011) e Neves *et al.* (2009) em feijão caupi; Bosco *et al.* (2009) em Berinjela; Sousa *et al.* (2012) em pinhão manso; Yarami e Sepaskhah (2015) em Açafrão e Jiang *et al.* (2006) em Cevada.

Mesmo sem haver variação na concentração interna de CO₂, houve alteração na fotossíntese. A relação existente entre a fotossíntese e a condutância estomática é fomentada pela concentração interna de CO₂, como normalmente o fechamento dos estômatos provoca redução na concentração de CO₂, com isso a fotossíntese é afetada.

No presente estudo observou-se que a alteração na condutância estomática não foi suficiente para alterar a concentração interna de CO₂, mesmo assim observou-se variação na taxa de fotossíntese. Isso indica que a concentração da solução nutritiva influencia a capacidade de fixar CO₂ na fase carboxilativa, por limitações não estomática, possivelmente pela alteração atividade do aparelho fotossintético, reduzindo então a taxa de fotossíntese.

A entrada de CO₂ no ciclo de carboxilação (ciclo de Calvin-Berson) se dar por meio da ribulose1,5bifosfato catalisada pela enzima ribulose1,5bifosfato carboxilase/oxigenase (rubisco). Portanto deve ter havido alteração na atividade da rubisco, que tanto pode ser redução da atividade da enzima por meio da ação de inibidores ou pela própria competição entre a carboxilação/oxigenação, tendo em vista que estas duas reações competem pela rubisco.

Outra possível causa seria a alteração das reações de regeneração da ribulose1,5bifosfato. Segundo Galmés *et al.* (2013), a rubisco tem sua atividade carboxilase afetada em condições de estresse, devido aumento da concentração de inibidores, redução da regeneração de Ribulose 1,5 bisfosfato, entre outros fatores.

A elevação da concentração da solução nutritiva provocou redução na atividade da rubisco em *Annona emarginata* (Schltdl.) (BARON *et al.*, 2013). Menor conteúdo de Ribulose1,5bisfosfato, provocou redução da fotossíntese em mamão, devido a ligação dos inibidores ao sítio catalítico da Rubisco (GALON; SOUSA e SILVA, 2018).

A tabela 10 apresenta a eficiência de carboxilação das cultivares de alface em função da condutividade elétrica da solução nutritiva. Podemos observar que no geral a cultivar Elisabeth apresentou melhor eficiência em fixar o CO₂ que chega ao interior das folhas. Esse resultado ratifica o que foi relatado por Filgueira (2008). Segundo o autor a alface tipo lisa é uma alternativa de mercado ao produtor, apresentando vantagens como a

existência de materiais com resistência ao calor e ao pendoamento. A resistência ao calor, das cultivares lisas, deve ser atribuído as reações de fotossíntese.

Esse fato pode estar relacionado com a morfologia da folha. A cultivar Elisabeth possui folhas totalmente lisas enquanto as cultivares Mimosa e Cinderela possui folha entrecortadas e crespas respectivamente. Além disso quando foi verificado o teor de clorofila, verificamos que o cultivar também apresentou maior Índice SPAD.

Tabela 10 – Desdobramento da interação significativa da eficiência de carboxilação de três cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.

Condutividade elétrica da solução	Variedades de alface		
	Mimosa	Cinderela	Elisabeth
0,9	0,052 A	0,037 B	0,044 AB
1,2	0,045 B	0,052 AB	0,058 A
1,5	0,038 B	0,054 A	0,054 A
1,8	0,052 A	0,024 B	0,041 A

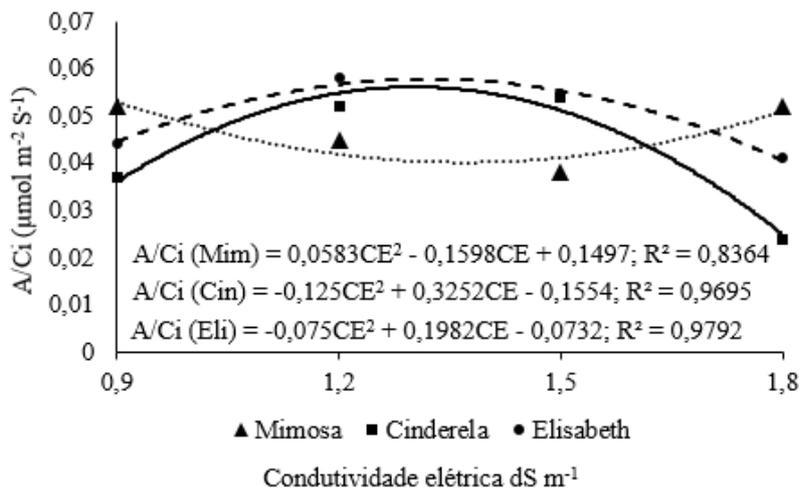
Média seguidas da mesma letra na linha não diferem ente si.

Fonte: elaborada pelo autor.

Na cultivar Elisabeth, a distribuição das folhas de forma organizada, associado a morfologia das mesmas, parece maximizar a penetração da luz, bem como posteriormente a sua absorção, reduzindo o fenômeno do sombreamento da clorofila no cloroplasto. Este sombreamento, conhecido como efeito peneira, cria lacunas entre os cloroplastos onde a luz não é absorvida (TAIZ e ZEIGER, 2017).

A figura 13 representa o efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva na eficiência da carboxilação das três cultivares de alface.

Figura 13 – Eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) de plantas de três cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplante.



Fonte: elaborada pelo autor.

Observamos que os dados se ajustaram a um modelo quadrático. A condutividade elétrica de $1,37 \text{ dS m}^{-1}$ proporcionou menor eficiência de carboxilação na cultivar mimosa. Já o valor de $1,3$ para condutividade elétrica proporcionou a maior eficiência nas cultivares Cinderela e Elisabeth.

Para Silva *et al.* (2015), a eficiência instantânea de carboxilação depende da disponibilidade de CO_2 no mesófilo foliar, quantidade de luz, temperatura e da atividade enzimática para que haja fotossíntese. Como a concentração interna de CO_2 nas folhas não variou, bem como temperatura e luminosidade permaneceram constantes no momento da análise, as reações de carboxilação foram o fator responsável pela variação da variável em análise. Segundo Taiz e Zeiger (2017) a atividade da rubisco, a regeneração da ribulose1,5bifosfato e o metabolismo das trioses-fofato tem sido apontados como os principais fatores para a eficiência fotossintética.

Segundo Nascimento e Marenco (2013), a eficiência instantânea de carboxilação pode ser afetada negativamente pela redução na velocidade máxima de carboxilação da Rubisco e pela taxa máxima de regeneração da ribulose1,5bisfosfato, que é dependente do transporte de elétrons, bem como pela diminuição na taxa de difusão de CO_2 para os cloroplastos.

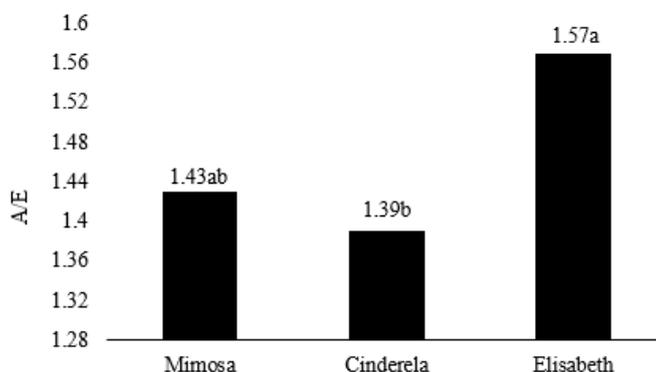
Silva *et al.* (2015) atribuíram a redução da eficiência instantânea de carboxilação de clones de Citros a fatores não estomáticos, como a falta de ATP e de NADPH provenientes da cadeia transportadora de elétrons do fotossistema II. Galon *et al.* (2018)

relataram que a redução na eficiência intrínseca de carboxilação observada em mamoeiro provavelmente ocorreu em função da menor atividade total da Rubisco, redução relacionada ao menor conteúdo de RuBP, facilitando a ligação dos inibidores ao sítio catalítico da Rubisco.

Na figura 14 observamos a eficiência instantânea de uso da água em função dos cultivares de alface. O cultivar Elisabeth mostrou-se mais eficiente em usar água para realizar o processo fotossintético, enquanto que a cultivar Cinderela mostrou-se a cultivar menos eficiente.

Segundo Taiz e Zeiguer (2017), a fotossíntese e transpiração são processos independentes, grandes quantidades de água são perdidas durante o processo fotossintético, com razão molar da perda de H₂O para absorção de CO₂ alcançando muitas vezes de 250 a 500. Porém, essa perda de água é importante, pois remove o calor das folhas mediante esfriamento evaporativo, mantendo-se relativamente frias sob condições de luz solar plena. No presente trabalho observamos que a razão molar variou de 603,48 a 883,08 nas cultivares Elisabeth e Cinderela, respectivamente. Os valores estão fora do intervalo citado por Taiz e Zeiger (2017) provavelmente, por ser um sistema hidropônico onde grande disponibilidade de água disponível no sistema radicular da planta.

Figura 14 – Teste comparativo de médias da eficiência instantânea do uso da água (A/E) de plantas de três cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio.



Fonte: elaborado pelo autor

Segundo Fátima *et al.* (2018) a alface tende a se adaptar a condições de estresse, melhorando a eficiência de uso da água. Os autores observaram que em uma cultivar crespa

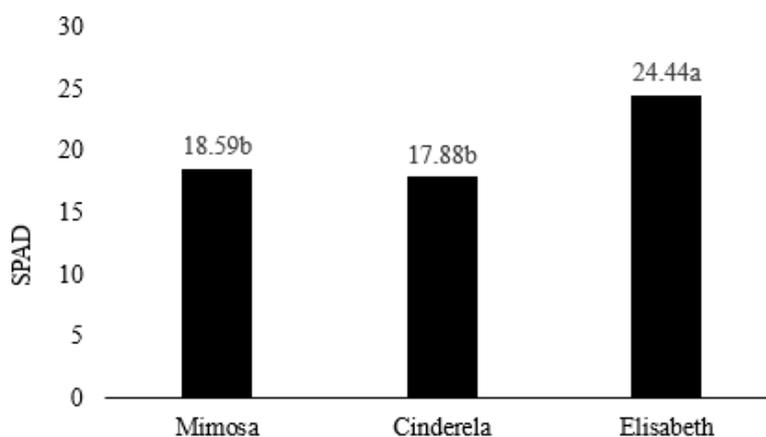
que a redução da disponibilidade de água provocou aumento na eficiência instantânea de uso da água.

Os trabalhos com alface encontrados na literatura mostram eficiência instantânea de água bem acima dos valores encontrados no presente estudo. No trabalho de Guerra, Costa e Tavares (2017) a eficiência média encontrada foi de 3,16. Já Fátima *et al.* (2018) observaram valores médios próximos a 3,00 e Santos *et al.* (2010) encontraram eficiência variando de 2,80 a 3,56. Esses resultados reforçam a hipótese de que sob condições de cultivo hidropônico a maior disponibilidade de água proporciona maior evapotranspiração a qual consequentemente contribui com a redução da eficiência.

As cultivares Mimosa e Cinderela apresentaram apenas 91,08 e 88,50%, respectivamente, da eficiência instantânea de uso da água do cultivar Elisabeth. Mais uma vez a cultivar Elisabeth, que possui folhas lisas, mostrou-se mais eficiente em realizar fotossíntese, fato que pode ser atribuído própria a morfologia da folha.

Em relação ao índice SPAD (figura 15) verificou-se que as cultivares Mimosa e Cinderela não diferiram estatisticamente pelo teste de tukey a 5% de probabilidade, as mesmas apresentaram valores médios de 18,59 e 17,88 unidades SPAD, respectivamente. Estes valores foram superados pelo cultivar Elisabeth, que apresentou média de 24,44 unidades SPAD.

Figura 15 – Teste comparativo de médias do índice SPAD de plantas de três cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.



Fonte: elaborado pelo autor.

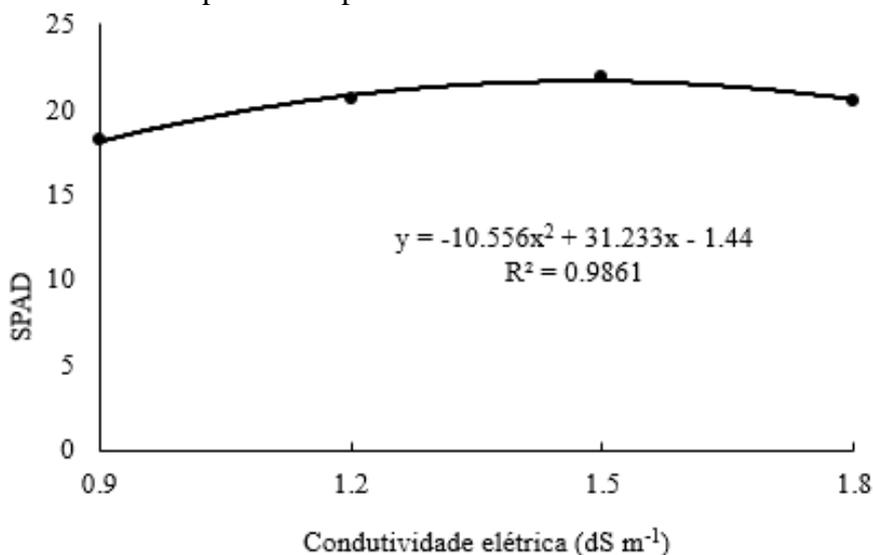
Os resultados encontrados para as cultivares Mimosa e Cinderela estão condizentes com os obtidos por Magalhães *et al.* (2010) que trabalhando com a cultivar Saia Veia relatou valor médio para esta variável de 18,36 unidades SPAD. Já Santos *et al.* (2010) avaliando a qualidade de alfaces, produzidas em diferentes sistemas de produção, comercializadas no município de Botucatu-SP observaram valor médio de 13,03 para o índice SPAD.

Avaliando o índice SPAD de cultivares de quatro grupos de alface em função da adição de Cd, Lavres Junior *et al.* (2008) chegaram aos seguintes valores médios: Grupo Mantega Lisa (Elisa – 21,25; Lídia – 28,85; Stela – 24,43); Grupo Crespa (Bruna – 19,85; Vera – 19,55; Vanda – 21,3); Grupo Repolhuda (Laurel – 32,15; Taina – 30,75; Lucy Brown – 31,1) e Grupo Roxa (Pira Roxa – 27,05).

Se calcularmos a média do Índice SPAD das cultivares do grupo Lisa, mesmo grupo genético da Elisabeth, obtém-se valor de 24,84 valor muito semelhante ao encontrado no presente estudo. Muitos trabalhos mostram uma relação direta entre Índice SPAD e o estado nutricional da planta.

A figura 16 representa o efeito da elevação da condutividade elétrica da solução sobre o Índice SPAD. O modelo de regressão quadrática foi o que melhor se ajustou para representar esta variável. O valor máximo para o índice SPAD (21,66) foi obtido com a condutividade elétrica da solução nutritiva de 1,48 dSm⁻¹.

Figura 16 – Índice SPAD de plantas de três variedades de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.



Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados estão condizentes com os relatos de Seo *et al.* (2009) que ao cultivarem alface em sistema hidropônico com quatro níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva: 0,5; 1,0; 2,0; e 3,0 dS m⁻¹ obtiveram como resultados 17,9; 20,8; 32,7 e 26,0 unidades SPAD, respectivamente. Analisando os resultados descritos pelos referidos autores é possível verificar que os dados aparentemente se ajustam ao modelo quadrático, mesma resposta observado no presente estudo.

Vários autores elegeram o modelo quadrático para representar o comportamento do Índice SPAD em função da elevação da dose de nutrientes para as plantas. Viana *et al.* (2008) avaliaram o Índice de clorofila na folha de alface submetida a diferentes doses de nitrogênio e encontraram modelo semelhante.

Podemos citar ainda os trabalhos de Zufo *et al.* (2012) avaliando doses de nitrogênio no café; Leonardo *et al.* (2013) que também avaliaram doses de nitrogênio em abacaxi; Gil *et al.* (2002) estudaram o mesmo nutriente em batata Pôrto *et al.* (2011) em abobrinha e Ferreira *et al.* (2006) tomate. A resposta do índice SPAD em função de doses de nitrogênio e todos relataram que o modelo quadrático foi o que melhor representou os resultados.

LIN *et al.* (2010) afirmaram que este índice pode ser usado para prever o teor foliar de nitrogênio em arroz sem interferências significativas do material genético e estágios de crescimento da cultura. Já para a cultura da batata Hong-li *et al.* (2015) afirmam que o referido índice depende da estação de crescimento da planta.

É consenso entre os autores que o índice SPAD tem relação direta com o estado nutricional da planta, pois alguns elementos como o nitrogênio tem participação direta na síntese de clorofila, porém existe um limiar no qual a partir deste valor a elevação da dose de nutriente não proporciona redução no teor de clorofila, provavelmente pelo efeito tóxico do excesso do nutriente.

Já na avaliação das trocas gasosas realizada as 11h30min, apenas o fator variedade mostrou-se significativo, provocando variação nas variáveis concentração interna de CO₂ e na eficiência instantânea de carboxilação (tabela 11).

Tabela 11 – Resumo das análises das variâncias das variáveis condutância estomática (gs), transpiração (E), Fotossíntese líquida (A), Concentração interna de CO₂ (Ci), eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci) e eficiência instantânea do uso da água (A/E) de plantas de três cultivares de alface, conduzidas em sistema hidropônico tipo NFT, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio.

FV	GL	Teste F						
		gs	E	A	Ci	A/Ci	A/E	Ci/Ca
CE (a)	3	1,60 ⁻	1,24 ⁻	1,90 ⁻	1,78 ⁻	1,81 ⁻	0,72 ⁻	2,22 ⁻
Variedade (b)	2	0,03 ^{ns}	0,06 ^{ns}	1,47 ^{ns}	4,68 [*]	2,36 ^{ns}	5,46 ^{**}	2,47 ^{ns}
(a) x (b)	6	0,71 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,50 ^{ns}	1,66 ^{ns}	0,87 ^{ns}
R. Linear	1	3,96 ^{ns}	2,14 ^{ns}	2,02 ^{ns}	2,29 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,01 ^{ns}	3,92 ^{ns}
R. Quadrática	1	0,00 ^{**}	0,01 ^{ns}	1,11 ^{ns}	2,90 ^{ns}	1,64 ^{ns}	2,12 ^{ns}	3,91 ^{ns}
R. Cúbica	1	0,83 ^{ns}	1,59 ^{ns}	2,58 ^{ns}	0,14 ^{ns}	2,57 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,91 ^{ns}

FV – Fonte de variação; GL – Graus de liberdade; ns significativo; *significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 5% de probabilidade; CE – condutividade elétrica da solução; Teste F – Teste para comparação de variâncias

Fonte: elaborada pelo autor.

Avaliando a tabela 12, verificamos que a cultivar Cinderela apresentou maior concentração interna de CO₂, porém foi a cultivar menos eficiente em usar água para fixar carbono no ciclo de carboxilação. A cultivar Elisabeth manteve a maior eficiência de uso de água mesmo no horário mais quente do dia.

Tabela 12 – Teste de médias da Concentração interna de CO₂ e eficiência instantânea do uso da água de plantas de três cultivares de alface, conduzidas em sistema hidropônico tipo NFT, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio (11h30min).

Variedade	Ci	A/E
Mimosa	280,15ab	1,16ab
Cinderela	288,86a	1,09 b
Elisabeth	276,27 b	1,26a
DMS	5,18	0,013
CV (%)	10,25	15,72

Coefficiente de variação; DMS diferença mínima significativa.

Fonte: elaborada pelo autor.

Comparando os horários das avaliações, averiguamos que as 11h30min por ser o horário mais quente do dia por isso, as cultivares elevaram a taxa de transpiração, a taxa de fotossíntese e reduziram a concentração interna de CO₂ e a eficiência de uso da água. A redução da concentração de CO₂ deve ter sido motivada pela maior taxa de fotossíntese. Já

a redução da eficiência de uso da água é motivada pela maior transpiração da planta em ambiente com temperatura mais elevada. Isso ocorre por que em temperaturas mais elevadas a planta, na tentativa de manter a temperatura foliar, aciona o sistema de arrefecimento que é a elevação da transpiração.

De acordo com Taiz e Zeiger (2017) quando a água evapora de uma folha (transpiração), retira grandes quantidade de calor e a esfria. Segundo Taiz *et al.* (2017) o esfriamento pela transpiração é importante, pois a fotossíntese é um processo dependente da temperatura, concorrente significa que o esfriamento representa um custo, em especial em ecossistemas que a disponibilidade de água é fator limitante.

Em concentrações normais de CO₂, a temperatura afeta processo diferentes opostos no aparato fotossintético. Segundo Taiz e Zeiger (2017) nessas condições a atividade da rubisco e a temperatura reflete dois processos conflitantes: um aumento na taxa de carboxilação e um decréscimo na afinidade da rubisco a CO₂ à medida que a temperatura sobe. Esses processos antagônicos amortecem as repostas da fotossíntese a temperatura.

Morais, Rossi e Hilga (2017) relataram que o aumento da temperatura foliar ocasionou o aumento das taxas de transpiração de *Sclerolobium paniculatum* Vogel, mostrando ser uma estratégia para reduzir a temperatura das folhas, evitando, assim, danos ao aparato fotossintético.

4.3 Composição mineral das folhas de alface

A tabela 13 apresenta o resumo da análise de variância da proporção de macro e micronutrientes nas folhas de alface em função da condutividade elétrica da solução nutritiva e do cultivar de alface.

Tabela 13 – Resumo da análise de variância e teste F para macro e micro de plantas de três variedades de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplântio.

FV	CE (A)	Cul. (B)	A x B	R.Linear	R.Quadrática	R.Linear
GL	3	2	6	1	1	1
N	27,53	5,54*	1,74ns	71,00**	11,34**	0,25ns
P	2,21	39,22**	2,01ns	1,98ns	0,03ns	4,62ns
K	0,7	10,81**	4,15ns	0,13ns	0,96ns	1,00ns
Ca	9,96	10,76**	3,73**	23,81**	3,62ns	2,43ns
Mg	38,28	24,78**	4,55**	90,80**	21,59**	2,43ns
S	13,24	0,16ns	0,27ns	27,21**	8,06*	4,44ns
Zn	6,61	0,96ns	0,20ns	19,80**	0,00ns	0,03ns
Fe	1,71	0,05ns	0,56ns	3,03ns	2,05ns	0,04ns
Mn	9,99	73,83**	1,78ns	21,53**	4,18ns	4,26ns
Cu	12,84	7,90**	0,97ns	31,85**	0,01ns	6,67*
B	5,71	0,64ns	0,99ns	8,58*	1,41ns	7,15*

FV – Fonte de variação; GL – Graus de liberdade; ns significativo; *significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 5% de probabilidade; Cul – Cultivar; CE – condutividade elétrica da solução; Teste F – Teste para comparação de variâncias
Fonte: elaborada pelo autor.

Observou-se interação significativa entre os fatores estudados para cálcio e magnésio. Já o nitrogênio, fósforo, potássio, manganês e cobre sofreram efeito isolado do fator cultivar. O fator condutividade elétrica promoveu efeito significativo isolado sobre o nitrogênio, enxofre, zinco, manganês, cobre e boro. O ferro não foi influenciado pelos fatores.

Analisando a tabela 14, verificamos que a cultivar Cinderela apresentou menor concentração de nitrogênio, fósforo, manganês e cobre. As cultivares Mimosa e Elisabeth não diferiram estatisticamente para nitrogênio, potássio e cobre. Os valores encontrados para a maioria dos nutrientes ficaram dentro da faixa de tolerância (VR), com exceção do enxofre e ferro que ficaram abaixo e acima das faixas de referência, respectivamente, de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2014). Os resultados corroboram com os resultados de produção e trocas gasosas, onde as cultivares que apresentaram um melhor desempenho produtivo e fotossintético foram justamente Mimosa e Elisabeth, ratificando a hipótese que estes cultivares mostraram-se mais adaptadas ao sistema de cultivo.

Tabela 14 – Teste de médias para o efeito significativo do tratamento variedade sobre macro e micronutrientes de plantas de três variedades de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplante.

Nutriente	Mimosa	Elisabeth	Cinderela	VR	DMS	CV
N	37,36 a	36,11 ab	33,82 b	30 - 50	2,69	8,53
P	7,10 a	6,95 a	5,09 b	4 - 7	0,63	11,20
K	43,13 a	40,59 b	40,77 b	50 - 80	1,52	4,15
Ca	24,10 b	27,36 a	24,58 b	15 - 25	1,89	8,46
Mg	5,08 b	6,00 a	4,80 b	4 - 6	0,44	9,47
S	0,90 a	0,73 a	0,79 a	1,5 - 2,5	0,71	99,82
Zn	32,09 a	35,12 a	27,53 a	30 - 100	13,76	49,4
Fe	293,00 a	314,68 a	304,00 a	50 - 150	158,95	59,27
Mn	73,43 a	54,06 b	35,93 c	30 - 150	7,7	16,02
Cu	11,12 a	9,84 ab	8,31 b	7 - 20	1,76	20,52
B	67,17 a	68,79 a	62,60 a	30 - 60	14,08	24,10

VR (Valor de referência) – Faixas de valores de nutrientes considerados adequados em folhas de alface.
Fonte: elaborada pelo autor.

O nutriente mais absorvido em todos os cultivares foi o potássio. A proporção de potássio nas folhas de alface variou de 43,13 g kg⁻¹ no cultivar Mimosa a 40,59 g kg⁻¹ no cultivar Elisabeth, ficando os valores dentro da faixa adequada que é de 50 a 80 g kg⁻¹. Grangeiro *et al.* (2006); Martinez, Martins e Feiden (2016); Almeida *et al.* (2011) e Furlani (1995) também verificaram que o potássio é o elemento mais extraído pela alface independente do cultivar utilizado.

Em todos os cultivares avaliados a ordem decrescente de acumulação de nutriente nas folhas de alface respeitou a seguinte sequência: K > N > Ca > P > Mg > S > Fe > Mn > Zn > Cu > B. Beninni *et al.* (2005) e Almeida *et al.* (2011) avaliando a concentração e acúmulo de macronutrientes em alface cultivar Verônica cultivada em sistema hidropônico verificaram sequência idêntica para absorção.

Já Kano *et al.* (2011) relataram seguinte sequência de absorção de nutrientes nas folhas de alface: K>N>Ca>Mg>P>S>Fe>Mn>Zn>B>Cu. Verifica-se uma semelhança com o presente estudo, diferindo apenas a posição do fósforo em relação ao magnésio e do boro em relação ao cobre.

Segundo Faquin *et al.* (1996) a marcha de absorção de macro e micronutrientes estabelecida para obtenção de alta produtividade de alface deve aproximar-se de $K > N > Ca > P > Mg > S > Fe > Zn > Mn > B > Cu$.

O teor de nitrogênio nas folhas das cultivares de alface variou de 37,36 a 33,82 g kg⁻¹ nas cultivares Mimosa e Cinderela, respectivamente. Como o nitrogênio serve como um constituinte de muitos componentes celulares vegetais, incluindo clorofila, aminoácidos e ácidos nucleicos (TAIZ *et al.*, 2017), esse resultado deve ter contribuído de forma decisiva com a produção das plantas tendo em vista que se observou a mesma resposta para produção.

Xavier *et al.* (2016) também encontraram diferença significativa para nitrogênio entre diferentes materiais genéticos de alface, os mesmos estudaram composição mineral da parte aérea de cultivares de alface irrigada com água residuária em sistema hidropônico e verificaram que os maiores teores de nitrogênio foram encontrados nos cultivares Thaís, Vanda e Verônica com 50,44; 45,95; 42,03 g kg⁻¹ respectivamente.

O teor de fósforo variou em todos os cultivares, apresentando os seguintes valores 7,10; 6,95 e 5,05 g/kg para as cultivares Mimosa, Elisabeth e Cinderela respectivamente. A faixa considerada como adequada para fósforo em folhas de alface é de 4 a 7 g kg⁻¹.

Sanchez (2007) também verificou que o material genético pode influenciar o teor de fósforo nas folhas, o autor trabalhou com as cultivares Pira vermelha, Pira roxa, Locarno, Crespona gigante e Veronica verificando os seguintes valores: 3,46; 4,44; 3,63; 3,67 e 4,10 respectivamente. Já Coutinho *et al.* (2008) aplicaram diferentes doses de fósforo em diferentes cultivares de alface e verificaram que não houve diferença no teor de fósforo nas folhas entre as cultivares.

Os maiores percentuais de Manganês e Cobre foram verificados na cultivar Mimosa, sendo que o cobre não variou estatisticamente do valor encontrado no cultivar Elisabeth. O percentual de manganês no cultivar Mimosa (73,43 mg/g) foi 204,3% em referência ao valor encontrado para o cultivar Cinderela, mesmo assim os valores observados não saíram da faixa considerada adequada que varia de 30 a 150 mg/kg.

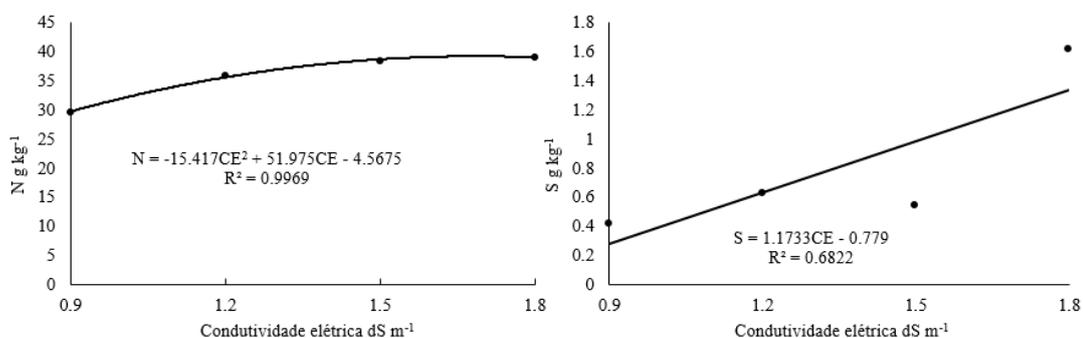
O manganês tem sua absorção otimizada pelo nitrogênio (REZENDE *et al.*, 2010). No presente estudo o maior percentual de nitrogênio observado no cultivar Mimosa, possivelmente contribui para o maior acúmulo de Manganês. Segundo Dechen e Nachtigall (2006), o manganês é responsável pela ativação de enzimas e tem participação no fotossistema II, podemos supor que o maior percentual deste elemento, observado nas folhas do cultivar Mimosa contribui com seu desempenho fotossintético.

O teor de ferro não apresentou diferença estatística entre os cultivares, no entanto, todos os cultivares apresentaram quantidade de ferro nas folhas bem acima do limite superior da faixa considerado adequada que é de 50 a 150 g kg⁻¹, ficando a média dos cultivares de 303,89 g/kg, mesmo assim não foi observado sintomas de toxidez.

O maior acúmulo de ferro pode ser atribuído a forma que o ferro foi ofertado para as plantas. O fertilizante usado utiliza o ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) como quelante para superar o problema de disponibilidade de ferro. Segundo Taiz *et al.* (2017) O agente quelante forma complexos solúveis com cátions de ferro, nos quais o cátion é retido por forças iônicas, e não por ligações covalentes, tornando o cátion fisicamente disponível para a planta.

A figura 17 apresenta os gráficos e modelos que melhor se aplicam para representar o comportamento dos macronutrientes que foram influenciados isoladamente pelo fator condutividade elétrica da solução nutritiva. O nitrogênio ajustou-se ao modelo quadrático enquanto enxofre justou-se ao modelo linear decrescente.

Figura 17 – Variação do nitrogênio e Enxofre das folhas de três cultivares de alface, conduzidas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio.



Fonte: elaborada pelo autor.

Analisando a figura 17 observou-se que a condutividade elétrica de 1,69 dS m⁻¹ promoveu o teor de nitrogênio máximo das folhas de 39,24 g/kg. Para ser considerado normal o valor de nitrogênio pode variar de 30 a 50 dS m⁻¹. Vários trabalhos com diferentes cultivares mostram que o modelo quadrático é o que melhor representa o nitrogênio na parte aérea em função do aumento da disponibilidade de nitrogênio para a planta.

Mantovani; Ferreira e Cruz (2005) conduziu um experimento em vasos, em casa de vegetação, visando avaliar o efeito da adubação nitrogenada no acúmulo de nitrato na parte aérea de cultivares de alface e verificaram que os teores de nitrogênio na parte aérea

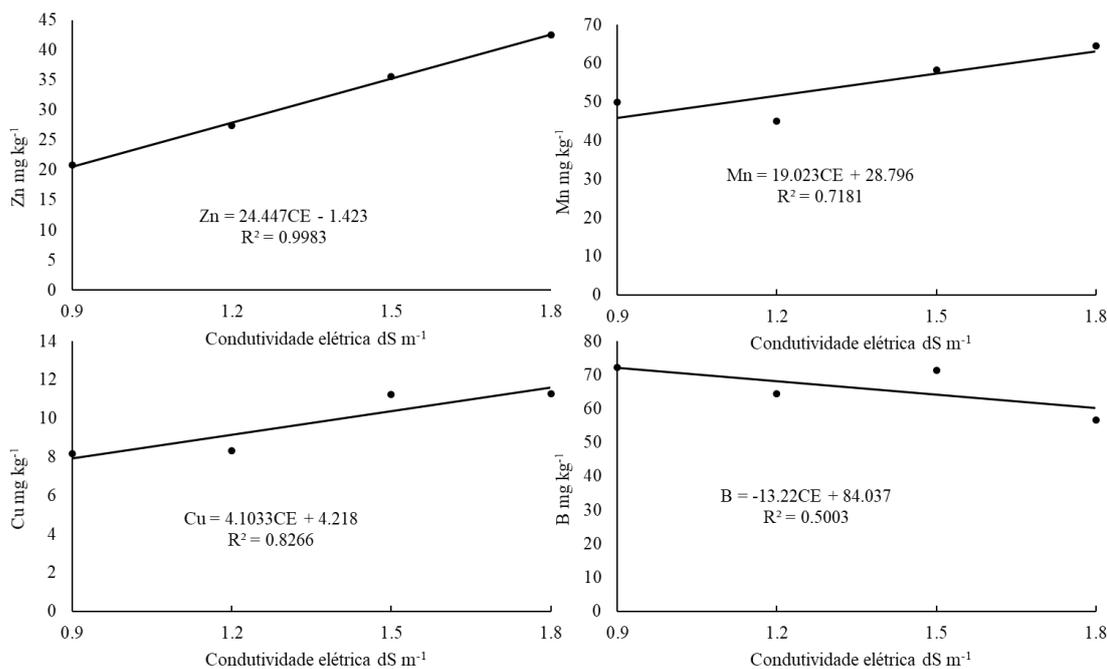
das cultivares ajustaram-se a modelos quadráticos com os valores, variando de 18,2 a 30,5 na cv. Lucy Brown; 19,3 a 31,5 na cv. Tainá; 17,9 a 35,8 na cv. Vera; 17,5 a 32,9 na cv. Verônica, e de 16,8 a 32,5 g/kg na cv. Elisa. Resende *et al.* (2009) também verificaram que o modelo quadrático foi o que melhor representou o teor de nitrogênio nas folhas de alface em função das doses de nitrogênio.

Esse fato pode ser explicado porque as maiores condutividades elétricas da solução nutritiva proporcionaram maior produção de matéria seca, como a unidade da variável em análise se refere a proporção, o nitrogênio pode ter sido diluído em uma maior quantidade de matéria seca, com isso supomos que não houve alteração na absorção.

O teor de enxofre ficou abaixo da faixa considerada adequada para a cultura do alface, mesmo respondendo de forma linear crescente a elevação na concentração da solução nutritiva. Para cada unidade acrescentada de condutividade elétrica da solução nutritiva o teor de enxofre nas folhas de alface aumentou 1.17 g/kg. No entanto não foi observado sintomas de deficiência de enxofre nas plantas.

Na figura 18 observa-se que o modelo linear é o que melhor se ajustou para representar o teor de zinco, manganês, cobre e boro nas folhas de alface.

Figura 18 – Variação do percentual de Zinco, Manganês, Cobre e Boro das folhas de três cultivares de alface, conduzidas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplantio.



Fonte: elaborada pelo autor.

O teor de zinco, cobre e manganês aumentou de forma linear com acréscimo na condutividade elétrica da solução nutritiva. A cada unidade de condutividade elétrica elevada, promoveu acréscimo de 24,44; 4,10 e 19,02 mg/kg de zinco, cobre e manganês respectivamente. O boro apresentou comportamento inverso aos demais nutrientes, a elevação de uma unidade na condutividade elétrica da solução nutritiva provocou redução de 13,22 mg kg⁻¹ de boro nas folhas de alface.

A redução no teor de boro nas folhas pode ter sido provocada pelo mesmo fator que contribuiu com a redução no teor de nitrogênio nas folhas. Pois de acordo com Dechen e Nachtigall (2006), a idade da planta interfere na absorção do Boro, sendo as plantas jovens mais eficiente em absorver o elemento. Como a alface apresenta maior acúmulo de matéria seca próximo a colheita, associado a redução da eficiência de absorção de boro, o quantitativo desse elemento deve ter sido diluído da matéria seca reduzindo consequentemente sua proporção.

Dos micronutrientes que foram influenciados pela condutividade elétrica da solução nutritiva, apenas o zinco na menor condutividade ficou fora da faixa considerada adequada para a cultura do alface. Mesmo assim não foi suficiente para provocar sintomas visuais de deficiência do elemento na planta.

A tabela 15 apresenta o desdobramento da interação significativa entre os fatores alviados para os elementos que sofreram efeito da interação.

Tabela 15 – Desdobramento da interação significativa de potássio e cálcio, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplante.

Condutividade elétrica	Mimosa	Elisabeth	Cinderela
	Cálcio		
0,9	28,35 B	34,10 A	26,45 B
1,2	21,65 B	25,60 A	26,25 A
1,5	23,50 A	26,40 A	23,35 A
1,8	22,90 A	23,35 A	22,30 A
	Magnésio		
0,9	6,50 B	8,30 A	5,80 B
1,2	4,55 B	5,55 A	5,15 AB
1,5	4,55 A	5,20 A	4,37 A
1,8	4,75 AB	4,95 A	3,90 B

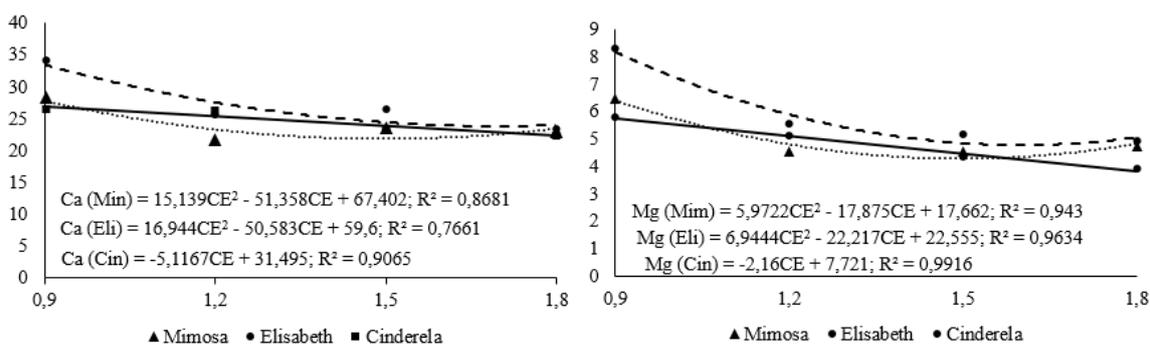
Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste tukey a 5% de probabilidade
Fonte: elaborada pelo autor.

Avaliando o desdobramento da interação significativa para, cálcio e magnésio, observamos que as soluções mais concentradas (1,5 e 1,8 dS m⁻¹) praticamente não

provocaram efeito significativo entre as cultivares. A variação ocorreu apenas para o magnésio na concentração de $1,8 \text{ dSm}^{-1}$, sendo observado menor valor no cultivar cinderela. Nas menores concentrações ($0,9$ e $1,2 \text{ dS m}^{-1}$) o cultivar Mimosa apresentou maior eficiência em acumular potássio, já o cultivar Elisabeth apresentou um melhor desempenho em fixar cálcio e magnésio.

Na figura 19 observamos que o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou para descrever a concentração de cálcio magnésio nas folhas das cultivares mimosa e Elisabeth. Já as concentrações dos elementos citados nas cultivar cinderela ajustou-se ao modelo linear decrescente.

Figura 19 – Concentração de cálcio e magnésio nas folhas de três cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico tipo NFT, em função de diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, aos 45 dias após o transplante.



Fonte: elaborada pelo autor.

Por fatores já levantados anteriormente as concentrações de cálcio e magnésio devem ter contribuído para a resposta observada na fotossíntese do cultivar Mimosa, tendo em vista o modelo que descreve a concentração dos elementos em análise é semelhante ao modelo observado nas respostas de trocas gasosa dessa cultivar.

Segundo Collier e Tibbitts (1983) um dos principais problemas enfrentados pelos produtores de alface, tanto de sistema hidropônico como convencional, é a deficiência de cálcio e aparecimento do “tipburn” ou “queima dos bordos”. A maior eficiência observada no cultivar Elisabeth, apresentando valores de cálcio nas folhas próximo ao limite superior da faixa de tolerância, confere a esta uma excelente característica adaptativa ao cultivo hidropônico. Pois em cultivo hidropônico é comum as plantas de alface apresentarem deficiência de cálcio.

Gondin et al. (2010) observaram redução linear na quantidade de cálcio nas folhas de alface em função da condutividade elétrica da solução nutritiva. Segundo Collier

e Huntington (1983), na planta, o cálcio move-se com a água, sendo sua translocação e seu teor nos tecidos dependentes da taxa de transpiração.

O Cálcio é absorvido pelas plantas junto com a água, principalmente por fluxo de massa na forma Ca^{2+} , sendo acumulado principalmente em tecidos que transpiram mais facilmente, acumulando-se nas folhas, sendo limitada a sua redistribuição via floema. Qualquer fator que contribua negativamente com a taxa de transpiração da planta, prejudica o fluxo de cálcio para a planta ficando este dependente da pressão radicular.

Segundo Correia (2014) a pressão radicular é um processo de ascensão de seiva bruta nas plantas. Ao contrário do que acontece no mecanismo da tensão-coesão, que a seiva bruta é puxada pela transpiração, quando a seiva bruta do xilema está sujeita à pressão radicular, ela encontra-se sob uma pressão positiva. Essa pressão é o resultado da acumulação de íons absorvidos do solo nas células do xilema da raiz.

Em consequência dessa acumulação causa uma redução do potencial osmótico e, conseqüentemente do potencial hídrico. Como resultado desse abaixamento, a água desloca-se dos tecidos do córtex para as células do xilema. O resultado é a criação de uma pressão hidrostática que “empurra” a seiva no sentido ascendente. Baseado nisso é notório que a pressão radicular é mais acentuada quando a transpiração é reduzida.

Como a condutividade elétrica da solução nutritiva tem relação direta com a concentração de nutrientes na solução, maior valor de condutividade elétrica significa maior quantidade de nutrientes na solução. Essa elevação na condutividade elétrica pode comprometer a absorção de cálcio tanto por proporcionar uma redução na absorção de água pelas plantas, quanto pela competição iônica entre o cálcio e outros cátions, como exemplo, o potássio.

Os cátions monovalentes (K^+) são absorvidos mais rapidamente pelas raízes do que os divalentes (Ca^{2+}), dessa forma, o potássio compete fortemente na absorção de cálcio (ASSIS, 1995). Malavolta (1980) ratifica que maiores concentrações NH_4^+ , K^+ , Mg^+ e Mn^+ diminuem a quantidade absorvida de cálcio, causando deficiência desse elemento em plantas.

4.4 Consumo de água e fertilizante

Na tabela 16 Apesar de não haver análise estatística, verificamos que os dados mostram uma tendência que em soluções mais concentradas as plantas consomem menos água e mais nutrientes.

Tabela 16 – Consumo de água e nutrientes de três cultivares de alface conduzidos em sistema hidropônico em função da condutividade elétrica da solução nutritiva.

Consumo	Condutividade elétrica da solução (dS m ⁻¹)			
	0,9	1,2	1,5	1,8
Água (l)	427	379,2	373,5	335
Água por planta	5,93	5,26	5,19	4,65
Kristalon (g)	109	145	186	238
Calcinite (g)	92	123	160	204
Ferro (g)	6	6	6	6

Fonte: elaborada pelo autor.

O consumo de água por planta variou de 4,95 a 5,93 litros por planta. Esse valor parece ser o padrão para alface hidropônico. Se verificarmos na literatura os valores dos trabalhos que avaliaram o consumo hídrico do alface nesse sistema a variação em relação a esses valores é pequena.

No trabalho de Paulus *et al.* (2012) que avaliaram o consumo hídrico de plantas de alface em função da condutividade elétrica da solução nutritiva, os autores observaram redução no consumo em com a elevação da condutividade, no entanto a faixa de consumo foi de aproximadamente 4,0 a 6,5 litros por planta.

Freitas *et al.* (2014) também avaliaram o consumo hídrico de alface americana cultivada em sistema hidropônico NFT em função da condutividade elétrica da solução nutritiva e verificaram que a condutividade elétrica provocou redução no consumo e quando cultivado com água doce (CE - 0,372 dS m⁻¹). O consumo médio dos tratamentos foi de 4,76 litros por planta.

Soares et al (2010) avaliaram consumo hídrico da alface em função da salinidade da solução nutritiva, também observaram que a salinidade da solução provoca redução no consumo de água e os valores de consumo variaram de aproximadamente 4,0 a 5,8 litros por planta.

Embora seja mais difícil, mas alguns pesquisadores já quantificaram o consumo de hídrico de alface cultivado no solo. Em seguida destaco alguns estudos para que possamos fazer o comparativo do consumo de água por planta entre o sistema de cultivo tradicional e o sistema de cultivo hidropônico.

Paulino *et al.* (2009) hipotizaram que se gasta muita água no cultivo de alface devido ao manejo errado do sistema de irrigação. Os mesmos conduziram um experimento com micro aspersão com alface cultivado no espaçamento de 0,25 x 0,25 m, visando quantificar o uso de água para a produção de alface no manejo tradicional usado pelos produtores e no manejo baseado no balanço hídrico climatológico. Os autores verificaram

que o manejo tradicional consumiu 199,86 mm e já o manejo baseado no balanço hídrico consumiu 92,51 mm por ciclo.

Já Gonçalves; Fagani e Peres (2005) propuseram que é possível adotar tecnologias no cultivo tradicional visando reduzir o consumo hídrico do alface. Os mesmos conduziram um estudo objetivando avaliar o efeito da cobertura do solo com filme de polietileno azul no consumo de água da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) plantada no espaçamento de 0,25 x 0,25 m. Os autores verificaram que com cobertura de solo a lâmina transpirada pelas plantas foi de 124,4 mm e com o solo descoberto a lâmina foi de 166,8 mm, concluíram que a cobertura do solo proporcionou redução de 34% no consumo de água pela alface.

Considerando que nos métodos de cultivos tradicionais a eficiência da irrigação gira em torno de 80%, considerando ainda que no espaçamento citado (0,25 x 0,25 m) a área ocupada por uma planta é de 0,0625 m². Podemos calcular o volume de água necessário para aplicar a lâmina de água citada nos trabalhos para cada planta. No trabalho de Paulino et al. (2009) para aplicar 199,86 mm é gasto em média 15,6 litros de água por planta. Já no trabalho de Gonçalves; Fagani e Peres (2005) para aplicar 166,8 mm é gasto aproximadamente 13,03 litros de água por planta.

No presente estudo o consumo médio de água por planta entre os tratamentos foi de 5,26 l. Fazendo uma breve comparação entre os valores apresentados para o cultivo convencional constatou-se redução no uso da água que varia de 59,6 a 66,2%.

5 CONCLUSÃO

Baseado na metodologia experimental adotada e nas condições climáticas atuantes na região dos Inhamus foi possível concluir que:

1. A elevação da condutividade elétrica da solução nutritiva, por meio da adição de nutrientes essenciais, contribui positivamente, com incrementos em todas as variáveis de produção da cultura da alface cultivada em sistema hidropônico tipo NFT;
2. A concentração ideal da solução nutritiva para o cultivo de alface hidropônico depende da cultivar de alface utilizada;
3. As cultivares Mimosa e Elisabeth podem ser utilizadas para o cultivo hidropônico nas condições climáticas do nordeste brasileiro;
4. Qualquer condutividade elétrica no intervalo de 0,9 a 1,8 dS m⁻¹ pode ser utilizada na produção de alface sem prejuízo fisiológico e nutricional das plantas;
5. Por fazer o uso eficiente da água e produzir plantas de qualidade nutricional e fisiológica, a técnica da hidroponia para o cultivo de alface, apresenta-se como uma solução tecnológica viável para a região Semiárida do Brasil.
6. As condições climáticas atuantes no Semiárido brasileiro não é um fator limitante para a produção de alface hidropônico.

REFERÊNCIAS

- ALBORNOZ, F.; LIETH, J. H.; FUENTES, J. A. G. Effect of different day and night nutrient solution concentrations on growth, photosynthesis, and leaf NO₃- content of aeroponically grown lettuce. **Chilean journal of agricultural research**. n. 74, v. 2, 2014.
- ALMEIDA, T. B. F. *et al.* Avaliação nutricional da alface cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. **Revista Biotemas**, v. 24, n. 2, jun. 2011.
- ALVES, M. S. *et al.* Estratégias de uso de água salobra na produção de alface em hidroponia NFT. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 491-498, 2011.
- AMORIM, A. V. Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 41, n. 1, p. 113-121, jan-mar, 2010.
- ANDRIOLO J. L. *et al.* Growth and yield of lettuce plants under salinity. **Horticultura Brasileira**. v. 23, p. 931- 934, 2005.
- ASSIS, R. P. **Nutrição mineral e crescimento de mudas de dendezeiro (*elaeis guinensis jacq.*) em função de diferentes relações entre K, Ca e Mg na solução nutritiva**. 1995. Dissertação (mestrado em solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.
- AUGUSTO, L. G. S. *et al.* O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1511-1522, 2012.
- AZEVEDO NETO, A. D.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: parte I análise do crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p.159-164, 2000.
- BACKES, F. A. A. L. *et al.* Reposição de nutrientes em solução nutritiva para o cultivo hidropônico de alface. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1407-1414, set./out. 2004.
- BARBIERI E. *et al.* Condutividade elétrica ideal para o cultivo hidropônico de alface em ambiente tropical. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 303-308, 2010.
- BARON, D. *et al.* Gas exchange, physiological indexes and ionic accumulation in annona emarginata (schltdl.) h. rainer seedlings in nutrients solution. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 361-376, 2013.
- BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B. Eficiência de extratores na determinação de boro em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 25-31, 1990.
- BAUWE, H.; HAGEMANN, M.; FERNIE, A. R. Photorespiration: players, partners and origin. **Trends in Plant Science** v. 15, p. 330–336, 2010.

BENINNI, E. R. Y.; TAKAHASHI, H. W.; FILGUEIRAS, R. C. Hydroponic lettuce yield in different electrical conductivity. **Semina**. v. 23, n. 2, p. 157-164, 2002.

BENINNI, E.R.Y; TAKAHASHI, H.W.; NEVES, C.S.V.J. Concentração e acúmulo de macronutrientes em alface cultivada em sistemas hidropônico e convencional. **Semina**, n. 26, p. 273-282, 2005.

BEZERRA NETO, F. *et al.* Produtividade de alface em função de condições de sombreamento e temperatura e luminosidade elevadas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 189-192, abr./jun. 2005.

BIONE, M. A. A. *et al.* Crescimento e produção de manjeriço em sistema hidropônico NFT sob salinidade. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** v. 18, n. 12, p. 1228-1234, 2014.

BLISKA JÚNIOR; A. **Alface (*Lactuca sativa* L.):** distintos sistemas de produção, conservação e avaliação pós-colheita. 1998. 103 f. Dissertação (mestrado)-Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas, 1998.

BOSCO, M. R. O. *et al.* Efeito do NaCl sobre o crescimento, fotossíntese e relações hídricas de plantas de berinjela. **Revista Ceres**, v. 56, n. 3, p. 296-302, 2009.

BREMENKAMP, D. M. *et al.* Variáveis morfológicas e teor de nitrato em alface hidropônica dependentes da concentração de nitrato na solução nutritiva. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 2 (Suplemento - CD Rom), jul. 2010.

BRITO NETO, A. J. de. *et al.* Monitoramento de um cultivo hidropônico através de um circuito de automação e controle. **Ciências exatas e tecnológicas**, Maceió, v. 3, n. 1, p. 105-116, 2015.

BRUNINI, O. *et al.* Temperatura-base para alface cultivar "white boston", em um sistema de unidades térmicas. **Bragantia**, v. 35, n. 19, 1976.

CASTELLANE, P.D.; ARAÚJO, J.A.C. **Cultivo sem solo: hidroponia**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 1994.

CAVALCANTE, M. Z. B. *et al.* Condutividade elétrica da solução nutritiva para o cultivo do crisântemo em vaso. **R. Bras. Ci. Solo**, n. 34, p. 747-756, 2010.

CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. *Funct. Plant Biol.*, v. 30, p. 239-264, 2003.

COLLIER, G.F.; HUNTINGTON, V.C. The relationship between leaf growth, calcium accumulation and distribution, and tipburn development in field-grown butterhead lettuce. **Scientia Horticulturae**, v. 21, p. 123-128, 1983.

COLLIER, G.F; TIBBITTS, T W. 1982. Tipburn of lettuce. **Horticultural Reviews**, n. 4, p. 49-65, 1982.

- COMETTI, N. N. *et al.* Cooling and concentration of nutrient solution in hydroponic lettuce crop. **Hortic. Bras.** [online], v. 31, n. 2, p. 287-292, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362013000200018>. Acesso: 03 jul. 2018.
- COMETTI, N. N. *et al.* Efeito da concentração da solução nutritiva no crescimento da alface em cultivo hidropônico–sistema NFT. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 252-257. 2008.
- COMETTI, N. N. *et al.* Soluções nutritivas: formulações e aplicações. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.
- CORREIA, S. Teoria da pressão radicular. **Revista de Ciência Elementar**, v. 2, n. 1. 2014.
- COSTA, E.; LEAL, P. A. M. Produção de alface hidropônica em três ambientes de cultivo. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 358-369, jul./set. 2009.
- COSTA, P. C. *et al.* Condutividade elétrica da solução nutritiva e produção de alface em hidroponia. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 595-597, jul./set. 2001.
- COSTA, P. C. *et al.* Condutividade elétrica de solução nutritiva de alface em hidroponia. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 595-597, 2001.
- COUTINHO, E. L. M. *et al.* Adubação fosfatada em cultivares de alface cultivada em solos deficientes. **Nucleus**. v. 5, n. 2, out. 2008.
- CRAPARO, A.C.W. *et al.* application of thermography for monitoring stomatal conductance of coffea arabica under different shading systems. **Science of the total environment** v. 609, p. 755-763, 2017.
- DATE, S. *et al.* Effects of chloramines concentration in nutrient solution and exposure time on plant growth in hydroponically cultured lettuce. **Scientia Horticulturae**, v. 103, p. 257-265, 2005.
- DAVEY, M. R. *et al.* Genetic manipulation of lettuce. In: KHACHATOURINS, G. G.; MCHUGHEN A.; SCORZA, R. NIP, W.; HUI, Y.H. **Transgenic Plants and Crops**. New York. Marcel Dekker, p. 613-632, 2002.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.
- DIAMANTE, M. S. *et al.* Produção e resistência ao pendoamento de alfaces tipo lisa cultivadas sob diferentes ambientes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 133-140, 2013.
- DIANA, A. B. M. *et al.* Calcium lactate washing treatments for salad-cut Iceberg lettuce: Effect of temperature and concentration on quality retention parameters. **Food Research International.**, v. 38, n. 7, p. 729-740, 2005.

DIAS, N. S. *et al.* Produção de melão rendilhado em sistema hidropônico com rejeito da dessalinização de água em solução nutritiva. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 755-761, 2010.

DIAS, N. S. Produção de alface hidropônica utilizando biofertilizante como solução nutritiva. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 4, p. 158-162, 2009.

DIAS, N. S.; BLANCO, F.F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. (Eds.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, CE: Instituto Nacional de Ciencia e Tecnologia em Salinidade, p. 120-140, 2010.

DOUGLAS, J. S. **Hidroponia cultura sem terra**. São Paulo: Nobel, 1997.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral Nutrition of Plants**. Principles and Perspectives. Sinauer Associates, Inc., Sunserland, MA, 2005.

FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; VILELA, L. A. A. **Produção de alface em hidroponia**. Lavras: UFLA. Departamento de Ciência do Solo, 1996.

FÁTIMA, R. T. de. *et al.* Crescimento e trocas gasosas em alface cultivada sob regimes hídricos e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 3, p. 2683-2691, 2018.

FELTRIM, A. L. *et al.* 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. *et al.* Salinidade da solução nutritiva na produção de alface americana em sistema hidropônico NFT. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 3, p. 2570-2578, 2018.

FERREIRA, M. M. M. *et al.* Índice SPAD e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo. **Revista Ceres**, v. 53, n. 305, p. 83-92, 2006.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2008.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2008.

FONSECA, P. R. B.; SCHUCK, M. B.; SILVA, J. A. N. Diferentes tipos de alface sob duas condutividades na hidroponia. **A Revista Eletrônica da Faculdade de Ciências Exatas e da Terra Produção/construção e tecnologia**, v. 5, n. 7, 2015.

FREITAS, F. T. O. *et al.* Consumo hídrico de alface americana cultivada em sistema hidropônico NFT com águas salobras. In: **Inovagri International Meeting**. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/269197014_Consumo_Hidrico_de_Alface_Amer

icana_Cultivada_em_Sistema_Hidroponico_NFT_com_Aguas_Salobras. Acesso em: 25 out. 2018.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Volume armazenado - Reservatórios**. Fortaleza-CE, 2018. 1 mapa, color. Escala interminável. Disponível em: http://www.funceme.br/produtos/script/acudes_e_rios/Boletim_diario_nivel_acudes/. Acesso em: 15 out. 2018

FURLANI, P. R. **Cultivo de alface pela técnica de hidroponia – NFT**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1995.

FURLANI, P.R. **Instrução para o cultivo de hortaliça de folha pelatécnica de hidroponia - NFT**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1998.

GALLON, C. Z.; SOUZA, I. L.; SILVA, D. M. **Eficiência da carboxilação da rubisco no período vegetativo e reprodutivo do mamoeiro** (Carica papaya L.). In: Simpósio do Papaya Brasileiro, 7, 2018, Vitória – ES. Disponível em: <http://papayabrasil.com.br/cd/dados/trabalhos/T%20-%202019.pdf>. Acesso em: 21 out. 2018.

GALMÉS, J. *et al.* Variation in Rubisco content and activity under variable climatic factors. **Photosynthesis Research**, v. 117, p. 73-90, 2013.

GAO, X. *et al.* Downregulation of Rubisco Activity by Nonenzymatic Acetylation of RbcL. **Molecular Plant**, v. 9, p. 1018-1027, 2016.

GIL, P.T. *et al.* Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 611-615, 2002.

GONÇALVES, A. O.; FAGNANI, M. A.; PERES, J. G. Efeitos da cobertura do solo com filme de polietileno azul no consumo de água da cultura da alface cultivada em estufa. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 622-631, set./dez. 2005.

GONDIN, A. R. O. *et al.* Condutividade elétrica na produção e nutrição de alface em sistema de cultivo hidropônico NFT. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 894-904, nov./dez. 2010.

GRANGEIRO, L. C. *et al.* Acúmulo de nutrientes por três cultivares de alface cultivadas em condições do Semi-Árido. **Hortic. bras.**, v. 24, n. 2, abr./jun. 2006.

GUERRA, A. M. N. M.; COSTA, A. C. M.; TAVARES, P.R. F. Atividade fotossintética e produtividade de alface cultivada sob sombreamento. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia-PB, v. 38, n. 3, p. 125-132, 2017.

HAGEMANN, M.; BAUWE, H. Photorespiration and the potential to improve photosynthesis. **Curr Opin Chem Biol**. v. 35, p. 109-116, 2016.

HAGEMANN, M.; BAUWE, H. Photorespiration. **Elsevier Ltd**. v. 2, p. 705-707. 2003.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. **Tipos de Alface Cultivados no Brasil**. Circular técnica. Embrapa. Brasília, nov. 2009.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950.

HONG-LI, Z. *et al.* Establishing dynamic thresholds for potato nitrogen status diagnosis with the SPAD chlorophyll meter. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 14, n. 1, p. 190–195, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de orçamentos familiares 2008- 2009**: análise do consumo alimentar pessoal no Brasil/ IBGE, Coordenação de Trabalho e Rendimento – Rio de Janeiro, p. 150, 2011.

JAING, Q. *et al.* Gas exchange, chlorophyll fluorescence parameters and carbon isotope discrimination of 14 barley genetic lines in response to salinity. **Field Crops Research**, v. 96 p. 269–278, 2006.

JENSEN, M.H. Hydroponics. *Hortscience*, **Tucson**, v. 32, n. 6, p. 1018-1021, 1997.

JEONG, S. W. *et al.* The effects of different night-time temperatures and cultivation durations on the polyphenolic contents of lettuce: Application of principal component analysis. **Journal of Advanced Research**. v. 6, n.3, p.493-499, 2015.

JOHNSON, C.M. *et al.* Comparative chlorine requirement of different plant species. **Plant and Soil**, v. 8, n. 3, p. 337-353, 1957.

JONES JÚNIOR., J.B. A guide for the hidroponic & soilless culture grower. Portland: Timber Press, 1983.

KANO, C.; CARDOSO, A.I.I.; VILLAS BÔAS, R.L. Acúmulo de nutrientes pela alface destinada à produção de sementes. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 70-77. 2011.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: Guanabara, 2008.

KHAIRY, A. I. H. *et al.* Nitric oxide overcomes Cd and Cu toxicity in in vitro-grown tobacco plants through increasing contents and activities of rubisco and rubisco activase. **Biochimie Open** 2, p. 41-51. 2016.

KIM, M. J. *et al.* Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 49, p. 19–34, jul. 2016.

KORONOWICZ, A. A. *et al.* Transcriptome Profiling of Caco-2 Cancer Cell Line following Treatment with Extracts from Iodine-Biofortified Lettuce (*Lactuca sativa* L.) **PLOS ONE**. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147336>. Acesso: 20 out. 2017.

KURBAN, H. *et al.* Effect of salinity on growth, photosynthesis and mineral composition in leguminous plant *Alhagipseudoalhagi* (Bieb.). **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 45, p. 851-862. 1999.

LAVRES JUNIOR, J. *et al.* **Influência da adição de Cádmiu na produção de massa fresca e nos valores SPAD de dez cultivares de alface em condições de hidroponia**. São Paulo: FertiBio, 2008. Disponível em: http://www.diadecampo.com.br/arquivos/materias/%7BF52A2242-6278-4925-94E1-CDE65D903A70%7D_86_2.pdf. Acesso em: 05 out. 2016.

LEONARDO, F. A. P. *et al.* Teor de clorofila e índice SPAD no abacaxizeiro cv. vitória em função da adubação nitrogenada. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 2, p. 377-383, 2013.

LIMA, M. A. *et al.* Trocas gasosas em folhas de sol e sombreadas de cajueiro anão em diferentes regimes hídricos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 654-663, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902010000400020>. Acesso em: 05 set. 2017.

LIN, F. F. *et al.* Investigation of SPAD meter-based indices for estimating rice nitrogen status. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 71, p. 60-65, 2010.

LINUQVIST, K. On the origin of cultivated lettuce. **Hilleshog sugar beet breeding institute**, landskrona, Sweden, 1960.

LUZ, G. L. *et al.* Consumo de energia elétrica e produção de alface hidropônica com três intervalos entre irrigações. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 3, mai./jun., 2008.

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

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance - current assessment. **J. Irrig. and Drainage Div.**, p. 115-134. 1977.

MAGALHÃES, A. G. *et al.* Desempenho de cultivares de alface em cultivo hidropônico sob dois níveis de condutividade elétrica. **Hortic. Bras.** Brasília, v. 28 n. 3, 2010.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980.

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

MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Produção de alface e acúmulo de nitrato em função da adubação nitrogenada. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 3, p. 758-762, jul./set. 2005.

MARTINEZ, D. G.; MARTINS, B. H. da S.; FEIDEN, A. Valor nutricional do cultivo de alface hidropônico. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 5, n. 4, p. 481-489, 2016.

MARTINS, R. V. O mundo da Hidroponia. 2003. Disponível em: www.hydor.eng.br. Acesso em: 4 out. 2016.

MONTEIRO FILHO, A. F. *et al.* Cultivo hidropônico de cultivares de alface em soluções nutritivas organominerais otimizadas com a ferramenta SOLVER. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 417-424, 2014.

MORAIS, R. R.; ROSSI, L. M. B.; HIGA, R. C. V. Trocas gasosas de plantas jovens de taxi-branco submetidas à variação de temperatura foliar e suspensão da irrigação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 97-104, jan./mar. 2017.

MOREIRA, R. C. L.; SOARES FILHO, W. S.; FERNANDES, P. D. Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em cultivo hidropônico. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 18, (Suplemento), p. 1-7, 2014.

MULLER, D. R. *et al.* Produção hidropônica de batata em diferentes concentrações de solução nutritiva e épocas de cultivo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 42, n. 5, p. 647-653, 2007.

NASCIMENTO, H. C. S.; MARENCO, R. A. Mesophyll conductance variations in response to diurnal environmental factors in *Myrcia paivae* and *Minquartia guianensis* in Central Amazonia. **Photosynthetica**, Praha, v. 51, p. 457-464, 2013.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. Porto Alegre: Artmed. 2014.

NEVES, A. L. R. *et al.* Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 13, (Suplemento), p. 873-881, 2009.

NEVES, J. F. *et al.* Produção de cultivares de alface americana sob diferentes ambientes em condições tropicais. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 2, p. 130 - 136, abr./jun., 2016.

NICOLLE, C. *et al.* Health effect of vegetable-based diet: lettuce consumption improves cholesterol metabolism and antioxidant status in the rat. **Clinical Nutrition**, 23, p. 605–614, 2004.

NOGUEIRA, S. C. V.; SILVA, E. C. Espaçamento e tempo em berçário na produção de alface no sistema hidropônico NFT com o uso de espuma fenólica. **Horticultura brasileira**, v. 20, n. 2, 2002.

NOMAANE, R. S. S. *et al.* Chemical composition of essential oils and *in vitro* antioxidant activity of fresh and dry leaves crude extracts of medicinal plant of *Lactuca Sativa* L. native to Sultanate of Oman. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 3, n. 5, p. 353-357, mai. 2013.

OLIVEIRA, B. C. *et al.* Características produtivas do tomateiro submetido a diferentes níveis de sais, na água de irrigação. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 11–16, 2007.

OLIVEIRA, F. A. *et al.* Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 771–777, 2011.

OLIVEIRA, F. A. *et al.* Desempenho de cultivares de rúcula sob soluções nutritivas com diferentes salinidades. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 7, n. 2, p. 170-178, mai./ago. 2013.

OLIVEIRA, F. A. O. *et al.* Comportamento fisiológico e crescimento de plantas de melancia sob diferentes concentrações de solução nutritiva. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v. 10, n. 1, p. 439-448, 2016.

PARK, J. *et al.* The sensitivity of an hydroponic lettuce root elongation bioassay to metals, phenol and wastewaters. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, p. 147-153, 2016.
PAULINO, M. A. *et al.* GUILHERME, D. de O. **Revista Brasileira de Agricultura, Irrigada** v. 3, n. 1, p. 22-29, 2009.

PAULUS, D. *et al.* Crescimento, consumo hídrico e composição mineral de alface cultivada em hidroponia com águas salinas. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 1, p. 110-117, jan./fev., 2012.

PAULUS, D. *et al.* Produção e indicadores fisiológicos de alface sob hidroponia com água salina. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 29-35, 2010.

PÔRTO, M. L. *et al.* Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio na cultura da abobrinha. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 311-315, 2011.

QUADROS, B. R. de. *et al.* Teor de macronutrientes na parte aérea e sementes de plantas de alface em função de doses de composto orgânico com e sem adição de fósforo ao solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, s. 1, p. 1725-1734, 2011.

REBOUCAS1, J. R. L. *et al.* Cultivo hidropônico de coentro com uso de rejeito salino. **Irriga** (UNESP. CD-ROM), v. 18, p. 624-634, 2013.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2012.

RESENDE, G. M. de. *et al.* Rendimento e teores de macronutrientes em alface tipo americana em função de doses de nitrogênio e molibdênio em cultivo de verão. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 153-163, jan./fev., 2009.

RESH, H.M. **Hydroponic food production**. Woodbridge: Press Publishing Company, 1985.

ROSA, A. M. *et al.* Production and photosynthetic activity of Mimosa Verde and Mimosa Roxa lettuce in two farming systems. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 4, p. 494-501, jul./ago. 2014.

SALA F. C; COSTA C. P. 'GLORIOSA': Cultivar de alface americana tropicalizada. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 409-410, 2008.

SALA F. C; COSTA C. P. 2008. 'GLORIOSA': Cultivar de alface americana tropicalizada. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 409-410, 2008.

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

SANCHEZ, S. V. **Avaliação de cultivares de alface crespa produzidas em hidroponia tipo NFT em dois ambientes protegidos em ribeirão preto (SP)**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2007.

SANCHEZ. S. V. **Produção de hortaliças pelo método Hidropônico: balcão de tecnologias alternativas para as propriedades rurais**. Campinas: SEBRAE-CATI, 1996.

SANTOS JÚNIOR, J. A. *et al.* Produção e pós-colheita de flores de girassóis sob estresse salino em hidroponia de baixo custo. **Eng. Agríc**, Jaboticabal. v. 36 n. 3, 2016.

SANTOS, A. N. *et al.* Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibirimir, PE. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 961-969, 2010.

SANTOS, A. N. **Rendimento e avaliação nutricional do cultivo hidropônico de alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema NFT no semi-árido brasileiro utilizando águas salobras**. Dissertação. UFRPE. Recife – 2009.

SANTOS, C. M. *et al.* Atividade fotossintética em alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, n. 3, set./dez. 2010.

SANTOS, C. M. G. *et al.* Qualidade da alface comercializada no município de Botucatu - SP. **Rev. Iber. Tecnología Postcosecha**, v. 11, n. 1, p. 67-74, 2010.

SANTOS, D. B. *et al.* Produção e parâmetros fisiológicos do amendoim em função do estresse salino. **IDESIA**, v. 30, n. 2, 2012.

SANTOS, J. D. *et al.* Development of a vinasse nutritive solution for hydroponics. **Journal of Environmental Management**, v. 114, p. 8-12, 2013.

SANTOS, O.S. dos. Conceito e histórico. In: SANTOS, S. dos S. (Ed). **Hidroponia da alface**. Santa Maria: UFSM, p. 1-3, 1998.

SCHMITT, O. J. *et al.* Produção de estolhos de cultivares de morangueiro em função da condutividade elétrica da solução nutritiva. **Horticultura Brasileira**, n. 34, p. 294-301, 2016.

- SCHUBERT, B. A.; JAHREN, A. H. Incorporating the effects of photorespiration into terrestrial paleoclimate reconstruction. **Earth-Science Reviews**. v. 177. p. 637-642. 2018.
- SCHUBERT, M. **Manual prático de hidroculivo**. Barcelona: Omega S.A., 1981.
- SEDIYAMA, M. A. N. *et al.* Desempenho de cultivares de alface para cultivo hidropônico no verão e no inverno. **Científica (Jaboticabal. Online)**, v. 37, p. 98-106, 2009.
- SEGINER, I. *et al.* Optimal Temperature Setpoints for Greenhouse Lettuce. **J. ugric. Engng Res**. v.49, p. 209-226. 1991.
- SEO, M. W. *et al.* Effects of nutrient solution electrical conductivity and sulfur, magnesium, and phosphorus concentration on sesquiterpene lactones in hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 122, p. 369-374, 2009.
- SILVA, A. R. A. da. *et al.* Physiological responses of dwarf coconut plants under water deficit in salt-affected soils. **Rev. Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 2, p. 447-457, abr./jun., 2017.
- SILVA, E. M. *et al.* Níveis de salinidade e manejo da fertirrigação sobre características da berinjela cultivada em ambiente protegido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 150-158, jan./mar., 2013.
- SILVA, F. G. *et al.* Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015.
- SILVA, F. L. B. *et al.* Interação entre salinidade e biofertilizante bovino na cultura do feijão-de-corda. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 383-389, 2011.
- SOARES *et al.* Combinação de águas doce e salobra para produção de alface hidropônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 14, n. 7, p. 705-714, 2010.
- SOARES, H. R. *et al.* Condutância estomática e consumo hídrico de alface hidropônico em poços do semiárido pernambucano. *In: III INOVAGRI International Meeting*, 3., 2015, Fortaleza. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.12702/iii.inovagri.2015-a369>. Acesso em: 20 out. 2018.
- SOARES, H. R. *et al.* Lettuce growth and water consumption in NFT hydroponic system using brackish water. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 19, n. 7, p. 636-642, 2015.
- SOARES, H. R. *et al.* Trocas gasosas em couve-flor cultivada em sistema hidropônico NFT com águas salobras. *In: INOVAGRI International Meeting*, 2017, 4, 2016, Fortaleza. Disponível em: <http://www.inovagri.org/anais/TC1740186.pdf>. Acesso: 20 out. 2018.
- SOARES, T. M. **Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro**. Tese (doutorado). Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: [s.n.], 2004.

SODA, S. *et al.* Effects of light intensity and water temperature on oxygen release from roots into water lettuce rhizosphere. **Water Research**, p. 487-491, 2007;

SOUSA, A. E. C. *et al.* Teores de nutrientes foliares e respostas fisiológicas em pinhão manso submetido a estresse salino e adubação fosfatada. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 2, p. 144-152, mar./jun., 2012.

STRASBURG, V. J.; JAHNO, V. D. Sustentabilidade de cardápio: avaliação da pegada hídrica nas refeições de um restaurante universitário. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté-SP, v. 10 n. 4, 2015.

STRECK, L. *et al.* Sistema de produção de alface em ambiente parcialmente modificado por túneis baixos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 667-675, 2007.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TEIXEIRA, N. T. Hidroponia: uma alternativa para pequenas áreas. Guaíba: Agropecuária, 1996.

TORRES, G. I. O. P da S. **Solução nutritiva: avaliação da reposição de macronutrientes no cultivo hidropônico de alface**. 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2009.

VIANA, M. C. M. *et al.* Índice de clorofila na folha de alface submetida a diferentes doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p.86-90, 2008.

VRIES, I. M. de. Origin and domestication of *Lactuca sativa* L. **Genetic Resources and Crop Evolution**, p. 165-174, 1997.

WHEELER, T. R. *et al.* Effects of temperature on the growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and the implications for assessing the impacts of potential climate change. **Eur. J. Agron.**, v. 2, n. 4, p. 305-311, 1993.

XAVIER, J. F. *et al.* Água residuária utilizada na produção de três cultivares de alface em sistema hidropônico. In: I Congresso Internacional da diversidade do Semiárido, 1., 2016, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa. 2016.

YARAMI, N.; SEPASKHAH, A. R. Physiological growth and gas exchange response of saffron (*Crocus sativus* L.) to irrigation water salinity, manure application and planting method. **Agricultural Water Management**, v. 154, p. 43-51, 2015.

ZUFFO, A. M. *et al.* Eficiência na determinação indireta do nitrogênio foliar a partir do índice SPAD. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, 2012.