



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

HELENA MARIA DE MORAIS NETA

**CULTIVO DE ALFACE EM SISTEMAS HIDROPÔNICOS E
CONCENTRAÇÕES DE SOLUÇÃO NUTRITIVA**

Mossoró

2021

HELENA MARIA DE MORAIS NETA

**CULTIVO DE ALFACE EM SISTEMAS HIDROPÔNICOS E
CONCENTRAÇÕES DE SOLUÇÃO NUTRITIVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de “Mestre em Manejo de Solo e Água”.

Linha de Pesquisa: Fertilidade do solo e adubação

Orientador: Prof. D. Sc. Francisco de Assis de Oliveira

Mossoró

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

489 de Moraes Neta, Helena Maria.

c CULTIVO DE ALFACE EM SISTEMAS HIDROPÔNICOS E
CONCENTRAÇÕES DE SOLUÇÃO NUTRITIVA / Helena Maria
de Moraes Neta. - 2021.

65 f.: il.

Orientador: Francisco de Assis de Oliveira.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
, 2021.

1. Lactuca sativa. 2. Hortaliças. 3.
Hidroponia. 4. Condutividade elétrica. I. de

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

HELENA MARIA DE MORAIS NETA

**CULTIVO DE ALFACE EM SISTEMAS HIDROPÔNICOS E
CONCENTRAÇÕES DE SOLUÇÃO NUTRITIVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de “Mestre em Manejo de Solo e Água”.

Linha de Pesquisa: Fertilidade do Solo e Adubação.

Defendida em: 24 /02/ 2021.


BANCA EXAMINADORA



Prof. D. Sc. Francisco de Assis de Oliveira – Orientador
UFERSA



D. Sc. Mychelle Karla Teixeira de Oliveira – 1º Membro
UFERSA



D. Sc. Adriana Araújo Diniz – 2º Membro
UEMA



D. Sc. Kaline Dantas Travassos – 3º Membro
UFERSA

Aos meus pais, Edinaldo de Moraes e Urânia Canela de Oliveira Moraes, que são meus maiores exemplos de vida, por quem tenho o maior amor desse mundo.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

A Deus por tudo, por seu imenso amor e proteção e por me permitir vivenciar a realização de mais essa etapa da minha vida.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), por todo aprendizado, é com muito orgulho que concluir nessa universidade minha graduação e agora o mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água e seus docentes, técnicos dos laboratórios, por todas as oportunidades a mim concebidas durante o período do mestrado, por todo conhecimento adquirido e apoio necessário para que pudesse concluir esse trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa durante todo o período do mestrado.

Ao meu orientador e amigo Francisco de Assis (Thikão) por todas as contribuições e conhecimentos compartilhados, além de toda palavra de apoio, de incentivo e por depositar em mim sua confiança para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Edinaldo (Edinho) e Urânia, por todo suporte e apoio. Por vocês, tenho o maior amor e orgulho desse mundo e é por vocês que ainda desejo alçar muitos outros voos. Muito obrigada!

Aos meus irmãos/as, Eliabe e Elionardo, Euziária e Elizângela, muito obrigada por todo cuidado, todas preocupações, companheirismo, todo incentivo e apoio para que pudesse chegar até aqui. Amo muito vocês e muito me orgulha tê-los como irmãos.

A minha sobrinha e filha de coração, Anna Cecília, fonte de inspiração, presente de Deus. Sua tia-mamãe te ama muito.

Ao meu esposo, melhor amigo, Rayr Cezar, por todo amor, você que me acompanhou desde o início, esteve comigo nos bons e maus momentos, sempre me incentivando e acreditando muito mais em mim, do que eu mesma. Obrigada por me entender tão bem e por dividir comigo meus sonhos, amo muito você. Agradeço, a toda sua família que se tornou minha família também, por todo carinho e afeto, em especial ao meu cunhado Pedro, pelo suporte nos últimos dias

A toda minha família, aos meus avós maternos, tios e tias, primos e primas, cunhado, muito obrigada por cada palavra de apoio, cada sentimento de alegria ao me ver alcançar meus objetivos.

Aos amigos de sempre, que mesmo distantes fisicamente, estão sempre torcendo por mim: Victor, Leandro, Erika e Thiago. Amo vocês.

Aos amigos/irmãos que fiz na pós-graduação, agradeço imensamente o carinho, a amizade, a irmandade de vocês para comigo. Em especial, agradeço a Isabela Clemente, além ser uma excelente companheira de apartamento, é uma amiga maravilhosa, sempre muito atenciosa e dona de um coração enorme. Agradeço a Renata Torquato, aquela que esteve comigo desde o início do experimento e dividimos muitos aperreios até aqui, obrigada por sua amizade e por sempre me ouvir. Agradeço também de coração a Rodrigo Rafael e a Eric Moraes, por toda ajuda durante a condução do experimento e pela amizade construída. À toda turma da pós (2019.1), pelas inúmeras conversas e cafezinhos na copa do laboratório de solos. Todos vocês têm um cantinho especial em meu coração.

Ao grupo de pesquisa “IRRIGANUTRI” e seus colaboradores, em especial a Sandy, Aline, Felipe, Jonas e Giordânio por toda ajuda e dedicação durante as conduções desse e de vários outros trabalhos. Agradeço de coração ao Sr, Sérgio por todo auxílio necessário sempre que precisei de sua ajuda.

A minha banca examinadora por ter aceitado o convite de estarem participando desse momento único da minha vida.

Em suma, agradeço todos que de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho ou que esteve comigo durante este ciclo do mestrado. Agradeço à Deus pela vida de cada um e por ele me permitir vivenciar momentos tão felizes como esse, ao lado de vocês.

Minha sincera gratidão a todos!

RESUMO

Apesar da alface ser tradicionalmente cultivada no solo, atualmente técnicas hidropônicas estão sendo bastante difundidas na produção da alface. Contudo, há necessidade de mais estudos, especialmente, quanto as concentrações de nutrientes da solução nutritiva e os sistemas hidropônicos a serem utilizados, a fim de proporcionar aumento de produtividade da cultura. Diante do exposto, o objetivo desse trabalho, foi avaliar sistemas hidropônicos na produção, qualidade e nutrição mineral de cultivares de alface submetidas a concentrações de nutrientes da solução nutritiva. A pesquisa foi desenvolvida em casa de vegetação localizada no setor experimental do Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em Mossoró. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial de 2 x 2 x 3, com três repetições. Os tratamentos foram obtidos pela combinação de duas cultivares de alface (Cinderela e Rubinella), duas soluções nutritivas (Solução nutritiva padrão (100%) e Solução nutritiva diluída (50%)) e três sistemas de cultivo hidropônico (Nutrient Film Technique (NFT), cultivo em substrato (Semi-hidropônico) e Deep Film Technique (DFT ou floating)). As plantas foram coletadas aos 46 dias após a emergência e avaliadas quanto as variáveis de produção (número de folhas, massa fresca de folhas, massa seca total, área foliar, suculência foliar e área foliar específica,); qualidade (acidez titulável, vitamina C, sólidos solúveis e a relação SS/ATT) e nutrição mineral (macronutrientes (N, P, K, Mg, Ca) e micronutrientes (Fe, Cu, Zn e Mn). Os dados obtidos foram submetidos a análises de variância, realizando-se desdobramento dos fatores, quando ocorreu resposta significativa à interação entre os fatores. A cv. Cinderela apresentou maiores rendimentos para massa fresca de folhas (96,71 g planta⁻¹), massa seca total (4,22 g planta⁻¹), área foliar (3.341,35 cm² planta⁻¹) e vitamina C (10,04 mg de ác.asc/100 mL). Os sistemas NFT e floating proporcionam os maiores valores para produtividades, qualidade de folhas e nutrientes, especialmente na solução de 50%, nesses sistemas de cultivo, pode-se utilizar essa solução sem comprometer o desenvolvimento da cultura. O sistema semi-hidropônico proporcionou maior desenvolvimento das plantas, mas exigiu o uso de solução nutritiva mais concentrada (100%).

Palavras-chave: *Lactuca sativa*. Hortaliças. Hidroponia. Condutividade elétrica.

ABSTRACT

Although lettuce is traditionally grown in soil, hydroponic techniques are currently being widespread in its production. However, there is a need for further studies, especially regarding nutrient concentrations of the nutrient solution and the hydroponic systems to be used, in order to promote increased crop yield. In view of the above, the objective of this study was to evaluate the effects of hydroponic systems on the production, quality and mineral nutrition of lettuce cultivars subjected to nutrient concentrations in the nutrient solution. The study was conducted in a greenhouse located in the experimental sector of the Department of Agronomic and Forestry Science of the Federal Rural University of the Semi-Arid Region, in Mossoró. A completely randomized design was adopted in a 2 x 2 x 3 factorial scheme, with three replicates. Treatments were obtained by combining two lettuce cultivars (Cinderella and Rubinella), two nutrient solutions (Standard nutrient solution (100%) and Diluted nutrient solution (50%)) and three hydroponic cultivation systems (Nutrient Film Technique (NFT), cultivation in substrate (Semi-hydroponic) and Deep Film Technique (DFT or floating)). Plants were harvested at 46 days after emergence and evaluated for variables of production (number of leaves, leaf fresh mass, total dry mass, leaf area, leaf succulence and specific leaf area); quality (titratable acidity, vitamin C, soluble solids and SS/ATT ratio) and mineral nutrition (macronutrients (N, P, K, Mg, Ca) and micronutrients (Fe, Cu, Zn and Mn)). The data obtained were subjected to analysis of variance, decomposing the factors when there was a significant response to the interaction between factors. The cv. Cinderella had higher yields for leaf fresh mass (96.71 g plant⁻¹), total dry mass (4.22 g plant⁻¹), leaf area (3,341.35 cm² plant⁻¹) and vitamin C (10.04 mg ascorbic acid/100 mL). NFT and floating systems promote the highest values yield, leaf quality and nutrients, especially in the 50% solution, so this solution can be used in these cultivation systems without compromising crop development. The semi-hydroponic system promoted greater plant development, but required the use of a more concentrated nutrient solution (100%).

Keywords: *Lactuca sativa*. Vegetables. Hydroponics. Electrical conductivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Dados de temperatura (A) e umidade relativa (B) ao longo do experimento.....	19
Figura 2: Localização da área experimental (em detalhe) (A). Fonte: Google Maps (2019) e casa de vegetação, onde foi conduzido o experimento (B).....	20
Figura 3. Vista lateral (A) e disposição da alface nos perfis hidropônicos do sistema NFT (B) Fonte: Autor (2019).....	21
Figura 4. Vista superior (A) e disposição da alface no sistema semi-hidropônico (B, C)	22
Figura 5. Vista superior (A) e disposição da cultura da alface no sistema floating (B).....	23
Figura 6. Produção de mudas em bandejas (A) e mudas prontas para o transplântio (B).....	24
Figura 7. Monitoramento da CE (A) e do pH (B) das soluções nutritivas	25
Figura 8. Massa fresca de folhas (MFF) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas	31
Figura 9. Massa seca total (MST) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas.....	32
Figura 10. Área foliar (AF) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas.....	34
Figura 11. Acidez titulável (AT) em cultivares de alface cultivadas em sistemas hidropônicos (A) e submetidas a soluções nutritivas (B).....	36
Figura 12. Vitamina C (VIT C) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas.....	37
Figura 13. Sólidos solúveis (SS) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas.....	38
Figura 14. Relação sólidos solúveis e acidez titulável (SS/AT) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas.....	39
Figura 15. Teor de nitrogênio (N) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas.....	41
Figura 16. Teor de fósforo (P) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas.....	43
Figura 17. Teor de potássio (K) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas.....	44
Figura 18. Teor de cálcio (Ca) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos (A) e sistemas hidropônicos X soluções nutritivas a soluções nutritivas (B)....	45
Figura 19. Cultivares de alface (Cinderela e Rubinella), cultivadas em sistema Floating, apresentado sintomas de clorose nas folhas	47

Figura 20. Teor de magnésio (Mg) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas.....	48
Figura 21. Teor de ferro (Fe) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas.....	51
Figura 22. Teor de zinco (Zn) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas.....	52
Figura 23. Teor de cobre (Cu) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas.....	53
Figura 24. Teor de manganês (Mn) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo (A) e soluções nutritivas (B) e Sistemas hidropônicos X soluções nutritivas (C).....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização química da água utilizada no preparo das soluções nutritivas	20
Tabela 2: Resumo da análise de variância para número de folhas (NF), suculência foliar (SUF), área foliar específica (AFE), massa fresca de folhas (MFF), massa seca total (MST) e área foliar (AF) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas	29
Tabela 3: Valores médios para número de folhas (NF), suculência foliar (SUF) e área foliar específica (AFE) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas	30
Tabela 4: Resumo da análise de variância para acidez titulável (AT), vitamina C (VIT C) sólidos solúveis (SS) e relação sólidos solúveis/acidez titulável (SS/AT) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas.....	35
Tabela 5: Resumo da análise de variância para teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas	40
Tabela 6: Resumo da análise de variância para ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), e cobre (Cu) em cultivares submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas.....	50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Produção de hortaliças	14
2.2 Cultura da alface (<i>Lactuca sativa</i> L.).....	15
2.3 Sistemas hidropônicos.....	15
2.4 Concentração da solução nutritiva	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Área de estudo	19
3.2 Delineamento experimental e tratamentos	20
3.3 Sistemas hidropônicos.....	21
3.3.1 Técnica do fluxo laminar de nutrientes (NFT).....	21
3.3.2 Sistema Semi-hidropônico (Substrato)	22
3.3.3 Técnica do filme profundo (DFT ou <i>Floating</i>).....	23
3.4 Implantação do experimento	24
3.5 Monitoramento da solução nutritiva	24
3.6 Variáveis analisadas.....	25
3.6.1 Avaliação de produção	25
3.6.2 Avaliação de qualidade.....	27
3.6.3 Avaliação nutricional	27
3.7 Análise estatística.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1 Produção.....	29
4.2 Qualidade.....	35
4.3 Nutrição mineral de plantas	40
5. CONCLUSÕES	58
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1. INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) pertence à família das Asteraceae, assim como outras importantes hortaliças, entre as quais cita-se: chicórias, almeirões e endívias. A alface situa-se entre as hortaliças mais comumente encontradas na mesa do brasileiro, o que a faz ter uma expressiva importância econômica dentre as hortaliças folhosas (Carvalho et al., 2005). No Brasil, a cultura da alface ocupa cerca 86,8 mil hectares, representando assim 49% da área total (Anuário Brasileiro de Horti&fruit, 2018).

O cultivo em ambiente protegido no Brasil passou a ser amplamente utilizado no final dos anos 80 para início dos anos 90, tendo como principal finalidade, o cultivo de culturas mais produtivas, com a obtenção de produtos durante o ano todo (Lacerda et al., 2012).

Apesar da alface ser cultivada ainda, tradicionalmente, no solo, a hidroponia vem ganhando bastante destaque entre os produtores. Nesse sistema de cultivo, não se utiliza o solo como meio de cultivo, logo os nutrientes minerais essenciais para o desenvolvimento das plantas devem ser fornecidos por meio de uma solução nutritiva (Bezerra Neto & Barreto, 2012). É essencial a adequação da solução nutritiva, em sistemas hidropônicos para que se obtenha êxito na produção de plantas (Furlani et al., 2009).

Atualmente, já existem muitas propostas de soluções nutritivas para o cultivo de hortaliças em sistema de cultivo sem solo, as quais variam basicamente de acordo com a espécie vegetal, modelo de produção, estágio fenológico e condições climáticas de cada região (Furlani et al., 2009).

Contudo, alguns fatores devem ser levados em consideração no preparo da solução nutritiva, tais como a qualidade da água, especialmente quanto ao teor de sais dissolvidos, pH e temperatura da solução nutritiva, uma vez que, de acordo com Fernandes et al. (2018), elevadas concentrações salinas da solução nutritiva em condições de altas temperaturas, umidade e luminosidade, têm provocado, uma série de distúrbios fisiológicos nas plantas podendo ser considerados como os mais preocupantes, expressando-se na forma de murcha excessiva nas horas mais quentes do dia, queima das bordas das folhas e perda na produtividade.

A redução da concentração da solução nutritiva através do abaixamento da condutividade elétrica tem sido alvo de estudos, especialmente nas regiões mais quentes. Cometti et al. (2008), por exemplo, estudaram quatro soluções nutritivas (100; 50, 25 e 12,5%) no cultivo hidropônico da alface cv. Vera e constataram que a redução da solução nutritiva de 100 para 50%, resultou em melhores condições para o crescimento da cultura.

Dentre os principais sistemas de cultivo hidropônico, Bezerra Neto & Barreto (2012), cita-se: a hidroponia de aeração estática (*floating*); técnica do filme nutriente (NFT) ou técnica do fluxo laminar de nutrientes; aeroponia; cultivo por submersão e drenagem (*flood por drain*) e o cultivo em substrato. Sendo o sistema NFT considerado o mais viável comercialmente para o cultivo de diferentes culturas, em especial para as hortaliças folhosas (Cometti, 2003).

As culturas apresentam respostas variadas em relação ao sistema de cultivo e ao aumento da disponibilidade de nutrientes na solução nutritiva (Luz et al., 2012; Oliveira et al., 2016a). Em função disso, ainda são escassos os trabalhos comparando diferentes sistemas de cultivos hidropônicos sob a produção de culturas, especialmente de hortaliças folhosas, utilizando soluções nutritivas com diferentes concentrações de nutrientes.

Mediante a isso, elaborou-se a pergunta: a concentração de nutrientes da solução nutritiva pode afetar o desempenho da alface a depender do sistema hidropônico utilizado? Dessa forma, o presente trabalho teve com o objetivo de avaliar o efeito dos sistemas hidropônicos na produção, qualidade e nutrição mineral de cultivares de alface submetidas a concentrações de nutrientes da solução nutritiva.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Produção de hortaliças

O setor hortícola brasileiro representa grande importância econômica e social, especialmente para os pequenos agricultores, uma vez que a produção de olerícolas se diferencia de outras culturas, por não ter a necessidade de grandes áreas para sua produção (SEAB, 2012).

No Brasil, o cultivo de hortaliças folhosas ocupa a área de cerca de 174 mil hectares, com destaque para a cultura da alface que ocupa 49% da área total. A produção nacional de hortaliças folhosas é de 575,5 mil toneladas, sendo o estado de São Paulo, o principal produtor dessa hortaliça (Anuário Brasileiro de Horti&fruit, 2018).

As hortaliças se destacam na preferência de cultivo por parte dos agricultores familiares, pois, além de enriquecer e complementar a sua dieta, possibilitam um retorno econômico rápido. Esta atividade possibilita a geração de grande número de empregos devido, sobretudo à elevada exigência de mão-de-obra, desde a semeadura até a comercialização, contribuindo para assim para que haja participação das famílias nos trabalhos de produção, é contribui para evitar o êxodo rural (Oliveira et al., 2011; SEAB, 2012).

Nos últimos anos, o consumo de hortaliças folhosas no Brasil tem aumentado expressivamente, de modo que, tem sido cada vez mais comum a presença dessas nas mesas dos brasileiros. Em parte, esse fato evidencia a tendência de mudança nos hábitos alimentares dos consumidores. Assim, tem-se a necessidade de manter o fornecimento dessas hortaliças tanto em quantidade como em qualidade durante todo o ano (Potrich et al., 2012).

A região semiárida se destaca no cultivo de hortaliças, no entanto, essa região apresenta características climáticas bem definidas, como a escassez, irregularidades nas precipitações e elevada evapotranspiração, o que por muitas vezes, tem limitado a expansão das hortaliças (Carmo et al., 2011).

Neste sentido, o cultivo da alface em ambiente protegido tem ganhado cada vez mais destaque nessa região. Surgindo como uma alternativa para os produtores, com grandes possibilidades de maior rendimento da cultura e reduções de ciclo em relação ao cultivo (Ohse et al., 2001).

2.2 Cultura da alface (*Lactuca sativa* L.)

A alface (*Lactuca sativa* L.) é originária da Europa e da Ásia. Quanto as suas características, a alface trata-se de uma planta classificada como herbácea, delicada, com caule diminuto, no qual as folhas se prendem e crescem em formato de roseta, podendo se apresentar lisa ou crespa com ou sem a formação de cabeça, e ainda pode apresentar diferentes tons de verde ou se apresentar na coloração roxa dependendo da cultivar (Filgueira, 2013).

A alface apresenta elevada qualidade nutricional, pois se constitui como fonte de vitaminas, especialmente a vitamina A e sais minerais, como cálcio. Apresenta baixo teor de calorias e a fácil digestão, sendo bastante recomendada para dietas alimentares ricas em fibras (Mota et al., 2012).

Por ser considerada uma hortaliça de clima temperado, a alface possui melhor adaptação à baixas temperaturas. Para Henz & Suinaga (2009), a maioria das cultivares de alface apresentam melhor desenvolvimento em temperaturas entre 15 °C e 24 °C, principalmente no período de crescimento vegetativo. Por outro lado, Turini et al. (2011), relatam que elevadas temperaturas do ar acima de 20 °C, já provocam alterações na morfologia da alface. Contudo, devido as técnicas de melhoramento contra o pendoamento precoce, tolerância ao calor e ao mosaico da alface, já se consegue produzir alface durante o ano inteiro (Filgueira, 2013).

No mercado brasileiro, existem vários grupos de alface, destes o grupo das alfaces crespas por muitos anos lideram o mercado nacional, apresentando uma taxa de preferência de 70% no mercado brasileiro, seguida pela americana (15%), lisa (10%) e romana (Suinaga et al., 2013). No Brasil, a preferência pela alface do grupo crespa ocorre pelo fato das plantas apresentarem grande porte e serem facilmente manuseadas e acondicionadas devido às características de suas folhas (Silva, 2017).

No Brasil, muito embora, tradicionalmente, a alface ainda seja muito cultivada em solo (Kowalczyk et al., 2016), diferentes tipos de sistemas produtivos, estão sendo utilizados, como o sistema orgânico em campo aberto, o cultivo protegido no sistema hidropônico e no solo (Resende et al., 2007; Filgueira, 2013).

2.3 Sistemas hidropônicos

Nos últimos anos, tem-se buscado tecnologias visando tornar o uso da água mais eficiente, como a hidroponia. Nesse sistema de cultivo, as perdas de água são mínimas em relação ao cultivo convencional (Silva et al., 2016a).

De acordo com Santos (2009), os cultivos hidropônicos apresentam muitas vantagens, tanto para o consumidor, produtor, como para o meio ambiente. Dentre as vantagens deste sistema de cultivo, destacam-se a obtenção de hortaliças de alta qualidade nutritiva, sendo estas produzidas com ausência ou uso reduzido de defensivos, encurtamento do ciclo de produção, maior produtividade, maior uniformidade, aproveitamento e durabilidade das hortaliças, menor gasto de água e de insumos agrícolas.

A adoção dessa técnica tem contribuído para a preservação do solo, bem como para a conservação dos mananciais de água. O uso desse sistema, também permite a utilização de águas de qualidade inferior, mediante o aumento na tolerância das culturas à salinidade, uma vez que este ameniza o efeito deletério do estresse salino sobre as plantas (Paulus et al., 2012; Silva et al., 2013; Oliveira et al., 2015; Diniz et al., 2019).

Atualmente, os sistemas de cultivos hidropônicos em uso, já se encontram bastante modificados e se diferenciam entre si quanto à forma de sustentação da planta (meio líquido e substrato), ao reaproveitamento da solução nutritiva (fechado ou aberto) e ao fornecimento da solução nutritiva (contínua ou intermitente). Dentre as técnicas de cultivo hidropônico, existem a aeroponia, cultivo por submersão e drenagem (flood and drain), hidroponia de aeração estática (floating), cultivo com substratos e a técnica do filme nutriente (NFT) ou técnica do fluxo laminar de nutrientes (Bezerra Neto & Barreto, 2012; Martinez, 2016).

No sistema NFT, as plantas são cultivadas em canais de cultivo por onde a solução nutritiva circula, intermitentemente, em intervalos definidos e controlados por um temporizador. Além disso, as raízes das plantas ficam apenas parcialmente submersas na lâmina de solução nutritiva, que circula de forma a permitir a respiração normal das raízes (Bezerra Neto & Barreto, 2012; Martinez, 2016).

A grande desvantagem deste sistema é que qualquer eventual problema de energia elétrica pode causar problema na bomba, impedindo o fluxo do filme, o que se ocorrido nos períodos mais quentes do dia pode até ocasionar a perda da produção (Andriolo et al., 2004).

Apesar de o sistema NFT ser mais utilizado no Brasil na produção de hortaliças, especialmente as folhosas, tem sido difundido o uso do cultivo de hortaliças em substrato inerte acondicionados em recipientes, também denominado semi-hidropônico, especialmente no cultivo de hortaliças de frutos (Nunes et al., 2013; Queiroz et al., 2013; Diniz et al., 2015).

Recentemente, o cultivo semi-hidropônico vem sendo adotado por vários pesquisadores na produção de hortaliças folhosas (Oliveira et al., 2018; Cordeiro et al., 2019; Targino et al., 2019). Este sistema tem apresentado vantagens em relação ao NFT, com destaque para uma redução no tempo de irrigação, uma vez que o substrato mantém umidade do meio radicular

por mais tempo, ocasionando assim menor consumo de energia, podendo proporcionar economia de até 92% (Andriolo et al., 2004).

Esse sistema também proporciona maior segurança no tocante a eventuais problemas no fornecimento de energia, tendo em vista que o volume de substrato utilizado e a alta capacidade de retenção de água no substrato possibilita maior intervalo de irrigação (Andriolo et al., 2004).

Além desses sistemas hidropônicos (NFT e semi-hidropônico), também vem sendo difundida a técnica *floating* ou flutuante (DFT - Deep Film Technique), no qual as plantas ficam apoiadas em sistemas flutuantes de poliestireno expandido e as raízes submersas continuamente em solução nutritiva com profundidade variando de 5 a 20 cm. Desta forma, surge a necessidade da renovação ou aeração da solução nutritiva, através de motobomba que succiona a solução e recalca novamente para o tanque aerando a solução, ou utilizando compressores de ar (Santos, 2009; Santos et al., 2011).

O sistema *floating* vem sendo utilizado por vários pesquisadores na produção de mudas (Oliveira et al., 2014, 2015; Costa et al., 2015; Santos et al., 2016), bem como para avaliar a resposta de hortaliças ao uso de água salobra no preparo da solução nutritiva (Bosco et al., 2009; Santos et al., 2011; Silva et al., 2016b; Santos et al., 2019). Contudo, este sistema possui algumas limitações, pelo fato de as raízes permanecerem submersas na solução nutritiva, existe a necessidade de aeração, ao contrário poderá contribuir para disseminação de algas, o que prejudicaria o cultivo.

2.4 Concentração da solução nutritiva

No cultivo hidropônico, além da escolha do sistema adotado, deve-se ter atenção especial a concentração de nutrientes na solução nutritiva, principalmente no que se refere ao pH, a temperatura e a composição salina (teor, concentração e tipos de sais) (Fernandes et al., 2018).

A concentração de nutrientes nos sistemas hidropônicos é medida de forma indireta, através da sua condutividade elétrica, sendo esta recomendada para reposição de nutrientes na solução nutritiva, apesar de não identificar a faixa crítica de nutrientes e quais estão em falta ou excesso. A concentração ótima de nutrientes de uma solução nutritiva está diretamente relacionada com a demanda evaporativa da atmosfera (Bezerra Neto & Barreto, 2012).

De modo que, o uso de solução nutritiva com baixa concentração da solução, combinada com condições ambientais de reduzida demanda evaporativa da atmosfera, diminuem tanto o teor de massa seca como a qualidade da produção. Por outro lado, a concentração elevada da

solução nutritiva dificulta a absorção de água pelas plantas, agravando os efeitos negativos do estresse hídrico sobre o crescimento e a produtividade, sobretudo em condições de elevada demanda evaporativa da atmosfera (Cometti et al., 2008; Andriolo et al., 2009).

Na literatura, são encontrados vários estudos que visam avaliar concentrações de soluções nutritivas para diversas culturas, especialmente hortaliças, como: coentro (Vasconcelos et al., 2014; Oliveira et al., 2016b), rúcula (Luz et al., 2011) e couve manteiga (Lacerda et al., 2012). Os quais mostram que, é possível a redução da concentração da solução nutritiva a níveis mais baixos do que aqueles usados nas soluções nos sistemas hidropônicos, sem que haja perda de produtividade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O experimento foi realizado durante o período de outubro a dezembro de 2019, iniciando com a produção de mudas até a colheita, em ambiente protegido (casa de vegetação), na área experimental do Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais (DCAF), da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN. O clima da região, na classificação de Köppen é do tipo BSw^h, (quente e seco), com precipitação pluviométrica bastante irregular, média anual de 673,9 mm; temperatura de 27° C e umidade relativa do ar média de 68,9% (Alvares et al., 2014).

Durante o experimento foram coletados dados diários das temperaturas máximas (Tmax), médias (Tmed) e mínimas (Tmin), assim como para umidade relativa do ar (URmax), médias (URmed) e mínimas (URmin) utilizando uma estação meteorológica automática da marca (Campbell Scientific Inc. modelo CR1000), instalada no interior da casa de vegetação. Ocorreram variações de 25 a 29°C para Tmin; 26 a 30°C para Tmed; 26 a 31°C para Tmax e de 43 a 62% para URmin; 48 a 65% para URmed; 52 a 68% para URmax (Figura 1).

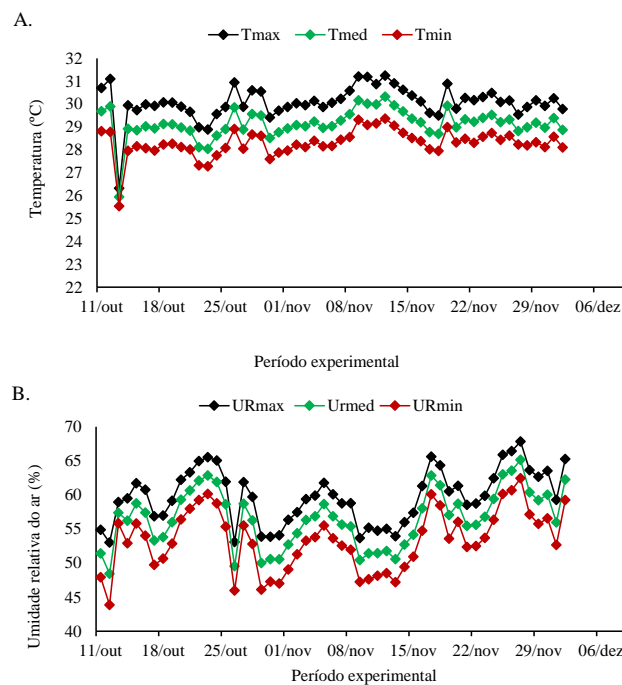


Figura 1: Dados de temperatura (A) e umidade relativa (B) ao longo do experimento
Fonte: Autor (2019)

A casa de vegetação está situada no campus central da UFERSA (5°12'48'' S, 37°18'44'' O e 18 m de altitude), apresentando estrutura com cobertura em arco de aço galvanizado, medido 3,5 m de pé direito, 7 m de largura e 18 m de comprimento, coberta com filme de polietileno de baixa densidade com 150 micras de espessura, ladeadas com malha negra com 50% de sombreamento (Figura 2).

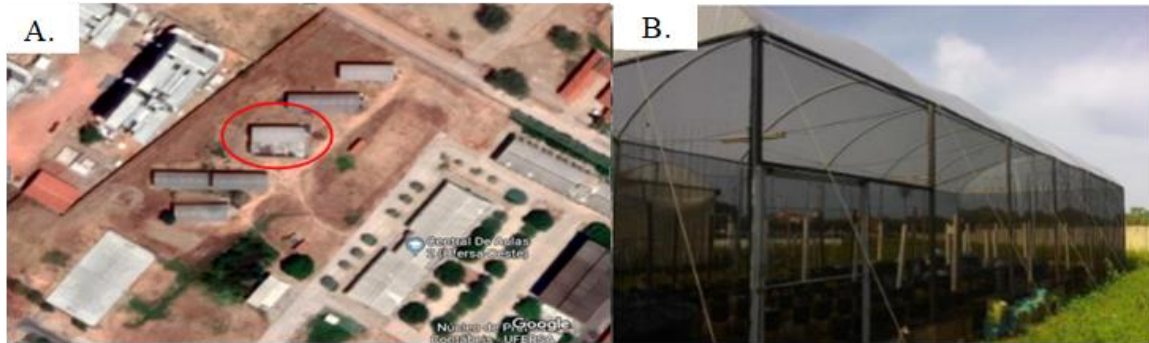


Figura 2: Localização da área experimental (em detalhe) (A). Fonte: Google Maps (2019) e casa de vegetação, onde foi conduzido o experimento (B) Fonte: Autor (2019)

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial de 2 x 2 x 3, com três repetições. Os tratamentos foram obtidos pela combinação de 2 cultivares de alface (crespa Cinderella e roxa Rubinella), 2 soluções nutritivas (S1- solução nutritiva padrão (100%), SN; S2 - SN diluída 50%) e 3 sistemas de cultivo hidropônico (Nutriente Film Technique (NFT), cultivo em substrato (Semi-hidropônico) e Deep Film Technique (DFT ou *Floating*). A parcela experimental foi representada por 5 plantas para os respectivos sistemas hidropônicos (NFT, semi-hidropônico e floating).

A água utilizada para preparo das soluções foi proveniente do setor de abastecimento da UFERSA, cujas características químicas estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1: Caracterização química da água utilizada no preparo das soluções nutritivas

CE (dS m ⁻¹)	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	RAS
..... mmol _e L ⁻¹									
0,54	7,57	0,83	1,20	0,31	3,79	2,40	0,60	3,20	4,90

CE - Condutividade elétrica; pH: potencial hidrogeniônico da água; Ca²⁺ - Cálcio; Mg²⁺ - Magnésio; K⁺ - Potássio; Na⁺ - Sódio; Cl⁻ - Cloro; CO₃²⁻ - Carbonato; HCO₃⁻ - Bicarbonato; RAS – Razão de absorção de sódio

A solução nutritiva padrão (100%) utilizada no experimento, continha a seguinte concentração de fertilizantes, em g 1000L⁻¹: Ca(NO₃) = 750,0; KNO₃= 500,0; MAP= 150,0; MgSO₄= 400,0; seguindo a recomendação de Furlani (1998) para hortaliças folhosas.

Para o fornecimento de micronutrientes fez-se uso do Rexolin (30 g 1000L⁻¹), apresentando a seguinte concentração: 11,6% de óxido de potássio (K₂O), 1,28% de enxofre, 0,86% de magnésio, 2,1% de boro, 2,66% de ferro, 0,36% de cobre, 2,48% de manganês, 0,036% de molibdênio e 3,38% de zinco. Após preparo da solução nutritiva, foi feito o ajuste do pH, utilizando HCl (1 M), até obter o valor de 6,0 (± 0,5).

3.3 Sistemas hidropônicos

3.3.1 Técnica do fluxo laminar de nutrientes (NFT)

O sistema NFT foi composto por seis bancadas contendo quatro perfis hidropônicos com 2,0 m de comprimento, contendo sete furos espaçados em 0,25 m. Cada bancada continha duas repetições (uma para cada cultivar), contendo dois perfis com sete plantas; e os perfis das extremidades laterais de cada bancada, bem como a primeira e a última planta de cada perfil, foram consideradas plantas de bordadura.

Os perfis foram instalados sobre traves de madeira serrada, a uma altura de 1,0 m da superfície do solo na parte mais alta e 0,9 m na parte mais baixa, com inclinação de 5%. Foi deixado um espaçamento entre os perfis de 0,20 m e entre as bancadas foi deixado um corredor de 0,6 m de largura para facilitar o trânsito e a operacionalidade (Figura 3).

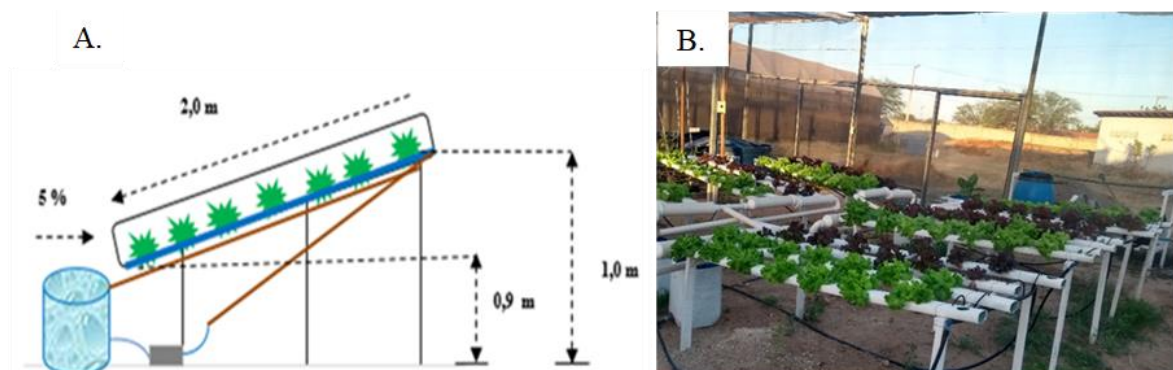


Figura 3. Vista lateral (A) e disposição da alface nos perfis hidropônicos do sistema NFT (B)
Fonte: Autor (2019)

O controle das irrigações foi realizado através de um temporizador analógico, adotando uma programação de irrigações de 15 minutos de duração intercaladas a cada 15 minutos, no

período das 05:00h às 18h:00 min. Durante a noite o período de intervalo entre as irrigações foi de 2 h com duração de 15 minutos cada evento de irrigação.

3.3.2 Sistema Semi-hidropônico (Substrato)

O sistema semi-hidropônico foi instalado utilizando bandejas plásticas (14 x 37 x 60 cm, para altura, largura, comprimento, respectivamente), com capacidade para 20 litros. As bandejas foram dispostas sobre uma bancada de madeira com 0,5 m de altura, utilizando o espaçamento de 0,10 m entre bandejas (Figura 4).

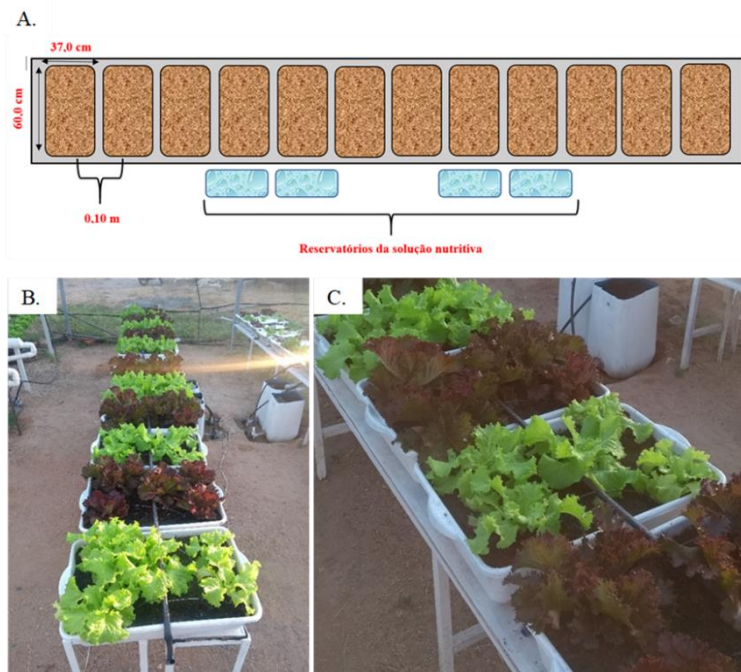


Figura 4. Vista superior (A) e disposição da alface no sistema semi-hidropônico (B, C)
Fonte: Autor (2019)

O substrato utilizado no sistema semi-hidropônico foi preparado pela mistura de fibra de coco e areia fina lavada na proporção 2:1 (v/v). Cada bandeja representou uma parcela experimental, na qual foram colocadas cinco mudas de alface da mesma cultivar, sendo distribuídas uma planta no centro da bandeja e as demais localizadas próximas de cada extremidade da bandeja, de forma que se manteve 0,25 m entre plantas.

Em cada bandeja foi instalado um sistema de drenagem composto por um ralo de pia em PVC, uma camada de brita com 2,0 cm de espessura e uma manta têxtil. As bandejas de cada solução nutritiva foram conectadas através de um sistema composto por tubos e conexões de PVC (40 mm) para coleta e reaproveitamento da solução drenada, a qual retornava para o

reservatório individual (tipo bombona), de forma que o sistema funcionou como sistema fechado recirculante.

O controle das irrigações foi realizado através de um temporizador digital, adotando uma programação de 7 eventos diários, iniciando às 06:00h com intervalo de 2 horas e duração de 10 minutos cada.

3.3.3 Técnica do filme profundo (DFT ou *Floating*)

O sistema *floating* foi montado utilizando estruturas semelhantes ao sistema semi-hidropônico, mais uma placa de isopor (10 mm) com dimensão de 35 x 58 cm, para largura e comprimento, respectivamente). Em cada placa de isopor foram perfurados cinco orifícios com três centímetros de diâmetro, nos quais foram acoplados corpos descartáveis de 50 mL, contendo dois orifícios no fundo do copo para permitir o crescimento das raízes.

Para manter constante o nível das soluções nutritivas nas bandejas foi instalado um ralo de pia (PVC) no qual foi acoplado um tubo de PVC com 12 cm de comprimento, para manter uma lâmina constante de 12 cm de altura. Para promover oxigenação das soluções nutritivas foi instalado um compressor de ar com vazão de 100 L min^{-1} (ACO-008 120W 220v), utilizando divisores de ar e microtubos para distribuir oxigênio para as bandejas (Figura 5).

Para reposição do volume consumido nas bandejas, a recirculação da solução nutritiva foi realizada automaticamente com auxílio de um temporizador digital, em intervalos de 2 h entre as aplicações de solução nutritiva, com duração de 10 minutos.

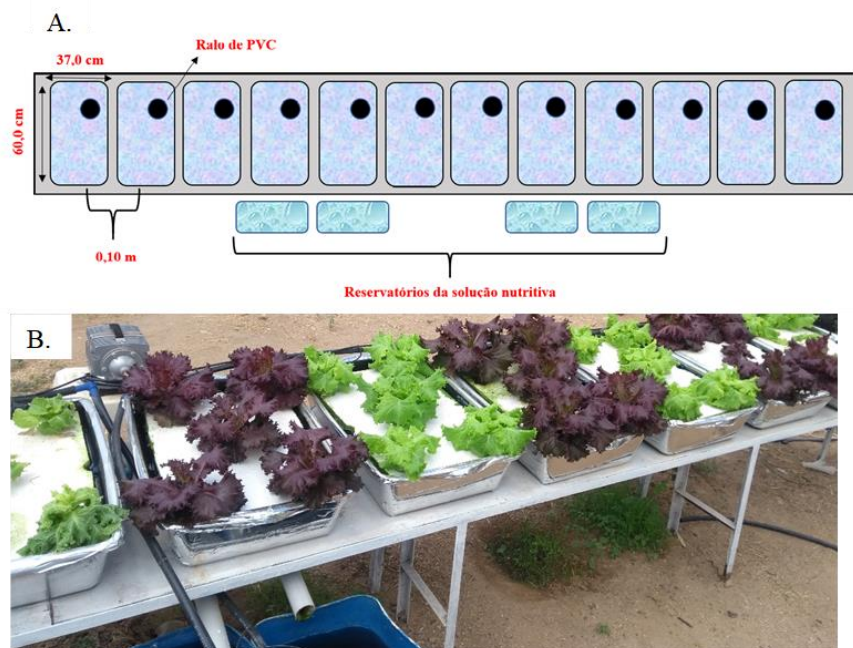


Figura 5. Vista superior (A) e disposição da cultura da alface no sistema floating (B)
Fonte: Autor (2019)

3.4 Implantação do experimento

A implantação do experimento foi realizada a partir de mudas de alface (*Lactuca sativa* L), cv. Cinderela e cv. Rubinella, produzidas em bandejas de poliestireno expandido com 200 células, utilizando substrato de fibra de coco (Figura 6).

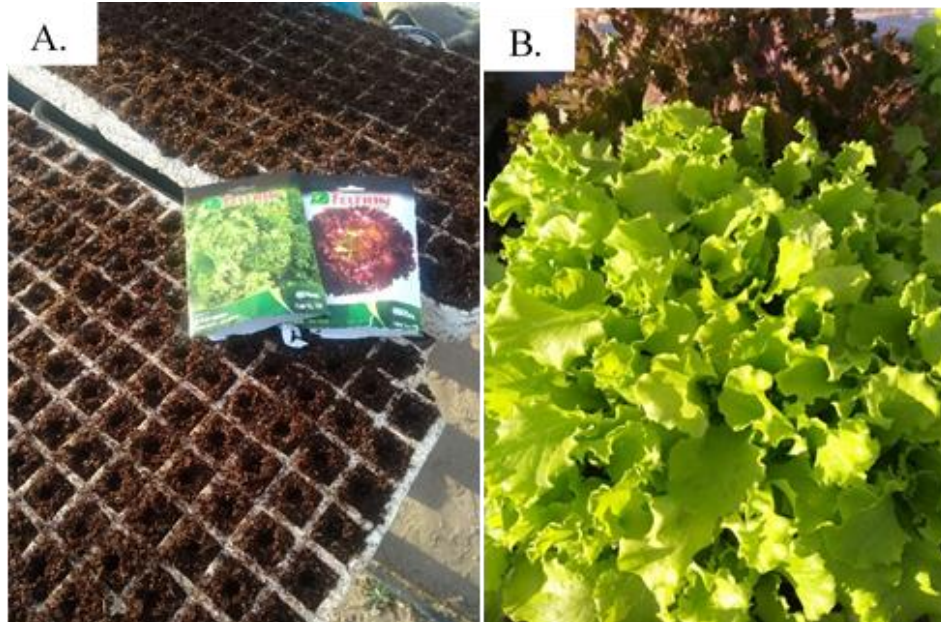


Figura 6. Produção de mudas em bandejas (A) e mudas prontas para o transplantio (B)
Fonte: Autor (2019)

A semeadura foi realizada em 11/10/2019 colocando-se quatro sementes em cada célula, na profundidade de 0,5 cm. O desbaste foi realizado cinco dias após a emergência (DAE) deixando-se uma plântula em cada célula. Nesta data iniciou-se a fertirrigação através do sistema floating com a solução diluída a 50%. O transplantio foi realizado em 05/11/2019 quando as plântulas apresentaram de 4-5 folhas definitivas, sendo utilizadas cinco plantas úteis por parcela para os sistemas hidropônicos.

3.5 Monitoramento da solução nutritiva

Após o preparo das soluções nutritivas de 50 e 100%, de acordo com as recomendações de Furlani (1998), verificou-se as condutividades elétricas das mesmas, que apresentaram 1,61 e 2,90 dS m⁻¹, respectivamente.

Para cada solução nutritiva, cultivar, bem como para cada sistema hidropônico, foi utilizado um sistema de bombeamento independente, contendo uma eletrobomba para recalque

da solução nutritiva de um reservatório inferior (30 L) até os perfis e as bandejas, distribuindo-a através de microtubos de 5 mm.

As soluções nutritivas foram monitoradas diariamente, repondo o volume de água consumido e fazendo os ajustes das soluções nutritivas quando foi detectada redução de 10% das condutividades elétricas iniciais, utilizando soluções nutritivas (A e B) concentradas (500%). A solução A continha nitrato de cálcio ($3750 \text{ g } 1000 \text{ L}^{-1}$) e Reloxin ($150 \text{ g } 1000 \text{ L}^{-1}$), enquanto a solução B nitrato de potássio ($2500 \text{ g } 1000 \text{ L}^{-1}$), sulfato de magnésio ($2000 \text{ g } 1000 \text{ L}^{-1}$) e MAP ($750 \text{ g } 1000 \text{ L}^{-1}$). Na medida em que era necessário repor a solução nutritiva, foram ajustados os valores de pH (faixa de 5,5 a 6,5) adicionando NaOH (1M) ou HCl (1M) (Figura 7).

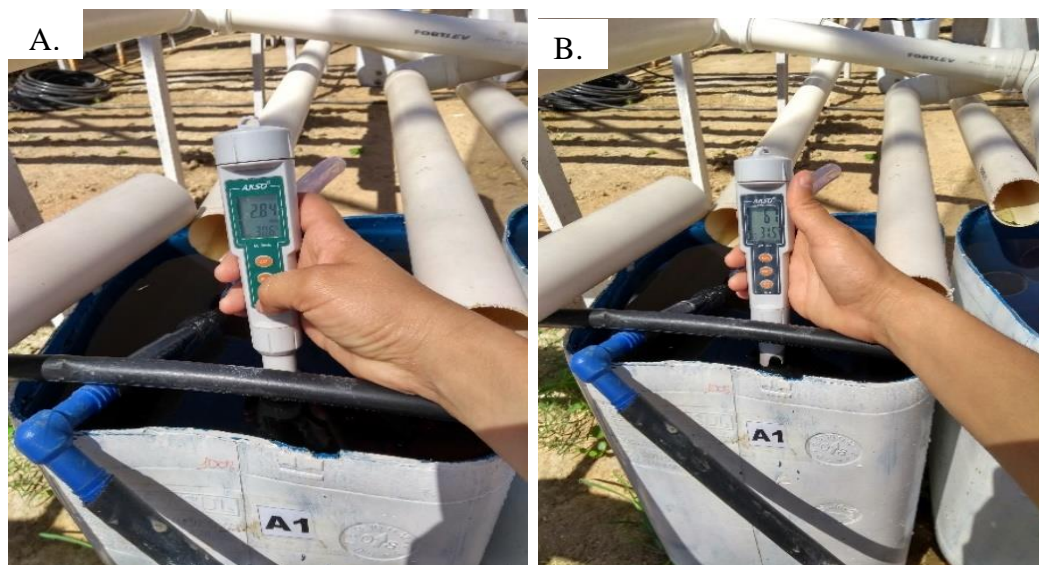


Figura 7. Monitoramento da CE (A) e do pH (B) das soluções nutritivas
Fonte: Autor (2019)

3.6 Variáveis analisadas

3.6.1 Avaliação de produção

Ao final do experimento (46 DAE), as plantas foram coletadas e avaliadas quanto às seguintes variáveis:

- A) Número de folhas (NF): contabilizando-se todas as folhas, considerando comerciais apenas aquelas com tamanho superior a 3,0 cm;
- B) Área foliar (AF): determinada pelo método dos discos foliares utilizando um anel volumétrico de inox com diâmetro interno de 5 cm, coletando-se 10 discos foliares por planta, segundo a equação 1.

$$AF = \frac{(MSF \times AD)}{MSD} \quad (1)$$

Em que:

AF – área foliar, cm²;

MSF – massa seca de folhas, g;

AD– área do disco, cm²;

MSD – massa seca dos discos, g.

C) Área foliar específica (AFE): determinada pela razão entre a área foliar e sua respectiva massa seca, segundo a equação 2.

$$AFE = \frac{AF}{MSF} \quad (2)$$

Em que:

AFE – área foliar específica, cm² g MSF;

AF – área foliar, cm²;

MSF – massa seca de folhas, g.

D) Massa fresca de folhas (MFF): determinada logo após a coleta, utilizando-se uma balança digital de precisão;

E) Massa seca total (MST): obtida após a secagem das plantas em estufa com circulação forçada de ar, na temperatura de 65 °C (±1), permanecendo na estufa por 72 horas ou até que atingisse peso constante. Em seguida foram pesadas em balança digital de precisão (0,01g);

F) Suculência foliar (SUF): determinada pela relação entre a massa de água contida na folha e a área foliar, conforme equação 3.

$$SUF = \frac{(MFF - MSF)}{AF} \quad (3)$$

Em que:

SUF – suculência foliar, g H₂O cm²;

MFF – massa fresca de folhas, g;

MSF – massa seca de folhas, g;

AF – área foliar, cm².

3.6.2 Avaliação de qualidade

As análises de qualidade das folhas foram realizadas no Laboratório de Pós-colheita da UFERSA, onde as amostras foram processadas, em seguida avaliadas quanto as seguintes variáveis:

- A) Acidez titulável (AT): determinada pelo método da titulação com hidróxido de sódio (NaOH), utilizando 10 g de extrato diluído em 100 mL de água destilada, com solução padronizada de hidróxido de sódio a 0,1 N, tendo como indicador a fenolftaleína, conforme as normas do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005), com resultados expressos em porcentagem (%);
- B) Vitamina C (VIT C): determinada pelo método de titulometria, utilizando-se uma amostra de 10 g do material processado, diluído para 100 mL de ácido oxálico;
- C) Sólidos solúveis (SS): determinado utilizando um refratômetro digital (modelo ATAGO PR-1000), com os resultados expressos em °Brix, conforme recomendação feita pela Association of Official Analytical Chemistry (AOAC, 2005);
- D) Relação sólidos solúveis/acidez titulável (SS/AT): determinada pela relação entre o valor de SS e da AT (Chitarra & Chitarra, 2005).

3.6.3 Avaliação nutricional

As plantas de alface foram coletadas e postas para desidratação em estufa com circulação forçada de ar, na temperatura de 65 °C (±1), permanecendo na estufa por 72 horas ou até que atingisse peso constante, após isso o material foi triturado com auxílio de um moinho do tipo Willey, com peneira de malha 0,25 mm para serem analisadas quimicamente para determinação da composição de macro e micronutrientes, no laboratório de análise de solo, água e planta

(LASAP-UFERSA), para análises dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e dos micronutrientes (Fe, Zn, Cu e Mn) da parte aérea.

- A) Teor de fósforo (P): determinado através do método da espectrofotometria com azul-de-molibdênio, utilizando-se para isso o processo de digestão nítrica em sistema fechado por meio do forno microondas como fonte de calor;
- B) Teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg): determinados através da absorção atômica, utilizando o método de digestão com ácido sulfúrico atômica;
- C) Teor de potássio (K): determinados pelo método da fotometria de emissão de chama; Teor de nitrogênio (N): foi determinado em parte do digerido com ácido sulfúrico, pelo método Kjeldahl (Tedesco et al., 1995).

Os micronutrientes (Fe, Zn, Cu e Mn) foram determinados no extrato resultante da digestão nítrica, através do método de espectrofotometria de absorção atômica.

3.7 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e se normal aplicado a análise de variância. Foi realizando o desdobramento dos fatores quando ocorrer resposta significativa à interação entre os fatores. O efeito dos tratamentos foi analisado através de teste de Tukey ao nível de 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o Software estatístico Sisvar (Ferreira, 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção

Não se verificou efeito significativo da interação entre os fatores cultivar (C) X Sistema (S) X solução nutritiva (SN) para as variáveis número de folhas (NF), suculência foliar (SUF) e área foliar específica (AFE). Houve efeito significativo para o fator sistema (S) nas variáveis NF ($p < 0,01$) e do fator sistemas para e AFE ($p < 0,01$). Verificou-se que a interação entre os fatores cultivar (C) X sistema (S) X solução nutritiva (SN) afetou significativamente as variáveis massa fresca de folhas (MFF) e massa seca total (MST) na probabilidade de 5%, bem como a área foliar (AF) ao nível de 1% de significância (Tabela 2).

Tabela 2: Resumo da análise de variância para número de folhas (NF), suculência foliar (SUF), área foliar específica (AFE), massa fresca de folhas (MFF), massa seca total (MST) e área foliar (AF) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas

Fontes de variação	GL	Quadrados médios					
		NF	SUF	AFE	MFF	MST	AF
Cultivar (C)	1	109,55**	268,98 ^{ns}	9261,60 ^{ns}	205,74 ^{ns}	0,57 ^{ns}	709335,82 ^{ns}
Sistema (S)	2	69,53**	114,63 ^{ns}	120542,75**	3700,29**	1,64 ^{ns}	11693060,53**
Solução nutritiva (SN)	1	30,25*	85,39 ^{ns}	9,49 ^{ns}	651,39*	3,95*	210489,36 ^{ns}
C x S	2	19,67 ^{ns}	17,97 ^{ns}	6915,34 ^{ns}	137,66 ^{ns}	3,40**	68943,85 ^{ns}
C x SN	1	1,13 ^{ns}	137,50 ^{ns}	797,79 ^{ns}	44,50 ^{ns}	0,17 ^{ns}	5511,70 ^{ns}
S x SN	2	1,89 ^{ns}	3,84 ^{ns}	1825,25 ^{ns}	2371,57**	9,05**	1732572,33**
C x S x SN	2	1,69 ^{ns}	22,27 ^{ns}	2086,61 ^{ns}	651,85*	2,85*	1467030,89**
Resíduo	24	6,21	112,77	5727,27 ^{ns}	119,04	0,58	185119,00
CV (%)		22,76	20,95	23,76	18,75	21,48	23,50

ns - não significativo; * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; GL - grau de liberdade; CV- coeficiente de variância

Para a variável número de folhas, os maiores valores foram obtidos para a cultivar Cinderela, cultivada no sistema semi-hidropônico, utilizando a solução nutritiva de 50% (Tabela 3).

O menor número de folhas, observado na solução nutritiva concentrada (100%) pode ser atribuída à maior condutividade elétrica da mesma, confirmando os resultados apresentados por (Fernandes et al., 2018), os quais, trabalhando com alface americana, também observaram redução no número de folhas com solução mais concentrada.

A redução no número de folhas é uma estratégia de adaptação das plantas para manter a absorção de água, sendo consequência de alterações morfológicas e anatômicas nas plantas

tais como as perdas por transpiração para manter a absorção de água (Tester & Davenport, 2003).

Tabela 3: Valores médios para número de folhas (NF), suculência foliar (SUF) e área foliar específica (AFE) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas

Sistemas	NF	SUF	AFE
		(g H ₂ O cm ²)	(cm ² g MSF)
NFT	10,27 b	50,15 a	275,97 b
Semi -hidropônico	13,62 a	50,00 a	432,99 a
Floating	8,96 b	47,89 a	246,58 b
Cultivares			
Cinderela	12,69 a	47,95 a	334,55 a
Rubinella	9,21 b	53,42 a	302,47 a
Soluções nutritivas			
100 %	10,03 b	49,14 a	319,02 a
50 %	11,87 a	52,22 a	318,00 a

Mesma letra na coluna para cultivares, sistemas e soluções nutritivas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

A suculência foliar (SUF) não diferiu entre as cultivares, como também não foi afetada pelos sistemas hidropônicos nem pelas soluções nutritivas, obtendo-se uma SUF média de 49,35 mg H₂O cm² de folha (Tabela 3).

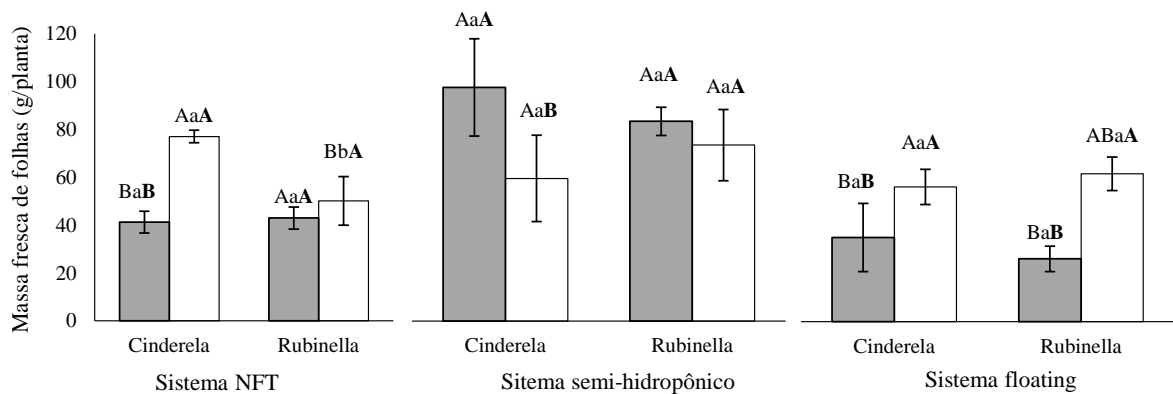
Em outros estudos, como o realizado por Targino et al. (2019) com aumento de condutividade elétrica da solução nutritiva, os autores observaram aumento da SUF, indicando ajustamento osmótico das plantas. A divergências entre os resultados apresentados por Targino et al. (2019) e o presente trabalho pode ser atribuída, em parte, pelos sais utilizados. No presente estudo a salinidade da solução nutritiva aumentou com a concentração de nutrientes, enquanto que no estudo desses autores foi utilizado o cloreto de sódio, que é tóxico para as plantas.

As plantas cultivadas no sistema semi-hidropônico apresentaram maior área foliar específica (AFE), sendo superior 63,26 e 42,95%, em comparação aos valores obtidos nos sistemas NFT e floating, respectivamente (Tabela 3).

Esses resultados indicam que o cultivo em substrato proporcionou maior disponibilidade hídrica, o que provocou menor densidade estomática e conseqüentemente menor espessura do limbo foliar (Guimarães et al., 2020). Por outro lado, no sistema NFT as plantas apresentaram o limbo foliar mais espesso devido a menor disponibilidade hídrica. Pois nessas condições, ocorre uma diminuição do tamanho dos estômatos, de forma que haja uma menor perda de água da planta por transpiração, com o aumento simultâneo de sua densidade, contribuindo para o equilíbrio das trocas gasosas (Batista et al., 2010).

Em estudo realizado por Souza et al. (2019), com alface Crocantela cultivada em solo e substrato, os autores observaram maior densidade estomática e, conseqüentemente, menor área foliar específica.

Analisando o acúmulo de massa fresca de folhas (MFF), verifica-se na cv. Cinderela que as plantas cultivadas no sistema semi-hidropônico apresentaram maiores valores quando se utilizou a solução nutritiva de 100%, obtendo-se 96,71g planta⁻¹, enquanto não houve diferença entre as soluções nutritivas na cv. Rubinella, apresentando MMF médio de 82,64 g planta⁻¹. Não houve diferença significativa entre os sistemas hidropônicos na cv. Cinderela quanto à solução nutritiva de 50%. As cultivares diferiram quanto ao acúmulo de MMF apenas quando foram cultivadas no sistema NFT com a solução de 50%, sendo a cv. Cinderela superior a cv. Rubinella (Figura 8).



*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas entre soluções nutritivas, minúsculas entre cultivares, e maiúsculas e negrito entre sistemas hidropônicos, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Figura 8. Massa fresca de folhas (MFF) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas

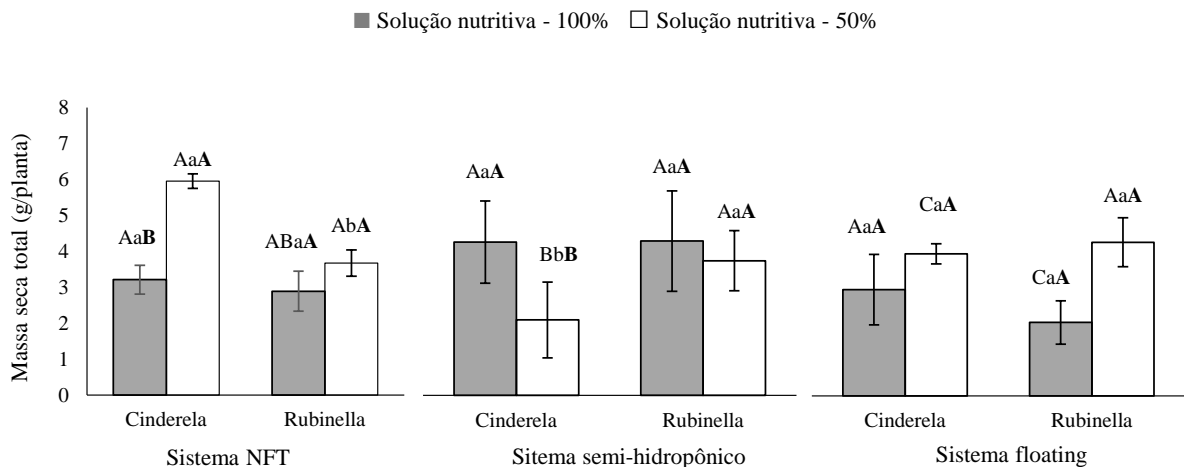
Estudos sobre o rendimento da alface cultivada em sistema aquapônico e hidropônico, avaliando o efeito de diferentes substratos, destacam como os maiores resultados a utilização do substrato fibra de coco (Jordan et al., 2018). O menor desenvolvimento das plantas no sistema NFT, pode ser atribuído aos intervalos nos períodos de irrigação, as plantas podem ter passado por estresse osmótico e/ou hídrico, o que por sua vez, comprometeu o desenvolvimento das plantas (Rodríguez-Ortega et al., 2019).

Quanto ao efeito das soluções nutritivas, verificou-se que a solução de 100% proporcionou maior MFF apenas para a cv. Cinderela em sistema semi-hidropônico. A solução

de 50% foi superior no sistema floating para as duas cultivares e no sistema NFT para a cv. Cinderela (Figura 8).

Esses resultados demonstram que a interação entre a concentração de nutrientes na solução nutritiva e no sistema de cultivo adotado é importante para a escolha da combinação entre os fatores que possibilitem as cultivares expressarem seu maior potencial., verificou-se que o cultivo da alface no sistema semi-hidropônico requer solução nutritiva mais concentrada em relação aos sistemas NFT e floating, tendo em vista que nesses sistemas a solução de 50% foi suficiente para proporcionar maior crescimento das plantas. Esses resultados confirmam, aqueles encontrados por Cometti et al. (2008) e Fernandes et al. (2018), os quais observaram uma redução da concentração da solução nutritiva em 50% permitindo economia de nutrientes sem reduzir o rendimento da cultura.

Analisando as cultivares quanto a variável massa seca total (MST), verificou-se que quando se utilizou solução nutritiva concentrada em 100% não ocorreu diferença significativa entre as cultivares para todos os sistemas. No entanto, para a solução nutritiva diluída em 50%, a cv. Cinderela foi superior no sistema NFT, enquanto a cv. Rubinella foi superior no sistema semi-hidropônico, não diferindo no sistema floating (Figura 9).



*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas entre soluções nutritivas, minúsculas entre cultivares, e maiúsculas e negrito entre sistemas hidropônicos, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Figura 9. Massa seca total (MST) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas

Os sistemas de cultivo diferiram quanto ao acúmulo de massa seca total (MST) para as ambas as soluções nutritivas. Quando as plantas foram submetidas a solução concentrada 100%, o sistema semi-hidropônico foi superior ao floating, para as duas cultivares, não diferindo do sistema NFT. O sistema NFT foi superior aos demais para a solução nutritiva diluída em 50%

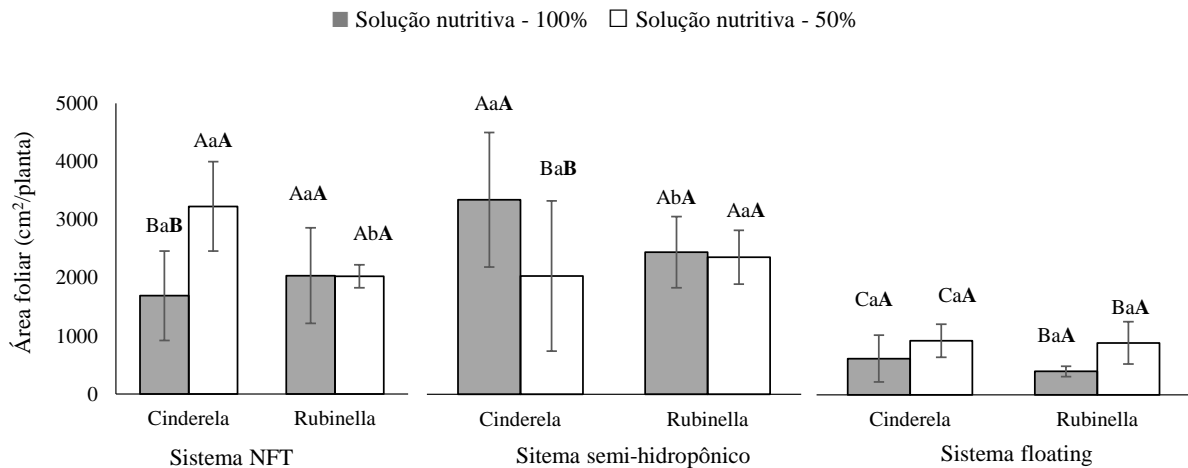
na cv. Cinderela; não ocorreu diferença significativa entre os sistemas de cultivo para a cv. Rubinella (Figura 9).

Assim como observado para a MFF, os menores valores de MST, foram obtidos nos sistemas NFT e floating. Estes resultados podem estar relacionados ao fato de que no sistema floating, as raízes estão sempre submersas na solução nutritiva, o que pode comprometer a oxigenação e desequilíbrio solução ao longo do ciclo (Santos, 2009). Por outro lado, no sistema NFT, que funciona com períodos de aplicação da solução nutritiva de forma intermitente as plantas podem ter sofrido estresse hídrico entre os eventos de irrigação, pois nesse sistema, as raízes só entram em contato com a solução nutritiva quando a irrigação é aplicada, permanecendo nuas o resto do tempo (Rodríguez-Ortega et al., 2019).

Observou-se em relação à variável MST, que houve efeito significativo das soluções nutritivas no sistema NFT apenas na cv. Cinderela. No sistema semi-hidropônico a solução 100% foi superior na cv. Cinderela. Para o sistema floating, ocorreu diferença entre as soluções nutritivas apenas para a cv. Rubinella, sendo os maiores valores obtidos na solução de 50% (Figura 9).

Esses resultados demonstram que o efeito observado sobre a MFF também refletiu sobre a MST. Além disso, a menor massa seca obtida na solução mais concentrada no sistema NFT deve-se ao efeito osmótico provocado pela elevada condutividade elétrica da solução nutritiva (Soares et al., 2020).

Analisando o desempenho das cultivares quanto a área foliar (AF), verificou-se que a cv. Cinderela foi superior a cv. Rubinella no sistema em substrato para a solução nutritiva concentrada em 100%, e no sistema NFT na solução nutritiva diluída em 50%, não ocorrendo diferenças entre as cultivares nas demais condições de cultivo (Figura 10).



*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas entre soluções nutritivas, minúsculas entre cultivares, e maiúsculas e negrito entre sistemas hidropônicos, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Figura 10. Área foliar (AF) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas

As plantas submetidas à solução nutritiva de 100%, apresentaram maiores valores em área foliar (AF) quando foram cultivadas no sistema semi-hidropônico, enquanto os menores valores ocorrem no sistema floating, para ambas as cultivares. Para a solução nutritiva de 50%, o sistema NFT favoreceu o maior desenvolvimento em AF na cv. Cinderela ($3.228,98 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$), enquanto as plantas cultivadas no sistema floating apresentaram menor AF ($918,62 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$). Na cv. Rubinella, os maiores valores de AF foram obtidos nos sistemas NFT ($2.037,23 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) e no semi-hidropônico ($2.442,45 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$). Com isso, percebe-se que o sistema de cultivo semi-hidropônico, possibilitou que as plantas cultivadas no sistema em substrato produzissem folhas com maior expansão foliar (Figura 10).

Analisando o efeito das soluções nutritivas sobre a área foliar, verifica-se que a solução de 100%, proporcionou maior desenvolvimento foliar apenas na cv. Cinderela ($3.341,35 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) cultivada em sistema semi-hidropônico. Entretanto, a solução nutritiva mais diluída (50%) proporcionou maior área foliar na cv. Cinderela ($3.228,98 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) cultivada no sistema NFT, bem como nas duas cultivares no sistema floating (Figura 10).

Em estudos desenvolvidos com a cultura do coentro cultivada em semi-hidroponia, Oliveira et al. (2016b) e Diniz et al. (2019) constataram maior desenvolvimento foliar em concentrações variando de 75 a 85% da mesma solução base utilizada no presente estudo.

De forma geral, os resultados obtidos no tocante ao crescimento das plantas mostraram que, para as condições locais, o cultivo nos sistemas NFT e floating possibilitam o uso da solução diluída em 50%, sem que ocorra perda de rendimento. Entretanto, no cultivo semi-hidropônico,

para que as plantas expressem seu maior potencial produtivo deve-se adotar a solução nutritiva de 100%.

4.2 Qualidade

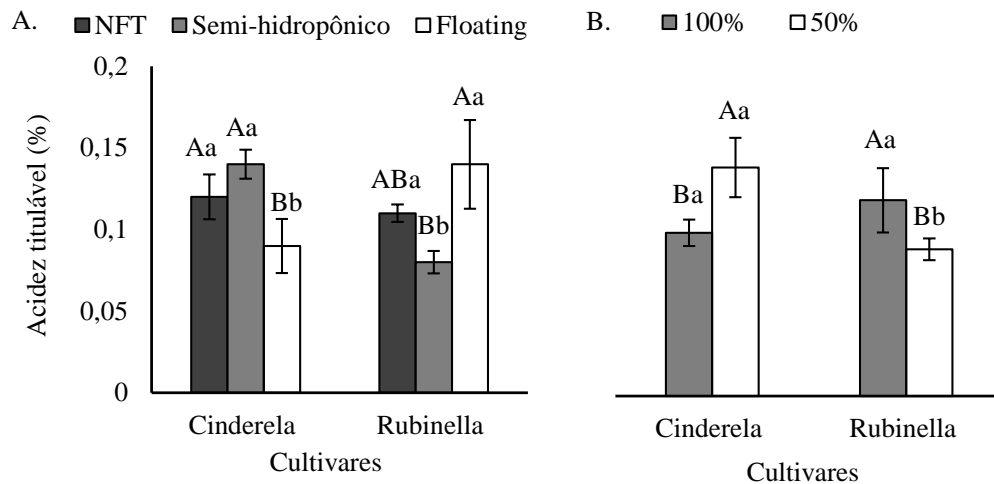
Identificou-se efeito da interação dupla entre cultivar (C) x sistema (S) e cultivar (C) x solução nutritiva (SN) para a variável acidez titulável ($p < 0,05$). O teor de vitamina C (VIT C) foi afetado pela interação dupla C x S ($p < 0,05$). O efeito significativo da interação dupla S x SN, também, foi observado para a variável sólidos solúveis (SS) a 1% de significância, enquanto a relação SS/AT foi afetada significativamente ($p < 0,01$) pela interação dupla C x S (Tabela 4).

Tabela 4: Resumo da análise de variância para acidez titulável (AT), vitamina C (VIT C) sólidos solúveis (SS) e relação sólidos solúveis/acidez titulável (SS/AT) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas

Fontes de variação	GL	Quadrados médios			
		ATT	VIT C	SS	SS/AT
Cultivar (C)	1	0,0004 ^{ns}	48,78 ^{**}	18,20 ^{**}	1372,49 ^{**}
Sistema (S)	2	0,0001 ^{ns}	14,60 ^{ns}	11,41 ^{**}	406,54 ^{ns}
Solução nutritiva (SN)	1	0,0001 ^{ns}	17,03 ^{ns}	6,76 ^{**}	345,15 ^{ns}
C x S	2	0,007 [*]	26,69 [*]	1,28 ^{ns}	1251,20 ^{**}
C x SN	1	0,009 [*]	8,90 ^{ns}	1,60 ^{ns}	113,64 ^{ns}
S x SN	2	0,003 ^{ns}	9,99 ^{ns}	7,24 ^{**}	506,01 ^{ns}
C x S x SN	2	0,001 ^{ns}	8,22 ^{ns}	0,13 ^{ns}	20,93 ^{ns}
Resíduo	24	0,002	5,98	0,57	158,12
CV (%)		39,42	22,56	13,25	24,43

ns - não significativo; * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; GL - grau de liberdade; CV - Coeficiente de variância

Para a variável acidez titulável (AT), a cv. Cinderela se mostrou superior a cv. Rubinella quando cultivada no sistema em substrato; apresentando valores de (0,14%), respectivamente. No entanto, a cv. Rubinella apresentou maior AT quando o cultivo foi realizado no sistema floating (0,14%) (Figura 11A).



*Para Figura A, médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para sistemas hidropônicos e minúsculas para cultivares não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Para a Figura B médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para soluções nutritivas e minúsculas para cultivares não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

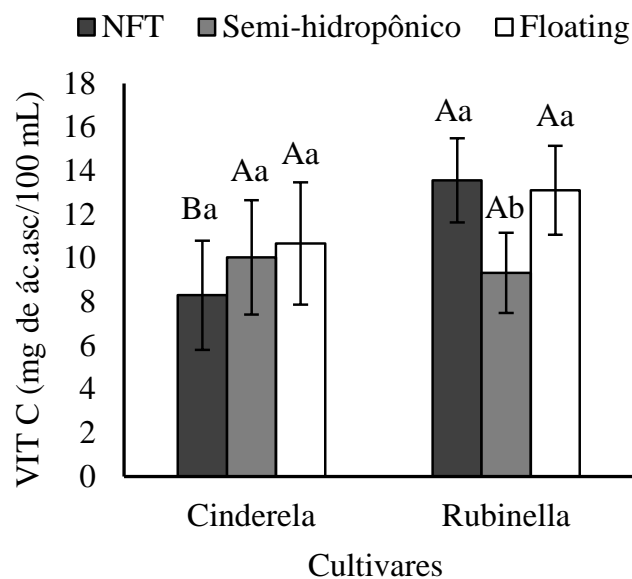
Figura 11. Acidez titulável (AT) em cultivares de alface cultivadas em sistemas hidropônicos (A) e submetidas a soluções nutritivas (B)

Verifica-se ainda que para a cv. Cinderela a maior AT foi obtida nos sistemas NFT e no semi-hidropônico, enquanto que o sistema floating, proporcionou o menor AT. No entanto, para a cv. Rubinella, o sistema floating proporcionou maior valor da AT (Figura 11A).

As cultivares Cinderela e Rubinella apresentaram comportamentos diferentes em relação às soluções nutritivas utilizadas. De modo que, a cv. Cinderela apresentou maior valor AT (0,14%) na solução de 50%, porém as cultivares não diferiram quanto a AT quando cultivadas na solução de 100% (Figura 11B). Verifica-se ainda na Figura 11B, que houve efeito das soluções nutritivas sobre a AT para as duas cultivares, ocorrendo maiores valores na solução de 50% para a cv. Cinderela (0,14%) e na solução de 100% para a cv. Rubinella (0,12%).

Alterações na acidez titulável em decorrência da concentração de nutrientes na solução nutritiva ocorrem devido ao efeito direto da condutividade elétrica. Em alface, esta relação tem sido divergente de acordo com vários estudos. Sarmento et al. (2014), trabalhando em sistema com substrato não verificaram efeito da condutividade elétrica sobre esta variável e obtiveram AT médio de 0,12%. Freire et al. (2009) trabalhando com cultivares de alface em solo, verificaram respostas diferentes das cultivares ao aumento da salinidade da água sobre esta variável. Diniz et al. (2019), trabalhando com coentro cultivada em substrato, constataram maiores valores de AT para soluções nutritivas concentradas em 25 e 100%. Desta forma, percebe-se que a AT é uma variável que pode ser afetada por diversos fatores, como material genético, sistema de cultivo e nutrição mineral.

Para o teor de vitamina C (VIT C), as cultivares Cinderela e Rubinella diferiram quando cultivadas no sistema NFT, em que a cv. Rubinella apresentou 13,56 mg ac.asc/100 mL, sendo superior em 63% em comparação com o teor de VIT C obtido na cv. Cinderela (8,30 mg ac.asc/100 mL). Comparando os sistemas de cultivo, verifica-se para a cv. Cinderela, os maiores valores ocorreram nos sistemas semi-hidropônico (10,04 mg ac.asc/100 mL) e floating (10,67 mg ac.asc/100 mL). Para cv. Rubinella, os sistemas NFT e floating proporcionaram os maiores teores de vitamina C, obtendo-se 13,56 e 13,11 mg ac.asc/100 mL, respectivamente (Figura 12).



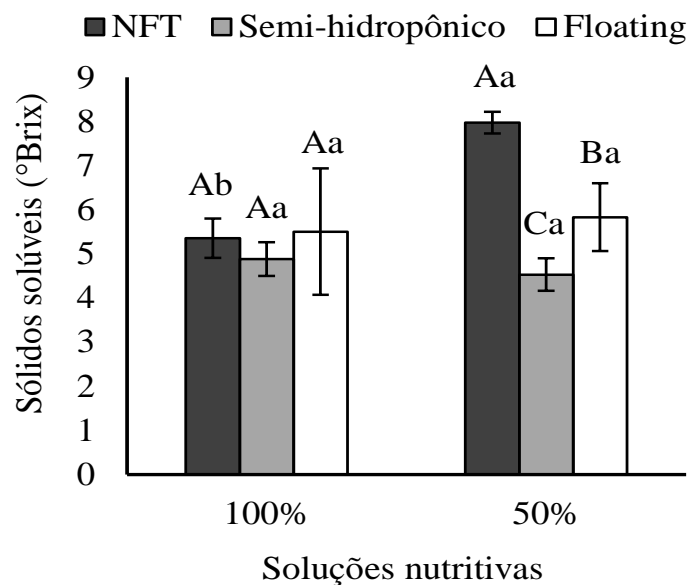
*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para sistemas hidropônicos e minúsculas para cultivares não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Figura 12. Vitamina C (VIT C) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas

Os teores de vitamina C encontrados nesta pesquisa estão abaixo dos observados por Silva et al. (2011) avaliando a qualidade de alface crespa cv. Vera em diferentes tipos de cultivo. Os referidos autores encontraram valores de ácido ascórbico variando de 26,4 mg ac.asc 100 mL⁻¹ em sistema hidropônico e 42,9 mg ac.asc 100 mL⁻¹ em sistema orgânico. Já Sarmento et al. (2014) investigando duas cultivares de alface Verônica e Quatro Estações em sistema NFT, submetidas ao efeito do rejeito da dessalinização, encontraram valores de ácido ascórbico de 24,54 mg ac.asc 100 mL⁻¹ (1,1 dS m⁻¹) e de 26,67 mg ac.asc 100 mL⁻¹ (5,7 dS m⁻¹).

A variação nos valores de VIT C em alface quando cultivada em sistemas hidropônicos, pode ser atribuída ao teor de nitrogênio, que se encontra prontamente disponível na solução nutritiva, o que tende a facilitar a absorção pela planta e como consequência a crescente aplicação de fertilizantes nitrogenados tende a diminuir o teor de ácido ascórbico na maioria das hortaliças (Silva et al., 2011).

Analisando o teor de sólidos solúveis (SS), verificou-se resposta significativa apenas para os fatores sistema de cultivo e soluções nutritivas. Não houve diferença estatística entre os sistemas de cultivo para essa variável na solução de 100%, obtendo-se SS médio de 5,24 °Brix. Para a solução de 50%, o sistema NFT apresentou maior valor de SS (7,97°Brix) enquanto o menor valor ocorreu no sistema de cultivo semi-hidropônico (4,53 °Brix). Com relação ao efeito das soluções nutritivas, verificou-se que houve resposta significativa, apenas para o sistema NFT, no qual, a solução de 50% apresentou 7,97 °Brix, sendo superior em 49% em comparação com o valor obtido na solução de 100% (5,35 °Brix) (Figura 13).



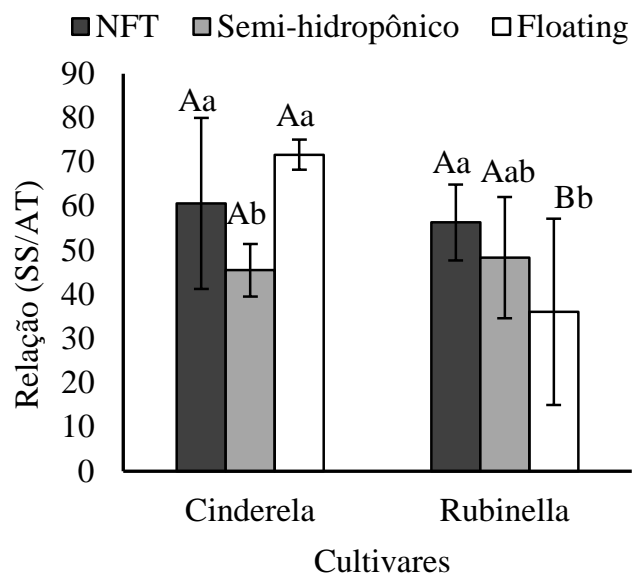
*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para sistemas hidropônicos e minúsculas para soluções nutritivas não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Figura 13. Sólidos solúveis (SS) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas

Estudando o teor de sólidos solúveis em cultivares de alface em solo, Freire et al. (2009), observaram que os valores variaram nas diferentes salinidades utilizadas, de modo que obtiveram para cv. Grandes lagos 659 (3,6 °Brix) e para cv. Stella (5,1 °Brix). Em situações de estresse salino, as plantas tendem a apresentar menor desenvolvimento, consequentemente

aumentam a concentração de açúcares, provavelmente em função do ajustamento osmótico pela planta, na tentativa de atingir o equilíbrio em relação ao potencial osmótico da solução (Freire et al., 2009).

Analisando a relação entre sólidos solúveis e acidez titulável (SS/AT), foi observada diferença significativa entre as cultivares apenas no sistema floating, no qual a cv. Cinderela apresentou maior valor (71,65) sendo superior, em 98% em relação a cv. Rubinella (36,08). Com relação aos sistemas de cultivo, verificou-se que para a cv. Cinderela, os maiores valores ocorreram nos sistemas NFT (60,61) e floating (71,65). Para a cv. Rubinella, os maiores valores ocorreram no sistema NFT (56,31) e no sistema semi-hidropônico (48,31), apesar deste não diferir do sistema floating (36,08) (Figura 14).



*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para sistemas hidropônicos e minúsculas para cultivares não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Figura 14. Relação sólidos solúveis e acidez titulável (SS/AT) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas

Através da relação SS/AT, é possível analisar as características doces ou ácidas da polpa, logo tais resultados indicam que, possivelmente, os sistemas NFT e floating, proporcionaram maior aumento de açúcares com relação ao acúmulo de ácidos, indicando que pode existir melhoria quanto ao sabor pelas cultivares quando cultivadas nesses sistemas.

Verifica-se que quando as variáveis de qualidade, todas as características avaliadas, foram afetadas pela interação entre os fatores estudados, com resultados bem semelhantes aos observados para as variáveis de crescimento. De modo que, a cv. Cinderela também se mostrou

superior a cv. Rubinella, e que o sistema semi-hidropônico apresentou os maiores valores na solução de 100%, ao contrário dos sistemas NFT e floating, que obtiveram melhores resultados na solução de 50%.

4.3 Nutrição mineral de plantas

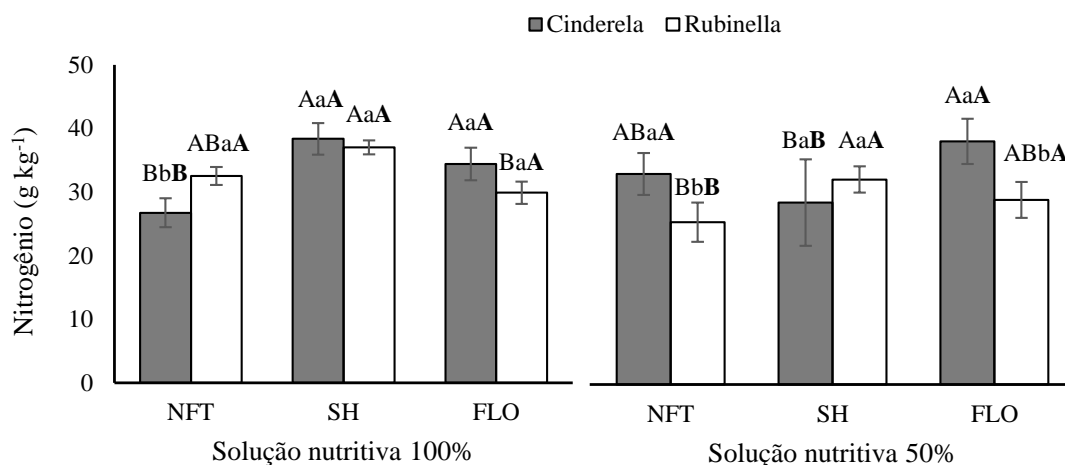
A interação entre os fatores cultivar (C) X sistema (S) X solução nutritiva (SN) afetou significativamente ($p < 0,01$) as variáveis nitrogênio (N), fósforo (P), magnésio (Mg) e sódio (Na), o potássio (K) ao nível de 5% de significância. A variável cálcio (Ca), por sua vez, foi afetada pela interação dos fatores sistema (S) X solução nutritiva (SN) ($p < 0,01$), assim como também foi afetada pela interação cultivar (C) x sistema (S) ($p < 0,05$) (Tabela 5).

Tabela 5:Resumo da análise de variância para teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas

Fontes de variação	GL	Quadrados médios				
		N	P	K	Ca	Mg
Cultivar (C)	1	43,47*	32,11**	1011,03**	2,89 ^{ns}	0,002 ^{ns}
Sistema (S)	2	67,99**	36,66**	3088,59**	207,47**	8,67**
Solução nutritiva (SN)	1	37,94 ^{ns}	74,36**	9692,40**	1,79 ^{ns}	5,96**
C x S	2	52,01*	4,55 ^{ns}	597,32**	9,65*	2,57**
C x SN	1	42,73*	10,54*	305,32*	6,93 ^{ns}	0,009 ^{ns}
S x SN	2	64,15**	211,42**	8299,88**	318,15**	9,40**
C x S x SN	2	62,96**	87,8**	226,77*	7,88 ^{ns}	2,16**
Resíduo	24	9,63	2,15	49,61	2,71	0,14
CV (%)		9,66	13,37	8,81	15,41	14,66

ns - não significativo; * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; GL- grau de liberdade; CV- coeficiente de variância

Analisando o teor de nitrogênio nas folhas (N) da alface, verifica-se que houve diferença significativa entre as cultivares, tanto nos sistemas hidropônicos quanto nas soluções nutritivas, sendo que os maiores valores médios foram observados para a cv. Cinderela quando cultivada nos sistemas NFT e floating, sendo de 33,10 e 38,91 g kg⁻¹, respectivamente, quando submetida a solução nutritiva de 50%. A cv. Rubinella foi superior em 18% a cv. Rubinella, quando cultivada no sistema NFT na solução nutritiva de 100%, não ocorrendo diferença entre as cultivares nas demais condições de cultivo (Figura 15).



*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas entre soluções nutritivas, minúsculas entre cultivares, e maiúsculas e negrito entre sistemas hidropônicos, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Figura 15. Teor de nitrogênio (N) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas

Quanto ao efeito dos sistemas hidropônicos sobre os teores foliares de N, verifica-se que na solução 100%, os sistemas semi-hidropônico e floating proporcionaram os maiores teores de N na cv. Cinderela (38,36 e 34,42 g kg⁻¹), respectivamente. O sistema NFT e o semi-hidropônico proporcionaram maiores valores na cv. Rubinella (32,52 e 37,04 g kg⁻¹), respectivamente. Na solução de 50%, os maiores teores ocorreram no sistema NFT (33,10 g kg⁻¹) e no floating (38,21 g kg⁻¹) na cv. Cinderela. Ainda com a solução 50%, os sistemas semi-hidropônico (32,23 g kg⁻¹) e floating (29,02 g kg⁻¹) proporcionaram maiores teores de N na cv. Rubinella (Figura 15).

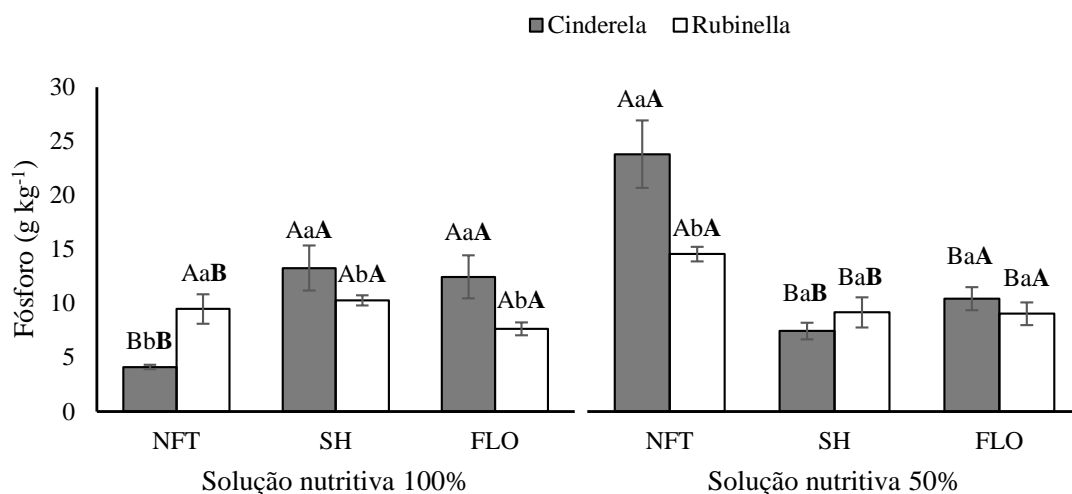
Analisando o efeito das soluções nutritivas, verifica-se no sistema NFT, que a cv. Cinderela apresentou maior teor de N na solução de 50%, enquanto na cv. Rubinella, o maior teor de N foi na solução de 100%. No sistema semi-hidropônico só houve diferença entre as soluções nutritivas para a cv. Cinderela, na qual o maior valor foi obtido na solução de 100% (Figura 15). Além disso, não houve diferença significativa entre as soluções nutritivas para nenhuma das cultivares quando cultivada no sistema floating. Este resultado pode ser um indicativo de que nesse sistema de cultivo a alface seja menos exigente em nitrogênio, tendo em vista que a solução menos concentrada proporcionou adequados teores desse nutriente (Trani & Raji, 1997).

De forma geral, os teores de N, obtidos no presente experimento variaram de 25,52 g kg⁻¹ (cv. Cinderela, sistema NFT e solução de 50%) a 38,21 g kg⁻¹ (cv. Cinderela, sistema floating e solução de 100%) (Figura 14). Esses valores estão próximos aos obtidos por Almeida

et al. (2011), trabalhando com alface crespa, cv. Verônica, em soluções suprimidas de macronutrientes, os quais encontraram teores de N para parte aérea de 23,2 g kg⁻¹ nas plantas cultivadas em solução completa. Ao estudarem a alface repolhuda crespa, cv. Brasil 303, sob diferentes condutividades elétricas da solução nutritiva em sistema NFT, Gondim et al. (2010), encontraram teores foliares de N, de 51,4 g kg⁻¹. Trani & Raij (1997), considera como adequados teores de nitrogênio para as folhas de alface, aqueles que se encontram na faixa de 30 a 50 g Kg⁻¹, logo os resultados encontrados no presente experimento estão dentro dessa faixa. Assim, percebe-se que as condições de cultivo proporcionaram adequada nutrição nitrogenada para as cultivares de alface.

O nitrogênio é o principal elemento relacionado ao crescimento vegetativo, taxa de expansão, ou seja, determina o tamanho das folhas, e conseqüentemente, o potencial produtivo da cultura. Logo, vale salientar que, devido a cultura da alface ser constituída basicamente por folhas, o nitrogênio passa a ser o elemento limitante para a cultura. Portanto, a deficiência deste elemento, acarreta sérios prejuízos a cultura, como retardo de crescimento, má formação da cabeça e eleva a clorose das folhas mais velhas (Almeida et al., 2011; Santos et al., 2012).

Para o teor de fósforo (P) nas folhas das cultivares de alface, observou-se que a cv. Cinderela foi superior em 22 e 39% a cv. Rubinella, quando cultivada nos sistemas semi-hidropônico e floating, respectivamente, na solução de 100%. A cv. Rubinella apresentou maior valor médio quando cultivada no sistema NFT (9,48 g kg⁻¹), nesta mesma solução. A cv. Cinderela também apresentou os maiores valores médios quando cultivada nos sistemas NFT e floating (23,81 e 10,43 g kg⁻¹), na solução de 50%, enquanto a cv. Rubinella, apresentou maiores valores médios para o sistema semi-hidropônico (9,17 g kg⁻¹) na mesma solução nutritiva (Figura 16).



*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas entre soluções nutritivas, minúsculas entre cultivares, e maiúsculas e negrito entre sistemas hidropônicos, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Figura 16. Teor de fósforo (P) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas

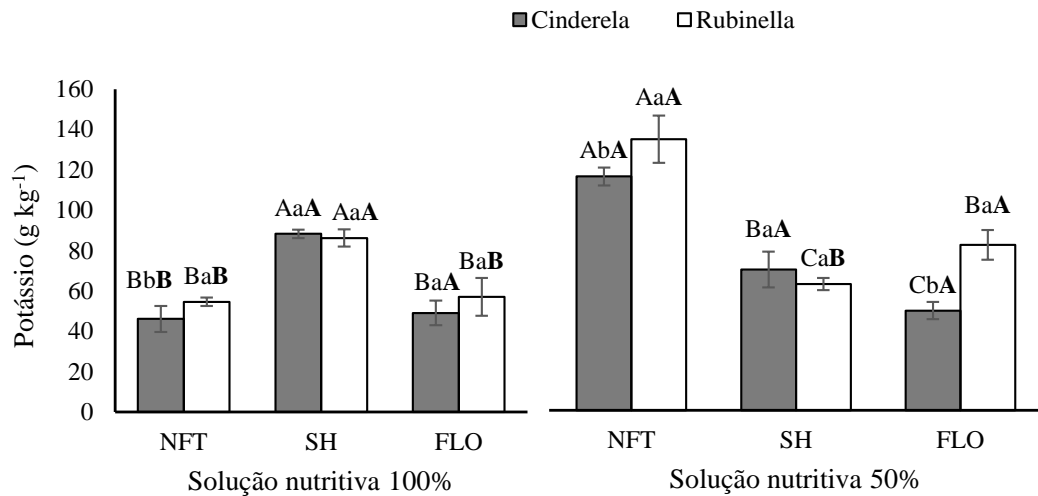
Se tratando do efeito dos sistemas hidropônicos sobre os teores de P, percebe-se que na solução de 100%, os sistemas semi-hidropônico ($13,27 \text{ g kg}^{-1}$) e o floating ($12,45 \text{ g kg}^{-1}$), proporcionaram os maiores teores de P na cv. Cinderela. Para a cv. Rubinella, os maiores teores de P ocorreram nos sistemas NFT ($9,48 \text{ g kg}^{-1}$) e o semi-hidropônico ($10,28 \text{ g kg}^{-1}$). Na solução de 50%, os sistemas NFT e o floating foram os responsáveis pelos maiores teores foliares de P na cv. Cinderela, sendo $23,81$ e $10,43 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente, enquanto os sistema semi-hidropônico ($23,81 \text{ g kg}^{-1}$) e o NFT ($10,43 \text{ g kg}^{-1}$) proporcionaram maiores teores na cv. Rubinella (Figura 16).

Para as soluções nutritivas, foi observado que os menores teores de P, tanto na cv. Cinderela ($4,10 \text{ g kg}^{-1}$), como na Rubinella ($7,64 \text{ g kg}^{-1}$), ocorreram na solução de 100%, nos sistemas NFT e floating. Na solução nutritiva de 50%, proporcionou os maiores teores de P, para ambas cultivares quando cultivadas no sistema NFT e para cv. Rubinella, no sistema floating. Já para o sistema NFT, os maiores valores de P ocorreram na solução nutritiva de 50%, para ambas as cultivares (Figura 16).

De forma geral, os teores foliares de P variaram de $4,10 \text{ g kg}^{-1}$ (cv. Cinderela, sistema NFT e solução de 100%) a $23,81 \text{ g kg}^{-1}$ (cv. Cinderela, sistema NFT e solução de 50%) (Figura 16). Almeida et al. (2011), em solução completa, encontraram teores de P na parte área de alface cv. Verônica de $5,4 \text{ g kg}^{-1}$. Trani & Raij (1997), consideram como teores de fósforo dentro da faixa considerada adequada de (4 a 7 g kg^{-1}). Assim, verifica-se que os resultados encontrados no presente experimento para a cv. Cinderela na solução de 50%, muito acima dos limites de referência.

Com relação aos teores foliares de potássio (K), não foi observado diferença estatística entre as cultivares Cinderela e Rubinella nos três sistemas hidropônicos testados (NFT, semi-hidropônico e floating) para a solução nutritiva de 100%. Contudo, verificou-se que com exceção do sistema semi-hidropônico, que apresentou maior valor para a cv. Cinderela ($88,26 \text{ g kg}^{-1}$ e de $78,50 \text{ g kg}^{-1}$, nas soluções de 100 e 50%, respectivamente), os maiores teores de K, foram observados para a cv. Rubinella nos sistemas NFT e floating. Na solução nutritiva de 50%, os maiores teores de K, também foram observados para a cv. Cinderela, apenas no sistema

semi-hidropônico, enquanto que os sistemas NFT e o floating, apresentaram maiores valores para a cv. Rubinella (Figura 17).



*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas entre soluções nutritivas, minúsculas entre cultivares, e maiúsculas e negrito entre sistemas hidropônicos, não diferem entre si pelo teste Tukey (p < 0,05).

Figura 17. Teor de potássio (K) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas

Quanto ao efeito dos sistemas hidropônicos sobre os teores de K, observou-se que para ambas as soluções nutritivas, o sistema semi-hidropônico, proporcionou maiores teores foliares de K para a cv. Cinderela (88,26 g kg⁻¹ na solução de 100%) e (78,50 g kg⁻¹ na solução de 50%), muito embora não tenha sido observado diferença estatística entre os demais sistemas. Por outro lado, os sistemas NFT e floating, proporcionaram os maiores teores de K para a cv. Rubinella, também para as duas soluções nutritivas testadas (Figura 17).

Analisando o efeito das soluções nutritivas, sobre os teores foliares de K, verificou-se que a solução nutritiva de 100%, apresentou os menores valores de K, tanto para a cv. Cinderela, quanto para a Rubinella, quando cultivadas nos sistemas NFT e o floating (Figura 17).

Esses resultados corroboram em parte com os encontrados com Gondim et al. (2010), que encontraram menores teores de K, na solução mais concentrada, com condutividade elétrica de 1,6 dS m⁻¹. Quando as cultivares foram cultivadas no sistema semi-hidropônico os valores de K, para ambas as cultivares foram superiores na solução de 100%. Sendo assim, para o K, no sistema semi-hidropônico, as plantas de alface foram mais exigentes em nutrientes, requerendo solução nutritiva mais concentrada (Figura 17).

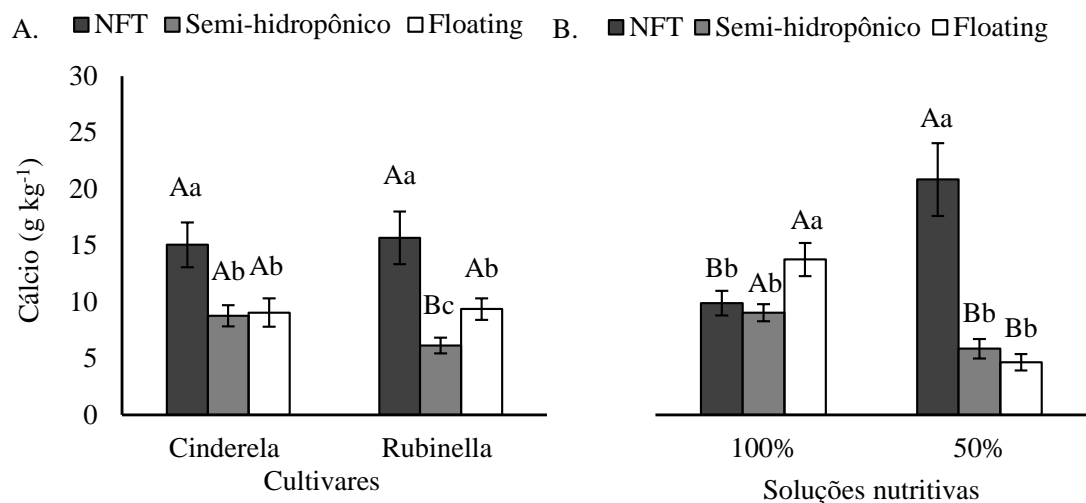
Esses resultados estão de acordo, em parte, com os resultados encontrados por Silvestre et al. (2016), trabalhando com alface americana, cv. Mauren, submetida a condutividades

elétricas de solução nutritiva fertirrigada em vasos com areia, os quais observaram que teores os maiores teores de K ($61,16 \text{ g kg}^{-1}$) na maior condutividade elétrica testada ($2,8 \text{ dS m}^{-1}$)

Em regiões, onde as temperaturas são mais elevadas, as soluções diluídas devem ser priorizadas para melhor cultivo das plantas (Cometti et al. 2008), uma vez que o aumento da temperatura da solução nutritiva, provoca a redução de oxigênio na solução nutritiva, o que limita a respiração celular e o crescimento radicular. Além disso, o aumento da condutividade elétrica da solução dificulta a absorção de água, levando a planta a condições de estresse hídrico, bem como, a própria absorção de nutrientes (Portela et al., 2012).

Os teores de K no experimento, variaram de $46,12 \text{ g kg}^{-1}$ (cv. Cinderela, sistema NFT e solução de 100%) a $151,10 \text{ g kg}^{-1}$ (cv. Rubinella, sistema NFT e solução de 50%) (Figura 17). Almeida et al. (2011) analisando à resposta da alface sob condições de soluções nutritivas deficitárias em macronutrientes, verificaram teor de K de $58,9 \text{ g kg}^{-1}$ em plantas cultivadas em solução sem restrição de nutrientes. Já para Trani & Rajj (1997), os valores de K, se encontram adequados na faixa de 50 a 80 g kg^{-1} . Assim, verifica-se que independentemente dos sistemas hidropônicos e concentrações da solução nutritiva, as duas cultivares não apresentaram deficiência de potássio.

Para o teor de cálcio (Ca), as cultivares não diferiram quando cultivadas nos sistemas NFT e floating, obtendo teores médios de $15,37$ e $9,21 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. Porém, a cv. Cinderela foi superior em 42,8% em relação a cv. Rubinella, quando foram cultivadas no sistema semi-hidropônico (Figura 18A).



*Para figura A, médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para sistemas hidropônicos e minúsculas para cultivares não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Para a figura B médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para sistemas hidropônicos e minúsculas para soluções nutritivas não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Figura 18. Teor de cálcio (Ca) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos (A) e sistemas hidropônicos X soluções nutritivas a soluções nutritivas (B)

Analisando o efeito dos sistemas sobre o teor de Ca, verifica-se que o sistema NFT, proporcionou maiores teores deste nutriente nas duas cultivares. No entanto, o efeito dos sistemas também variou em função da solução nutritiva utilizada. Na solução de 100%, os maiores teores de Ca ocorreram nas plantas cultivadas no sistema floating (13,75 g kg⁻¹), enquanto na solução de 50% o maior teor deste nutriente foi obtido no sistema NFT (20,85 g kg⁻¹) (Figura 18A).

Ainda quanto ao teor de cálcio, foi observado diferença entre as soluções nutritivas de acordo com o sistema de cultivo adotado. A solução de 100%, proporcionou maiores teores de Ca para o sistema semi-hidropônico e floating, enquanto, a solução de 50% foi superior no sistema NFT (Figura 18B).

De forma geral os maiores valores ocorreram no sistema NFT, enquanto os menores ocorreram no semi-hidropônico, variando de 8,77 a 15,06 g kg⁻¹ para a cv. Cinderela e variando de 6,14 a 15,68 g kg⁻¹ para cv. Rubinella (Figura 18B).

Esses resultados se assemelham em parte, com os obtidos por Assimakapoulou et al. (2013), os quais ao estudarem o cultivo de alface em sistema floating e em substratos, verificaram menor teor de Ca para o sistema floating com valores variando de 5,2 g kg⁻¹ em cultivo em lã de rocha a 8,3 g kg⁻¹ em floating.

Os teores de Ca obtidos no presente trabalho estão próximos aos observados por Almeida et al. (2011), os quais observaram teor médio de 12,1 g kg⁻¹ em alface crespa, cv. Verônica, cultivada em sistema NFT, em plantas nutridas em solução nutritiva completa.

Na literatura, os teores de Ca adequados para alface variam de 15 a 25 g kg⁻¹ (Trani & Rajj, 1997), enquanto Malavolta et al. (1997) recomenda teor de 12,5 g kg⁻¹. Desse modo, os dados encontrados no presente experimento sugerem que apenas o sistema NFT, proporcionou condições adequadas para o suprimento de Ca nas plantas de alface.

Buscando avaliar e descrever os sintomas visuais da deficiência isolada e combinada de K, Ca, B e Zn em alface americana cultivada em hidroponia, Petrazzini et al. (2014), observaram que as plantas de alface, tiveram significativas mudanças de ordem morfológicas, como redução no crescimento, e ainda proporcionou sintomas visuais como clorose induzidas nas bordas das folhas novas, sintoma conhecido como “tipburn”, ocasionado pelo fornecimento inadequado de cálcio.

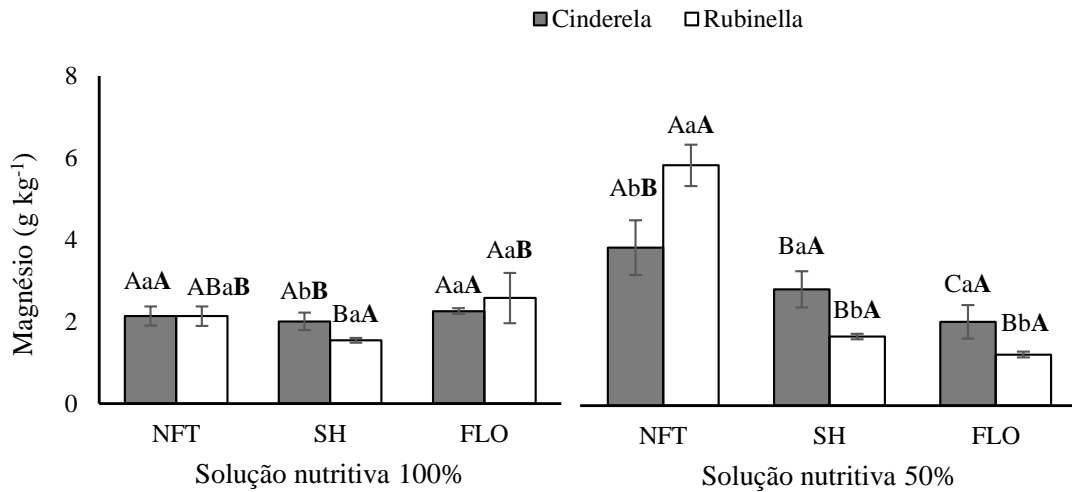
No presente experimento, no sistema floating, também foi observado manchas cloróticas nas cultivares de alface, bem como houve inibição do crescimento, deixando as plantas com tamanho menor (Figura 19). Outro fator que pode ter contribuído com isso, foi o aumento da temperatura tanto do interior da casa de vegetação, como também da solução nutritiva, visto que é amplamente conhecido que o aumento da temperatura diminui a

concentração de oxigênio dissolvido, o que compromete todo o crescimento das plantas (Assimakopoulou et al., 2013). Os mesmos autores supracitados, estudando a severidade e incidência de tipburn em alface, cultivada em sistema floating e em três substratos sólidos (pedra-pomes, perlita e lã de rocha) observaram queimaduras de bordas em alface no sistema floating em experimento realizado no final da primavera, destacando temperaturas mais elevadas nesse período (Figura 1A).



Figura 19. Cultivares de alface (Cinderela e Rubinella), cultivadas em sistema Floating, apresentado sintomas de clorose nas folhas

As cultivares Cinderela e Rubinella, não diferiram estatisticamente com relação aos teores de magnésio (Mg) para nenhum dos sistemas utilizados, quando submetidas a solução nutritiva de 100%. Observou-se que os menores teores de Mg, foram obtidos para ambas as cultivares no sistema semi-hidropônico, sendo 1,55 e 2,01 g kg⁻¹, para Rubinella e Cinderela, respectivamente. Comportamento diferente foi observado na solução de 50%, onde ambas as cultivares apresentaram diferença estatística para todos os sistemas testados, sendo que a cv. Rubinella, se apresentou inferior a cv. Cinderela nos sistemas semi-hidropônico e floating, mas superior no sistema em 34,2% no sistema NFT (Figura 20).



*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas entre soluções nutritivas, minúsculas entre cultivares, e maiúsculas e negrito entre sistemas hidropônicos, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Figura 20. Teor de magnésio (Mg) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas

Se tratando dos sistemas hidropônicos, verificou-se que não houve diferença estatística entre os sistemas, para a cv. Cinderela na solução de 100%, houve efeito dos sistemas sobre o teor de Mg para a cv. Rubinella, na mesma solução (100%) e para ambas as cultivares na solução de 50%. O sistema NFT, proporcionou os maiores teores de Mg tanto na cv. Cinderela (3,86 g kg⁻¹), quanto na Rubinella (5,87 g kg⁻¹) para a solução de 50%, por outro lado, para a solução de 100% as cultivares não diferiram no sistema NFT. Os menores teores de Mg foram observados no sistema floating para a cv. Rubinella (1,25 g kg⁻¹), na solução de 50%, muito embora, também tenha se observado teores de Mg baixos para cv. Rubinella no sistema semi-hidropônico (1,55 g kg⁻¹) na solução de 100% e de (1,69 g kg⁻¹) na solução de 50% (Figura 20).

Assimakopoulou et al. (2013) relataram que as concentrações de Mg em plantas de alface cultivada em sistema floating foram menores do que aquelas encontradas em substratos como Perlita, por outro lado, as concentrações de K, foram maiores no sistema floating, o que atribuem, ao antagonismo K-Mg.

Com isso, os resultados obtidos no presente estudo corroboram, em parte, com os apresentados por encontrados por Assimakopoulou et al. (2013), onde observou-se que os menores teores de Mg, foram obtidos no sistema floating.

As soluções nutritivas também apresentaram efeito significativo sobre os teores de Mg para ambas as cultivares. A solução de 50% proporcionou os maiores teor de Mg, sendo obtidos 3,86 e 5,87 g kg⁻¹, para cultivares Cinderela e Rubinella, respectivamente, quando cultivadas no sistema NFT. Entretanto, o menor teor de Mg (1,25 g kg⁻¹) também foi o observado na

mesma solução para a cv. Rubinella no sistema floating. A solução de 100% proporcionou maiores teores de Mg, para a cv. Cinderela (2,26 g kg⁻¹) e para cv. Rubinella (2,58 g kg⁻¹) quando cultivadas no sistema floating, nos demais sistemas, a solução de 100% provocou menores teores de Mg para ambas as cultivares. Assim, os valores de Mg variaram de 1,25 g kg⁻¹ (cv. Rubinella, sistema floating e solução de 50%) a 5,87 g kg⁻¹ (cv. Rubinella, sistema NFT e solução de 50%) (Figura 20).

Almeida et al. (2011) em tratamento com solução nutritiva completa encontraram 5,5 g kg⁻¹, enquanto Trani & Rajj (1997) consideram adequados aqueles teores de Mg que se encontra na faixa de 4 a 6 g kg⁻¹. Verifica-se apenas nos tratamentos NFT e solução de 50% proporcionaram teores de Mg próximos da faixa adequada para a alface. Os valores obtidos estão próximos aos observados por outros autores, a exemplo de Samarakoon et al. (2020), os quais analisando o efeito de soluções nutritivas variando de 1,4 a 2,0 ds m⁻¹, obtiveram teores médios de magnésio de 3,3 g kg⁻¹. Assimakopoulou et al. (2013), encontraram teores de Mg em alface variando de 2,02 a 3,29 g kg⁻¹.

De forma geral, observou-se, nas presentes condições em que o experimento foi conduzido, em ordem decrescente de teores de nutrientes nas folhas: K>N>P> Ca>Mg Sendo que os maiores valores foram obtidos pela cv. Cinderela, quando esta foi cultivada na solução nutritiva de 50%. Por outro lado, a cv. Rubinella apresentou maiores teores na solução de 100%, para a maioria dos nutrientes analisados, se tornando assim mais exigente em nutrientes. Foi possível analisar que os sistemas apresentaram comportamentos bem distintos quanto aos nutrientes analisados, mas que para a maioria deles, o sistema NFT, apresentou os maiores valores.

O sistema semi-hidropônico, com uso da fibra de coco como substrato, em muitos casos, proporcionou maiores teores de nutrientes com uso da solução 100%, indicado que para o cultivo da alface nesse sistema é necessário, o uso de solução mais concentrada. Sánches-del-Castillo (2014), ressaltam que em sistema de cultivo com uso de substrato, pode ocorrer, que parte dos nutrientes fiquem retidas no substrato, ou podem dissociar e precipitar dependendo do pH ou devido ao efeito de sua concentração na solução nutritiva.

A partir da análise de variância, identificou-se efeito da interação entre os fatores cultivar (C) X sistema (S) X soluções nutritivas (SN) para as variáveis: ferro (Fe), zinco (Zn) e cobre (Cu) ao nível de 1% de significância. Não foi observado efeito da interação tripla entre os fatores estudados para a variável manganês (Mn), observou-se efeito das interações duplas entre os fatores cultivar (C) X sistema (S) ($p < 0,01$), entre cultivar (C) X solução nutritiva (SN) e entre sistema (S) e solução nutritiva (SN) ($p < 0,05$) (Tabela 6).

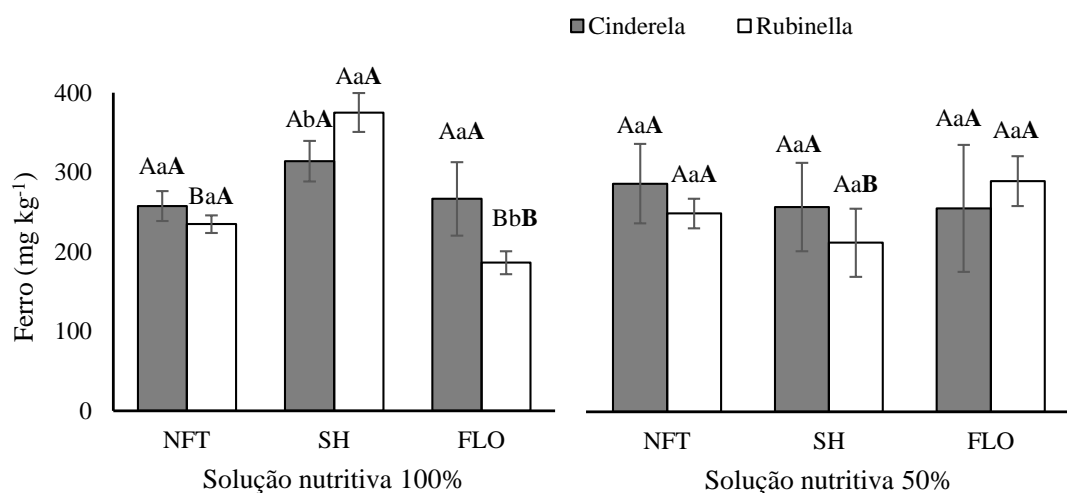
Tabela 6: Resumo da análise de variância para ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), e cobre (Cu) em cultivares submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		Fe	Mn	Zn	Cu
Cultivar (C)	1	2041,08 ^{ns}	67,62 ^{ns}	1194,85 ^{**}	0,76 ^{ns}
Sistema (S)	2	5481,34 ^{ns}	486,31 ^{**}	454,28 ^{**}	3,07 ^{**}
Solução nutritiva (SN)	1	1603,33 ^{ns}	267,21 [*]	969,08 ^{**}	3,71 ^{**}
C x S	2	1241,49 ^{ns}	1930,70 ^{**}	674,37 ^{**}	5,55 ^{**}
C x SN	1	11,55 ^{ns}	181,53 [*]	64,43 ^{ns}	0,63 ^{ns}
S x SN	2	211108,19 ^{**}	199,53 [*]	444,75 ^{**}	3,19 ^{**}
C x S x SN	2	92,01 ^{**}	100,66 ^{ns}	291,37 ^{**}	1,73 ^{**}
Resíduo	24	1611,42	38,63	31,13	0,29
CV (%)		15,11	23,87	18,66	18,99

ns - não significativo; * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; GL- grau de liberdade; CV- coeficiente de variância

Analisando os teores de Fe nas cultivares de alface, observou-se que para a solução de 100% as cultivares diferiram nos sistemas semi-hidropônico e floating, com maiores valores sendo obtidos nas cultivares Rubinella e Cinderella, respectivamente. Além disso, não houve diferença significativa entre as cultivares para a solução de 50%, independentemente do sistema utilizado (Figura 21).

Analisando o efeito dos sistemas hidropônicos sobre os teores de Fe, foi observado que só houve resposta significativa para a cv. Rubinella na solução de 100%, onde os maiores teores ocorreram no sistema semi-hidropônico (375,12 mg kg⁻¹), enquanto o menor teor ocorreu no sistema floating (186,27 mg kg⁻¹) (Figura 21).



Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas entre soluções nutritivas, minúsculas entre cultivares, e maiúsculas e negrito entre sistemas hidropônicos, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Figura 21. Teor de ferro (Fe) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas

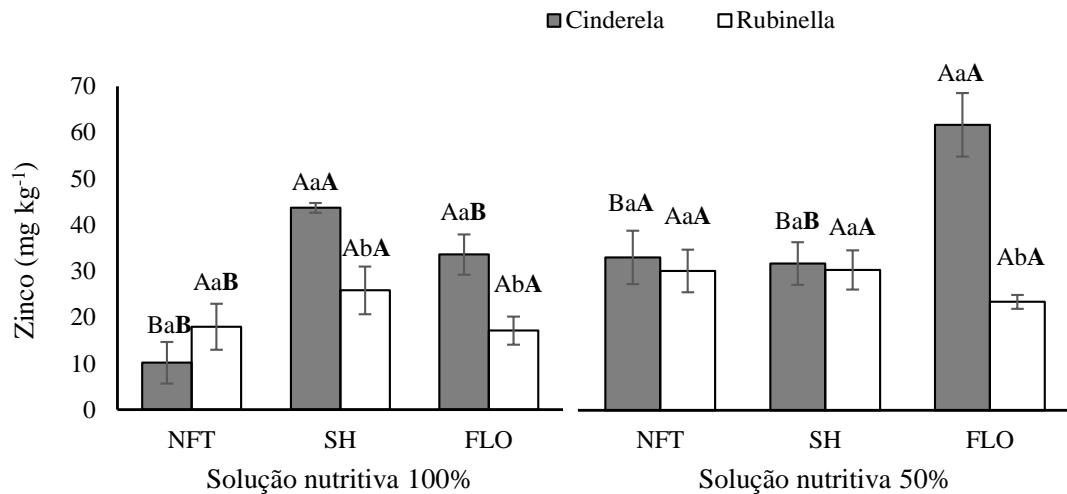
Não foi observada diferença significativa entre as soluções nutritivas (100 e 50%) no sistema NFT, para nenhuma das cultivares para os teores foliares de Fe. Porém, observou-se diferença estatística entre as soluções para cv. Rubinella, nos sistemas semi-hidropônico e floating. A solução de 100% proporcionou os maiores teores de Fe ($375,12 \text{ mg kg}^{-1}$) para cv. Rubinella, porém proporcionou menor teor de Fe ($186,27 \text{ mg kg}^{-1}$), no sistema floating. De forma geral, os teores de Fe variaram de $186,27 \text{ mg kg}^{-1}$ (cv. Rubinella, sistema floating e solução de 100%) a $375,12 \text{ mg kg}^{-1}$ (cv. Rubinella, sistema semi-hidropônico e solução de 100%) (Figura 21).

EI-Shinawy & Abd-Elmoniem (2008), estudando o crescimento e a composição mineral de cultivares de alface cultivada em solo e sistemas de cultivo do tipo NFT e floating, observaram que as maiores concentrações de Fe, foram encontradas no sistema NFT, corroborando em partes com os resultados encontrados no presente experimento.

Em estudo realizado por Samarakoon et al. (2019), avaliando o efeito da interação entre a condutividade elétrica e a absorção de nutrientes em alface usando o sistema NFT, os autores observaram que, tanto a produtividade, como o crescimento das raízes e a absorção de nutrientes foram alteradas mediante as variações nos níveis de condutividade elétrica.

Para o teor Zinco (Zn), identificou-se que na solução de 100% houve diferença significativa entre as cultivares nos sistemas semi-hidropônico e floating, nos quais a cv. Cinderela apresentou maiores teores de Zn, sendo obtido $43,67$ e $33,59 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente (Figura 22).

Para a solução de 50%, só houve diferença entre as cultivares no sistema floating, com maior valor ocorrendo na cv. Cinderela ($61,76 \text{ mg kg}^{-1}$), enquanto na cv. Rubinella obteve-se $23,46 \text{ mg kg}^{-1}$, de forma que a cv. Cinderela foi superior em 163% (Figura 22).



*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas entre soluções nutritivas, minúsculas entre cultivares, e maiúsculas e negrito entre sistemas hidropônicos, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Figura 22. Teor de zinco (Zn) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas

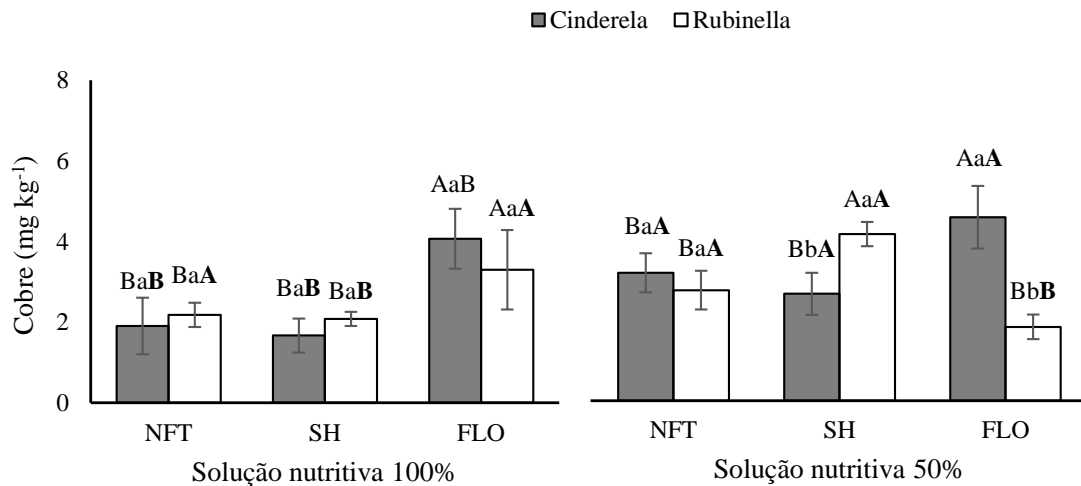
Em relação ao efeito dos sistemas hidropônicos sobre os teores foliares de Zn, verificou-se resposta significativa para as duas soluções nutritivas, dependendo da cultivar analisada. Na solução de 100%, houve diferença entre os sistemas apenas para a cv. Cinderela, sendo os maiores valores obtidos nos sistemas semi-hidropônico ($43,67 \text{ mg kg}^{-1}$) e floating ($33,59 \text{ mg kg}^{-1}$), o menor teor de Zn ocorreu no sistema NFT ($10,16 \text{ mg kg}^{-1}$). Para a solução de 50% também só houve resposta significativa ao sistema de cultivo para a cv. Cinderela, com maior teor de Zn ($61,76 \text{ mg kg}^{-1}$), ocorrendo no sistema floating (Figura 22).

As soluções nutritivas apresentaram comportamento bem diferentes para as cultivares nos sistemas testados em relação ao teor de Zn. A solução nutritiva de 100% foi superior a de 50% na cv. Cinderela quando cultivada no sistema semi-hidropônico. Entretanto, a solução de 50% foi superior nas duas cultivares para o sistema NFT. A solução foi superior, a cv. Cinderela no sistema floating (Figura 22). De forma geral, os valores de Zn no presente experimento variaram de $10,16 \text{ mg kg}^{-1}$ (cv. Cinderela, sistema NFT, solução de 100%) a $61,76 \text{ mg kg}^{-1}$ (cv. Cinderela, sistema floating, solução de 50%).

Samarakoon et al. (2020) trabalhando com cultivares de alface em sistema NFT, verificaram teores de Zinco variando de 35 a 50 mg kg^{-1} com maiores valores ocorrendo para uma solução nutritiva com condutividade elétrica próximo a $1,8 \text{ dS m}^{-1}$, corroborando em parte com os resultados obtidos no presente trabalho.

As cultivares não diferiram entre si quanto ao teor de cobre (Cu) quando cultivadas no sistema NFT em ambas as soluções nutritivas. Também não ocorreu diferença entre as

cultivares nos sistemas semi-hidropônico e no floating para a solução de 100%. Contudo, apresentaram diferenças estatísticas entre as cultivares quando foram cultivadas para os sistemas semi-hidropônico e floating, na solução de 50%, sendo os maiores valores de Cu observados para a cv. Rubinella (4,13 mg kg⁻¹) no sistema semi-hidropônico e para a cv. Cinderela (4,55 mg kg⁻¹) no sistema floating (Figura 23).



*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas entre soluções nutritivas, minúsculas entre cultivares, e maiúsculas e negrito entre sistemas hidropônicos, não diferem entre si pelo teste Tukey (p < 0,05).

Figura 23. Teor de cobre (Cu) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo e soluções nutritivas

Analisando o efeito dos sistemas hidropônicos sobre os teores foliares de Cu, observou-se que para a solução de 100%, o sistema floating proporcionou maiores teores deste nutriente, obtendo-se, 4,07 mg kg⁻¹ para a cv. Cinderela e 3,30 mg kg⁻¹ para cv. Rubinella. Para a solução de 50%, o maior teor de zinco ocorreu no sistema floating para a cv. Cinderela (4,55 mg kg⁻¹), enquanto na cv. Rubinella, o maior teor de Zn ocorreu no sistema semi-hidropônico (4,13 mg kg⁻¹) (Figura 23).

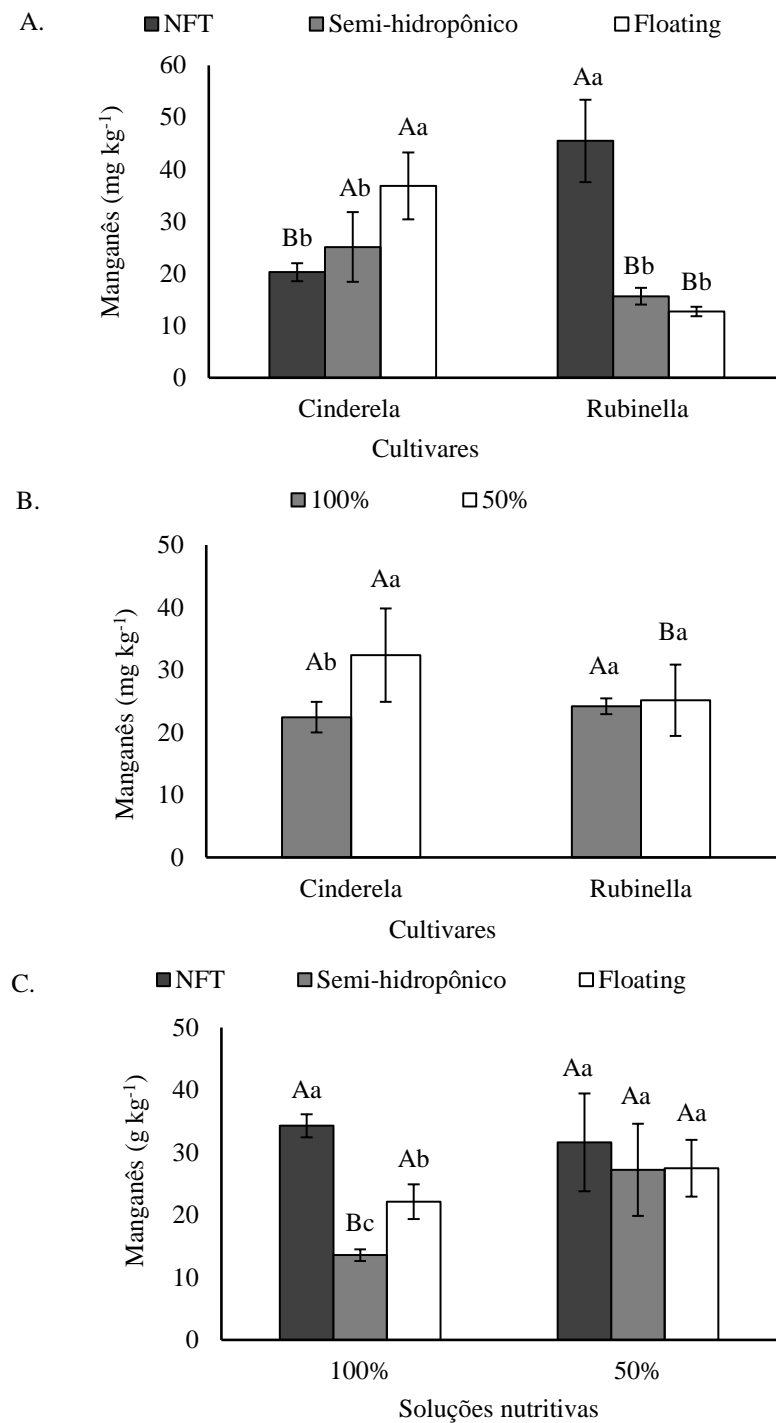
Não se observou efeito significativo das soluções nutritivas sobre os teores de Cu para cv. Rubinella cultivada no sistema NFT, nem para a cv. Cinderela no sistema floating. Contudo, observou-se as soluções nutritivas apresentaram diferenças estatísticas para cv. Cinderela no sistema NFT, para ambas as cultivares no sistema semi-hidropônico e para cv. Rubinella, no floating. De forma geral, exceto para a cv. Rubinella, no sistema floating, a solução de 50% proporcionou os maiores teores foliares de Cu para ambas as cultivares de alface. Em suma, os valores de Cu variaram de 1,67 mg kg⁻¹ (cv. Cinderela, sistema semi-hidropônico, solução de 100%) e de 4,55 mg kg⁻¹ (cv. Cinderela, sistema floating, solução de 50%) (Figura 23).

O cobre é um dos nutrientes exigidos em menor quantidades pelas plantas, por isso que sintomas de deficiência desse elemento, provavelmente são os últimos a serem observados (Ferreira & Cruz, 1991). Conforme Bezerra Neto & Barreto (2012), os teores de Cu, considerados adequados situam-se na faixa de 10 a 80 mg kg⁻¹. Avaliando a composição mineral de cultivares de alface cultivada em solo e sistemas de cultivo (NFT e floating), EI-Shinawy & Abd-Elmoniem (2008), observaram que os teores de Cu variaram de 27,45; 22,38 e 17,70 mg kg⁻¹ para os sistemas NFT, floating e cultivo em solo, respectivamente. Segundo Samarakoon et al. (2020) trabalhando com cultivares de alface em sistema NFT, verificaram teores de cobre variando de 5,0 a 7,5 mg kg⁻¹ com maiores valores ocorrendo para uma solução nutritiva com condutividade elétrica próximo a 1,8 dS m⁻¹.

Os resultados encontrados no presente estudo, mostram que as cultivares de alface, independente da solução nutritiva utilizada e dos sistemas hidropônicos, apresentaram baixos teores de cobre na matéria seca, contudo não foram observados sintomas visuais de deficiência do nutriente.

Para o teor de manganês (Mn), observou-se que as cultivares diferiram entre si com relação ao sistema utilizado, de modo que a cv. Cinderela apresentou maiores teores de Mn nos sistemas semi-hidropônico e floating (25,12 e 36,83 mg kg⁻¹), respectivamente. Enquanto que a cv. Rubinella apresentou maior teor de Mn no sistema NFT (45,59 mg kg⁻¹). Quanto ao efeito dos sistemas de cultivo, verificou-se que os sistemas floating e semi-hidropônico proporcionaram os maiores teores de Mn na cv. Cinderela, enquanto que o sistema NFT foi superior aos demais sistemas na cv. Rubinella (Figura 24A).

As cultivares diferiram também com relação as soluções testadas, apenas para a solução de 50% com maiores teores de Mn sendo verificados na cv. Cinderela (32,38 mg kg⁻¹). Verifica-se ainda que, só houve resposta significativa para as soluções nutritivas na cv. Cinderela com maior teor de Mn nas plantas fertirrigadas com solução de 50% (Figura 24B).



*Para Figura A, médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para sistemas hidropônicos e minúsculas para cultivares não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Para a Figura B médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para soluções nutritivas e minúsculas para cultivares não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Para figura C, médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para sistemas hidropônicos e minúsculas para soluções nutritivas não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Figura 24. Teor de manganês (Mn) em cultivares de alface submetidas a diferentes sistemas hidropônicos de cultivo (A) e soluções nutritivas (B) e Sistemas hidropônicos X soluções nutritivas (C)

Ainda se tratando do teor de Mn, ao analisar o efeito das soluções nutritivas em cada sistema de cultivo, observou-se que o sistema NFT ($34,27 \text{ mg kg}^{-1}$) proporcionou o maior teor de Mn na solução de 100%, enquanto o menor teor ocorreu no sistema semi-hidropônico ($13,57 \text{ mg kg}^{-1}$). Não houve diferença significativa entre os sistemas de cultivo na solução de 50%. Analisando o efeito das soluções nutritivas em cada sistemas de cultivo, verificou-se que só houve resposta significativa para o sistema semi-hidropônico, em que o maior teor Mn ocorreu na solução de 50% (Figura 24C).

De acordo com Bezerra Neto & Barreto (2012), os níveis adequados de Mn para a cultura da alface, situam-se na faixa de 30 a 200 mg kg^{-1} , sendo considerados como níveis críticos na matéria seca teores de manganês na faixa de 10 a 20 mg kg^{-1} . Logo, conforme os teores de Mn encontrados no presente trabalho, observou-se que para a maioria dos sistemas e independente do sistema, as cultivares apresentam baixos teores de Mn, com algumas exceções no sistema NFT e no floating, especialmente na solução de 50%, em que os valores situaram entre 36,83; 32,30 e $31,61 \text{ mg kg}^{-1}$. Provavelmente, o fato de apenas esses sistemas terem apresentado valores de Mn dentro da faixa adequada deve-se a maior disponibilidade de nutrientes nesses sistemas. Contudo, esses resultados divergem em parte dos encontrados por EI-Shinawy & Abd-Elmoniem (2008), onde observaram que os teores de Mn foram maiores no sistema NFT ($37,14 \text{ mg kg}^{-1}$) e no solo ($37,07 \text{ mg kg}^{-1}$), o menor teor de Mn foi observado no sistema floating ($22,80 \text{ mg kg}^{-1}$).

Grangeiro et al. (2003), relatam relações existentes entre os íons de Cu e Mg, onde o aumento de cobre, estimulou a absorção de Mn para a cultura da rúcula, ao mesmo tempo mostram trabalhos em que autores observaram o contrário, em que o teor de Mn diminui na matéria com o aumento de Cu. Independe dessas relações, tais resultados não foram observados no presente experimento, pois ambos os íons se encontram em sua maioria abaixo dos níveis considerados como adequados para a cultura da alface.

Sánchez-del-Castilho et al. (2014), estudando diferentes sistemas hidropônicos, encontrou que as maiores absorções de nutrientes pela cultura do pepino foram observadas pelo sistema de raiz flutuante, com recirculação de solução. Em contrapartida, as maiores taxas de absorções foram encontradas no sistema com uso de substrato, tanto com recirculação ou não da solução nutritiva, justificando esses resultados, ao fato do substrato utilizado ter retido nutrientes e impedido a liberação para as plantas. Rodríguez-Ortega et al. (2019), também estudando a cultura do tomate, comparando três sistemas de cultivo (floating, NFT e em substrato com uso da perlita), observaram que tanto o rendimento como os teores de nutrientes foram maiores no sistema floating, atribuindo esses resultados, ao fato tanto da água, bem como

os nutrientes estarem prontamente disponíveis para as plantas, ao contrário do que se observa nos outros sistemas.

Observou-se que os teores de micronutrientes presentes nas folhas da cultura da alface em ordem decrescente: Fe>Mn>Zn>Cu. Da mesma forma, foi verificado para os macronutrientes, cv. Cinderela apresentou os maiores teores para a maioria dos micronutrientes, especialmente quando cultivada na solução de 50%. Diferentemente do que foi observado para os macronutrientes, a cv. Rubinella apresentou os maiores teores de nutrientes também na solução de 50%. Com relação aos sistemas, de forma geral, os comportamentos das cultivares foram bem distintos quanto ao nutriente analisado.

5. CONCLUSÕES

1. A solução nutritiva diluída em 50% proporcionou maiores valores para a maioria das variáveis de crescimento, qualidade e nutrição.
2. A solução de 50% foi suficiente para promover condições adequadas de cultivo para as cultivares de alface nos sistemas NFT e floating.
3. O sistema semi-hidropônico apresentou os maiores valores para as variáveis de crescimento, qualidade e concentração de nutrientes quando utilizou-se a solução de 100%.
4. Os sistemas NFT e o floating, apresentaram os maiores valores para as variáveis de crescimento e qualidade e nutrientes quando utilizou-se a solução de 50%.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, T. B. F.; Prado, R. M.; Correia, M. A. R.; Puga, A. P.; Barbosa, J. C. Avaliação nutricional da alface cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. *Biotemas*, v.24, p.27-36, 2011.
- Alvares, C.A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L de M.; Sparovek, G. Koppen's climate classification map for Brasil. *Meteorologissche Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2014.
- Andriolo, J. L.; Jänisch, D. I.; Schmitt, O. J.; Vaz, M. A. B.; Cardoso, F. L.; Erpen, L. Concentração da solução nutritiva no crescimento da planta, na produtividade e na qualidade de frutas do morangueiro. *Ciência Rural*, v.39, p.684-690, 2009.
- Andriolo, J. L.; Luz, G. L.; Giraldo, C.; Godoi, R. S.; Barros, G. T. Cultivo hidropônico da alface empregando substratos: uma alternativa a NFT? *Horticultura Brasileira*, v.22, p.794-798, 2004.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORT&FRUIT 2019. 2018. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz. 96p. Disponível em: <<http://www.editoragazeta.com.br/anuario-brasileiro-de-hortifruti-2019/>> 20 nov. 2019.
- AOAC - Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry. 18.ed. Washington, 2005, 1115p.
- Assimakopoulou, A.; Kortsiras, A.; Nifakos, K. Incidence of lettuce tipburn as related to hidroponic system and cultivar. *Journal of plant Nutrition*, v. 36, p.1383-1400, 2013.
- Batista, L. A.; Guimarães, R. J.; Pereira, F. J.; Carvalho, G. R.; Castro, E. M. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, p.475-481, 2010
- Bezerra Neto, E.; Barreto, L. P. As técnicas de hidroponia. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, 2012. 107-137p.
- Bosco, M. R. O.; Oliveira, A. B.; Hernandez, F. F. F.; Lacerda, C. F. Influência do estresse salino na composição mineral da berinjela. *Ciência Agronômica*, v.40, p.157-164, 2009.
- BRASIL. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4.ed. Brasília: DF, 2005. 1000p.
- Carmo, G. A. do; Oliveira, F. R. A.; Medeiros, J. F.; Oliveira, F. A.; Campos, M. de S.; Freitas, D. C. Teores foliares, acúmulo e partição de macronutrientes na cultura da abóbora irrigada com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.512-518, 2011.
- Carvalho, J. E.; Zanella, F.; Mota, J. H.; Lima, A. L. S. Cobertura morta do solo no cultivo de alface Cv. Regina 2000, em Ji-Paraná/RO. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.29, p.935-939, 2005.
- Chitarra, M. I. F.; Chitarra, A. B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2.ed. Lavras: UFLA, 2005. 483p.
- Cometti, N. N. Nutrição mineral da alface (*Lactuca sativa* L.) em cultura hidropônica – sistema NFT. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2003. 128p. Tese doutorado em Agronomia

- Cometti, N. N.; Matias, G. C. S.; Zonta, E.; Mary, W.; Fernandes, M. S. Efeito da concentração da solução nutritiva no crescimento da alface em cultivo hidropônico-sistema NFT. *Horticultura Brasileira*, v.26, p.252-257. 2008.
- Cordeiro, C. J. X.; Oliveira, F. A. de; Leite Neto, J. S.; Oliveira, M. K. T.; Alves, F. T.; Miranda, F. A. C. Cultivo de rúcula em fibra de coco utilizando solução nutritiva salinizada enriquecida com nitrato de potássio. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.13, p.3212-3225, 2019.
- Costa, J. P. B. M.; Oliveira, F. A.; Oliveira, M. K. T.; Souza Neta, M. L.; Bezerra, F. M. S.; Cavalvante, A. L. G. Produção de mudas de pimentão utilizando fertirrigação. *Revista de Ciências Agrárias*, v.58, p.263-269, 2015.
- Diniz, A. A.; Dias, N. S.; Souza, F. I.; Sá, F.V. S.; Araújo, N. O.; Fernandes, A. L. M. Produção e qualidade do coentro cultivado com solução nutritiva em fibra de coco. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.13, p.3306-3313, 2019.
- Diniz, A. A.; Dias, N. S.; Souza, F. I.; Souza, A. C. M.; Mesquita, F. O.; Souza, F. I. Efeito da solução nutritiva sob o crescimento e composição mineral em pepino cultivado em substrato de fibra de coco. *Semina: Ciências Agrárias*, v.36, p.3043-3054, 2015.
- EI-Shinawy, M. Z.; Abd-Elmoniem, E. M. Study on growth of lettuce plant and mineral composition under soil and soilless culture systems. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, v.23, p. 207-2013. 2008.
- Fernandes, J. M. P.; Fernandes, A. L. M.; DIAS, N. S.; Cosme, C. R.; Nascimento, L.V.; Queiroz, I. S. R. Salinidade da solução nutritiva na produção de alface americana em sistema hidropônico NFT. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.12, p.2570-2578, 2018.
- Ferreira, D. F. 2014. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia* 38:109-112.
- Ferreira, M.E.; Cruz, M.C.P. Micronutrientes no solo. In: Ferreira, M.E.; Cruz, M.C.P. *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: Potafós, 1991. p.131-157.
- Filgueira, F. A. R. *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 3.ed.Viçosa:UFV, 2013, 421p
- Freire, A. G.; Oliveira, F. A.; Carrilho, M. J. S.; Oliveira, M. K. T.; Freitas, D. C. Qualidade de cultivares de alface produzida em condições salinas. *Revista Caatinga*, v.22, p.81-88, 2009.
- Furlani, P. R. 1998. Instruções para o cultivo de olerícolas de folhas pela técnica de hidroponia NFT. Campinas: Instituto Agronômico. 30 p (Boletim técnico IAC,180.
- Furlani, P. R.; Silveira, L.C.P; Bolonhezi, D.; Faquin, V. *Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 1 - Conjunto hidráulico*. 2009. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/hidroponiap1/index.htm > 21 nov. 2019.
- Gondim, A. R. O.; Flores, M. E. P.; Martinez, H. E. P.; Fontes, P. C. R.; Perreira, P. R. G. Condutividade elétrica na produção e nutrição de alface em sistema de cultivo hidropônico NFT. *Bioscience Journal*, v.26, p. 894-904, 2010.
- Grangeiro, L. C.; Costa, C. C.; Cecílio Filho, A. B.; Grilli, G. V. G.; Coelho, R. L.; Bergamin, L. G. Produção de rúcula em hidroponia com diferentes concentrações de cobre. *Horticultura Brasileira*. Associação Brasileira de Horticultura, v.21, p.69-72, 2003.

- Guimarães, I.T.; Oliveira, F. A.; Leal, C.C.P.; Souza, M.W.L.; Alves, T. R.C. Foliar application of biofertilizer in semi-hydroponic lettuce fertigated with saline nutrient solution. *Comunicata Scientiae*, v.11, e3115, 2020.
- Henz, G. P.; Suinaga, F. Tipos de Alface Cultivados no Brasil. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2009. 7p. (Comunicado Técnico, 75).
- Jordan, R. A.; Ribeiro, E. F.; Oliveira, F. C.; Geisenhoff, L. O.; Martins, E. A. S. Yield of lettuce grown in hydroponic and aquaponic systems using different substrates. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, p.525-529, 2018.
- Kowalczyk, K; Mirgos, M; Bączek, K; Niedzińska, M; Gajewski, M. Effect of different growing media in hydroponic culture on the yield and biological quality of lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata). *Acta Horticulturae*, v.1142, p.105-110, 2016.
- Lacerda, F. H. D.; Macedo, E. C. F.; Fortunato, T. C. S.; Medeiros, J. E.; Campus Júnior, J. E. Substrato e concentração de nutrientes na solução nutritiva na produção de couve manteiga. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.7, p.51-58, 2012.
- Luz, J. M. Q.; Andrade, L.V.; Dias, F. F.; Silva, M. A. D.; Haber, L. L.; Oliveira, R. C. Produção hidropônica de coentro e salsa crespa sob concentrações de soluções nutritivas e posições das plantas nos perfis hidropônicos. *Bioscience Journal*, v.28, p.589-597, 2012.
- Luz, J. M.; Costa, C. C.; Guerra, G. M. P.; Silva, M. A. D.; Haber, L. L. Efeito da variação da solução nutritiva no cultivo hidropônico de rúcula. *Revista verde*, v.6, p.76-82, 2011.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.
- Martinez, H. E. P. Manual prático de hidroponia. 3 ed. Viçosa, 2016. 86p.
- Mota, W. F.; Pereira, R. D.; Santos, G. S.; Vieira, J. C. B. Agronomic and economic viability of intercropping onion and lettuce. *Horticultura Brasileira*, v.30, p.349-354, 2012.
- Nunes, R. L. C.; Dias, N. S.; Moura, K. K. C. F.; Souza Neto, O. N.; Costa, J. M. Efeitos da salinidade da solução nutritiva na produção de pimentão cultivado em substrato de fibra de coco. *Revista Caatinga*, v.26, p.48-53, 2013.
- Ohse, S. D. N.; Dourado Neto, D.; Manfron, P. A.; Santos, O. S. Qualidade de cultivares de alface produzidos em hidropônica. *Scientia Agrícola*, v. 58, p.181-185, 2001.
- Oliveira, F. A.; Carrilho, M. J. S. O.; Medeiros, J. F.; Maracajá, P. B.; Oliveira, M. K. T. Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.771-777, 2011.
- Oliveira, F. A.; Guedes, R. A. A.; Gomes, L. P.; Bezerra, F. M. S.; Lima, L. A.; Oliveira, M. K. T. Interação entre salinidade e bioestimulante no crescimento inicial de pinhão-manso. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, p. 204-210, 2015.
- Oliveira, F. A.; Marques, I. C. S.; Targino, A. J. O.; Cordeiro, C. J. X.; Oliveira, M. K. T.; Régis, L. R. L.; Costa, P. A. A.; Freitas, R. S. Effect of saline stress and calcium nitrate on lettuce grown on coconut fiber. *Journal of Agricultural Science*, v.10, p.259-268, 2018.

- Oliveira, F. A.; Medeiros, J. F.; Linhares, P. S. F.; Alves, R. C.; Medeiros, A. M. A.; Oliveira, M. K. T. Produção de mudas de pimenta fertirrigadas com diferentes soluções nutritivas. *Horticultura Brasileira*, v.32, p.458-463, 2014.
- Oliveira, F. A.; Ribeiro, M. S. S.; Oliveira, M. K. T.; Martins, D. C.; Souza Neta, M. L.; Medeiros, J. F. Produção de mudas de cultivares de maxixeiro em fibra de coco fertirrigadas com diferentes concentrações de nutrientes. *Revista Ceres*, v.63, p.698-705, 2016a.
- Oliveira, F. A.; Souza Neta, M. L.; Oliveira, M. K.T.; Silva, R.T.; Martins, D. C.; Costa, J. P. B. M. Production of coriander in substrate fertigated with increasing nutrient concentration. *Revista de Ciências Agrárias*, v.59, p.275-279. 2016b.
- Paulus, D.; Paulus, E.; Nava, G. A.; Moura, C. A. Crescimento, consumo hídrico e composição mineral de alface cultivada em hidroponia com águas salinas. *Revista Ceres*, v. 59, p.110-117, 2012.
- Petrazzini, L. L.; Souza, G. A.; Rodas, C. L.; Emrich, E. B.; Carvalho, J. G.; Souza, R. J. Nutritional deficiency in crisphead lettuce grown in hydroponics. *Horticultura Brasileira*, v. 32, p.310-313, 2014.
- Portela, I. P.; Peil, R. M. N.; Rombaldi, C. V. Efeito da concentração de nutrientes no crescimento, produtividade e qualidade de morangos em hidroponia. *Horticultura Brasileira*, v.30, p.266-273, 2012.
- Potrich, A. C. G.; Pinheiro, R. R.; Schmidt, D. Alface hidropônica como alternativa de produção de alimentos de forma sustentável. *Enciclopédia Biosfera*, v.8, p.36-48, 2012.
- Queiroz, I. S. R.; Leitão, A.R. F.; Ferreira, L. L.; Dias, N. S.; Cosme, C. R.; Mota, A. F. Tolerância da berinjela à salinidade cultivada em substrato de fibra de coco. *ACSA-Agropecuária Científica no Semi-Árido*, v.9, p.15-20, 2013.
- Resende, F. V. S.; Saminêz, T. C. O.; Vidal, M. C.; Souza, R. B.; Clemente, F. M. V. Cultivo de alface em sistema orgânico de produção. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007. 16p. (Circular Técnica, 56).
- Rodriguez-Ortega, W.M.; Martínez, V.; Nieves, M.; Simón, I.; Lidón, V.; Zapata, J. C. F.; Nicolas, J. J. M.; Zapata, J. M. C.; Sánchez, F. G. Agricultural and Physiological Responses of Tomato Plants Grown in Different Soilless Culture Systems with Saline Water under Greenhouse Conditions. *Scientific Reports*, v.9, e.6733. 2019.
- Samarakoon, U.; Palmer, J.; Ling, P.; Altland, J. Effects of Electrical Conductivity, pH, and Foliar Application of Calcium Chloride on Yield and Tipburn of *Lactuca sativa* Grown Using the Nutrient-Film Technique. *Hortscience*, v.55, p.1-7, 2020.
- Samarakoon, U.C.; Fyffe, C.; Bale, J.; Ling, P.; Basnagala, S.; Donley, N.; Altland, J. Effect of electrical conductivity on the productivity and nutrient uptake of *Lactuca sativa* L. grown using nutrient film technique (NFT). *Acta Horticulturae*, p.137-144, 2019.
- Sánchez-del-Castillo, F. S.; Molina, L. G.; Pérez, E. D. C. M.; Pineda, J.; González, C. E. R. Dinámica nutricional y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva nutritional dynamics and yield of cucumber grown in hydroponics with and without recirculation of the nutrient solution. *Revista de Fitotecnia Mexicana*, v.37, p.261-269. 2014.

- Santos, A. N.; Silva, F. F. E.; Soares, T. M.; Dantas, R. M. L.; Silva, M. M. Produção de alface em NFT e floating aproveitando água salobra e o rejeito da dessalinização. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, p.319-326, 2011.
- Santos, J. F.; Coelho filho, M. A.; Cruz, J. L.; Soares, T. M.; Cruz, A. M. L. Growth, water consumption and basil production in the hydroponic system under salinity. *Revista Ceres*, v.66, p.45-53, 2019.
- Santos, O. S. *Hidroponia*. Santa Maria: UFSM/Colégio Politécnico, 2009. 392p.
- Santos, R. F.; Borsoi, A.; Tomazzoni, J. L.; Viana, O. H.; Maggi, M. F. Aplicação de nitrogênio na cultura da alface. *Revista Varia Scientia Agrárias*, v.2, p.69-77, 2012.
- Santos, S. T.; Oliveira, F. A.; Costa, J. P. B. M.; Souza Neta, M. L.; Alves, R. C.; Costa, L. P. Qualidade de mudas de cultivares de tomateiro em função de soluções nutritivas de concentrações crescentes. *Agro@mbiente On-line*, v.10, p.326-333, 2016.
- Sarmento, J. D. A.; Morais, P. L. D.; Almeida, M. L. B.; Souza Neto, O. N.; Dias, N. S. Qualidade e conservação da alface cultivada com rejeito da dessalinização. *Revista Caatinga*, v.27, p.90-97, 2014.
- SEAB/DERAL - Secretaria da Agricultura e do Abastecimento - Departamento de Economia Rural do Estado do Paraná. Olericultura - Análise da conjuntura agropecuária. 2012. Disponível em:
<http://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2019-12/olericultura_2020.pdf>. Acessado em: 23 nov. 2019.
- Silva, A. D. Rentabilidade econômica e características agrônomicas da produção de mudas de alface em viveiro protegido destinadas ao cultivo hidropônico. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2017. 72p. Tese doutorado.
- Silva, E. M. N. C. P.; Ferreira, R. L. F.; Araújo Neto, S. E.; Tavella, L. B.; Solino, A. J. S. Qualidade de alface crespa cultivada em sistema orgânico, convencional e hidropônico. *Horticultura Brasileira*, v. 29, p.242-245, 2011.
- Silva, F. V.; Duarte, S. N.; Lima, C. J. G. de S.; Dias, N. S.; Santos, R. S. S.; Medeiros, P. R. F. Cultivo hidropônico de rúcula utilizando solução nutritiva salina *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 8, p.476-482, 2013.
- Silva, M. G.; Soares, T.; Gheyi, H. R.; Oliveira, I. S.; Silva Filho, J. A. Crescimento e produção de coentro hidropônico sob diferentes densidades de semeadura e diâmetros dos canais de cultivo. *Irriga*, v.21, p.312-326, 2016a.
- Silva, M. G.; Soares, T.; Gheyi, H. R.; Oliveira, I. S.; Silva Filho, J. A.; Carmo, F. F. Frequency of recirculation of nutrient solution in hydroponic cultivation of coriander with brackish water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, p.447-454, 2016b.
- Silvestre, J. P.; Barzan, R. R.; Contreras, H. A. S.; Melo, T. R.; Almeida, L. H. C.; Fregonezi, G. A. F.; Takahashi, H. W. Electrical conductivity of nutrient solution on crisphead lettuce fertigated at sand. *International Journal of Current Research*, v.10, p.40307-40309, 2016.
- Soares, C. S.; Silva, J. A.; Silva, G. N.; Brito Neto, J. F. Produção hidropônica de cultivares de alface em duas concentrações da solução nutritiva. *Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management*, v.16, p. 82-93, 2020.

- Souza, P. F.; Borgherzan, M.; Zappellini, J.; Carvalho, L. R.; Ree, J.; Oliveira, J. L. B.; Pescador, R. Physiological differences of 'Crocantela' lettuce cultivated in conventional and hydroponic systems. *Horticultura Brasileira*, v.37, p.101-105, 2019.
- Suinaga, F. A.; Boiteux, L. S.; Cabral, C. S.; Rodrigues, C. da S. Métodos de avaliação do florescimento precoce e identificação de fontes de tolerância ao calor em cultivares de alface do grupo varietal crespa. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2013. 4p. (Comunicado Técnico, 89).
- Targino, A. J. O.; Oliveira, F. A.; Oliveira, M. K. T.; Regis, L. R. L.; Morais Neta, H. M.; Cordeiro, C. J.; Alves, F. A. T.; Nascimento, L. V.; Pessoa, V. G.; Oliveira, A. A. A.; Souza, M. W. L.; Menezes, P. V.; Costa, J. P. B. M.; Marques, I. C. S.; FREITAS, R. S. Lettuce growth in different pot volumes and irrigation frequencies under saline stress. *Journal of Agricultural Science*, v.11, p.494-503, 2019.
- Tedesco, M. J.; Gianello, C.; Bissani, C. A.; Bohnen, H.; Volkweiss, S. J. 1995. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 174 p (Boletim Técnico de Solos, 5).
- Tester, M.; Davenport, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*, v.91, p.503-527, 2003.
- Trani, P. E.; Raij, B. Hortaliças. In: Raij, B.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. (Eds). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2 ed. rev. atual. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, (Boletim Técnico, 100), 1997. p.157-185.
- Turini, T.; Cahn, M.; Cantwell, M.; Jackson, L.; Koike, S.; Natwick, E.; Smith, R.; Subarrao, K.; Takele, E. Iceberg lettuce production in California. 2011.