

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE
- PPGAA -

PRISCILA HELENA DA SILVA MACEDO

CICLAGEM DE MACRONUTRIENTES NO CULTIVO DE ALFACE
HIDROPÔNICA

ARARAS

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCar
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA

PRISCILA HELENA DA SILVA MACEDO

Ciclagem de macronutrientes no cultivo de alface hidropônica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA), da Universidade Federal de São Carlos como requisito para a obtenção do título de **Mestre em Agricultura e Ambiente**.

Orientador: Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza

Coorientador: Prof. Dr. Fernando César Sala

ARARAS

2021

Silva Macedo, Priscila Helena da

Ciclagem de macronutrientes no cultivo de alface hidropônica / Priscila Helena da Silva Macedo -- 2021. 54f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras

Orientador (a): Claudinei Fonseca Souza

Banca Examinadora: Fernando César Sala, Renata da Silva Cuba, Roselena Faez

Bibliografia

1. Ciclagem de nutrientes. 2. Uso racional de água. 3. Hidroponia. I. Silva Macedo, Priscila Helena da. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8
7083



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Priscila Helena da Silva Macedo, realizada em 29/11/2021.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza (UFSCar)

Profa. Dra. Roselena Faez (UFSCar)

Profa. Dra. Renata da Silva Cuba (UNESP)

Prof. Dr. Fernando César Sala (UFSCar)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus pelo dom da vida,

A meus pais pelo apoio incansável em todos os momentos da minha vida, a minha mãe por me incentivar a estudar sempre mais e ao meu pai por interpretar e realizar prontamente todos os meus projetos;

À minha família simplesmente pelo fato de existir;

Houve muitos obstáculos vencidos para que eu chegasse ao final de mais um ciclo de minha vida, momentos esses que tive a compreensão e ajuda de muitas pessoas especiais, por isso agradeço a eles:

Ao meu orientador, Professor Dr. Claudinei F. Souza, pelas conversas, broncas e ensinamentos teóricos e práticos que contribuíram para meu aperfeiçoamento profissional;

Ao meu coorientador, Professor Dr. Fernando Sala, pelo apoio e orientações durante o desenvolvimento do meu trabalho;

Aos técnicos do CCA, João Henrique e Juliana Gilbert que disponibilizaram parte de seu tempo para me auxiliar;

À Carol e o Maurício, que atenderam nossas demandas de campo;

Aos funcionários terceirizados da Agrícola que estavam sempre prontos a nos atender em qualquer demanda do experimento;

Às alunas Lika e Carol pela amizade e apoio nas horas difíceis;

Às alunas Camila e Gabi do laboratório MPB pela disposição em me auxiliar nas análises químicas;

Aos estagiários do EASA, que muito ajudaram na execução dos experimentos;

Ao Departamento DRNPA, por me liberar para assistir as aulas do mestrado;

Ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) e Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA);

À Camila, técnica administrativa, sempre disposta a me ouvir e contribuir com sua sensatez;

Aos colegas e professores do PPGAA, que foram fundamentais em muitas etapas deste caminho;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de auxílio financeiro.

*"Você nunca sabe que resultados virão da sua ação. Mas se você não
fizer nada, não existirão resultados"*

Mahatma Gandhi

RESUMO

A busca pela sustentabilidade na produção agrícola tem influenciado no manejo de sistemas hidropônicos que utilizam a Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT). O reúso de soluções nutritivas se torna alternativa ao descarte de água e nutrientes no ambiente, já que a escassez desse recurso hídrico e a contaminação do solo por fertilizantes são problemas, tanto econômicos quanto ambientais, sentidos em todo o mundo. Portanto, o objetivo deste trabalho foi testar a hipótese de que a reposição de nutrientes proporciona o reúso das soluções nutritivas descartadas durante o desenvolvimento da cultura da alface hidropônica. O experimento foi realizado em estufa agrícola, em sistema hidropônico NFT, em duas etapas (Etapa 1 – monitoramento e coleta dos dados e proposição de manejo da reposição de nutrientes e Etapa 2 - validação do manejo de reposição proposto). Na Etapa 1 foram quantificados os macronutrientes presentes na solução nutritiva e nas plantas de alface. Na Etapa 2 validou-se a proposição de manejo da reposição de nutrientes através de dois tratamentos, T1 - com reposição de nutrientes e sem renovação da solução nutritiva durante o ciclo da cultura e T2 - com reposição de nutrientes e renovação da solução nutritiva. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso. Os resultados foram submetidos ao teste estatístico T ao nível de 5% de significância. Com os resultados coletados na Etapa 1 foi proposto a reposição de nutrientes para a Etapa 2, na qual a cultura apresentou desenvolvimento satisfatório, mostrando que a reposição de nutrientes proporciona o reúso das soluções nutritivas descartadas para a cultura da alface hidropônica, evitando assim a renovação da solução nutritiva, adequando-se a produção sustentável de alimentos.

Palavras-chave: cultivo sem solo; cultivo de hortaliças; *Lactuca sativa* L.; hidroponia; reúso de solução nutritiva; uso racional de macronutrientes;

Abstract

The search for sustainability in agricultural production has been reflected in the management of hydroponic systems that use the Laminar Nutrient Flow Technique (NFT). The reuse of nutrient solutions becomes an alternative to disposing of water and nutrients into the environment since the scarcity of this water resource and soil contamination by fertilizers are both economic and environmental problems experienced worldwide. Therefore, the objective of this work was to test the hypothesis that the nutrient property offers the reuse of discarded nutrient solutions during the development of the hydroponic lettuce crop. The experiment was carried out in an agricultural greenhouse, in an NFT hydroponic system, in two stages (Step 1 - monitoring and data collection and proposition of nutrient alteration management and Stage 2 - validation of the proposed adequacy management). In Step 1, the macronutrients present in the nutrient solution and the lettuce plants were quantified. In Step 2, the proposal of nutrient transfer management was validated through two treatments, T1 - with nutrient renewal and without nutrient solution renewal during the crop cycle and T2 - with nutrient liquidation and nutrient solution renewal. The experimental design was in randomized blocks. The results were submitted to the statistical T test at a 5% significance level. The results collected in Step 1, the replacement of nutrients was proposed for Step 2, in which the culture presented satisfactory development, showing that the replacement of nutrients provides the reuse of nutrient solutions discarded for the culture of hydroponic lettuce, thus avoiding the renewal of the nutrient solution, adapting to sustainable food production.

Keywords: hydroponics; growing vegetables; *Lactuca sativa* L.; rational use of macronutrients; reuse of nutrient solution; soilless cultivation;

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma representativo do processo de trabalho.....	14
Figura 2. Estrutura do experimento: casa de vegetação com sistema de produção hidropônico NFT	15
Figura 3. Detalhe interno da estufa com bancadas compostas por perfis de PVC...	16
Figura 4. Esquema da estrutura do sistema hidropônico e distribuição dos tratamentos	16
Figura 5. Mudas de alface cv Milena aos 35 dias após a semeadura (DAS). Detalhe do torrão e raízes bem desenvolvidas.....	17
Figura 6. Sistema de aeração no retorno do sistema, dentro do reservatório	18
Figura 7. Média dos valores do monitoramento diário do pH da solução nutritiva nas três repetições do cultivo.....	25
Figura 8. Média dos valores do monitoramento diário da condutividade elétrica da solução nutritiva nas três repetições do cultivo	26
Figura 9. Média dos resultados da análise química da solução nutritiva inicial e descarte ajustada ao final de cada semana, nas três repetições do cultivo.....	28
Figura 10. Valor médio das quantidades de macronutrientes absorvidos da solução nutritiva pelas plantas nas três repetições do cultivo	28
Figura 11. Desenvolvimento das plantas de alface colhidas semanalmente aos 0, 7, 14, 21 e 28 DAT, no período de 12/01 a 09/02/2021.	30
Figura 12. Resultados da análise foliar de macronutrientes na matéria seca de alface cv. Milena no período de 12/01 a 09/02/2021.	30
Figura 13. Acúmulo de massa fresca da parte aérea em alface cv. Milena aos 0, 7, 14, 21 e 28 dias após o transplante, nos três cultivos.....	34
Figura 14. Consumo médio acumulado de solução nutritiva pela alface cv. Milena nas três repetições do cultivo.....	35
Figura 15. Temperaturas e umidades relativas do ar registradas nos períodos de 12/01 à 09/02/2021 (a) e de 16/03 à 13/04/2021 (b).....	35
Figura 16. Média do acúmulo de massa seca da parte aérea em alface cv. Milena nas três repetições do cultivo.....	36
Figura 17. Valores médios do monitoramento diário do pH das soluções nutritivas dos dois tratamentos, com complemento de nutrientes T1(*) e trocas de soluções T2(*)	38

Figura 18. Acompanhamento da condutividade elétrica da solução nutritiva em T1 (com reposição de nutrientes e sem renovação da solução nutritiva) e T2 (com renovação da solução nutritiva).....	39
Figura 19. Desenvolvimento das plantas de alface cv Milena dos tratamentos 1 e 2 aos 30 DAT	41
Figura 20. Consumo acumulado de solução nutritiva pela alface cv. Milena em T1	45
Figura 21. Temperaturas e umidade relativa do ar registradas no período de condução do experimento.....	45

INDÍCE DE TABELAS

Tabela 1. Solução nutritiva adaptada de Furlani et al. (1999) para o cultivo de alface	19
Tabela 2. Médias e desvios padrão de pH e condutividade elétrica nas três repetições do cultivo	26
Tabela 3. Desvio padrão da massa seca no três cultivos	37
Tabela 4. Médias e desvios padrão de pH e condutividade elétrica em T1 e T2.....	38
Tabela 5. Quantidade total de fertilizantes utilizados durante o ciclo da cultura nos tratamentos T1 e T2, expressas em sais e em nutrientes individuais, para os volumes totais de 512,5 L em T1 e 1400 L em T2.....	40
Tabela 6. Resultados da análise foliar de macronutrientes na matéria seca de alface cv. Milena	41
Tabela 7. Quantidades de nutrientes a serem repostos na solução nutritiva, semanalmente, com a cv Milena, nas condições desse estudo.....	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	4
2.1	Objetivo geral.....	4
2.2	Objetivos Específicos.....	4
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1	Hidroponia.....	5
3.2	Solução Nutritiva.....	7
3.3	A Cultura da alface.....	11
3.4	A hidroponia NFT e os riscos ambientais.....	12
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	14
4.1	Estrutura do experimento.....	14
4.2	Solução nutritiva.....	18
4.3	Etapa 1.....	20
4.3.1	Monitoramento e coleta dos dados da solução nutritiva.....	20
4.3.2	Monitoramento e coleta dos dados da cultura.....	21
4.3.2.1	Análise foliar e consumo de água pela alface.....	21
4.3.2.2	Determinação de massa fresca e seca da alface.....	21
4.3.3	Forma de análise dos resultados da Etapa 1.....	22
4.4	Etapa 2.....	23
4.4.1	Validação da proposição de manejo - reposição de nutrientes.....	23
4.4.2	Forma de análise dos resultados da Etapa 2.....	24
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
5.1	Etapa 1.....	25
5.1.1	Análise da Solução Nutritiva.....	25
5.1.2	Análise Química da Solução Nutritiva.....	27
5.1.3	Análise Foliar da Alface.....	30
5.1.4	Massas Fresca e Seca.....	33
5.2	Etapa 2.....	37
5.2.1	Acompanhamento da Solução Nutritiva.....	37
5.2.2	Análise foliar.....	41
5.2.3	Massas Fresca e Seca.....	43

5.3	Aplicação dos resultados obtidos no experimento	46
6	CONCLUSÃO	48
7	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	49
8	BIBLIOGRAFIA.....	50

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional nas últimas décadas e a modernização da agricultura levaram a um maior consumo de recursos, entre eles a água, levando a problemas ambientais como a contaminação das águas e seu consumo excessivo. Para que a agricultura atenda a crescente demanda por alimentos com o mínimo de impacto ao ambiente, é necessário que o manejo seja realizado de forma racional buscando diminuir os riscos ambientais.

A escassez de água e a contaminação do solo são problemas sentidos em todo o mundo, levando os setores produtivos a um maior gerenciamento dos recursos hídricos, tais como considerar o reúso da água, controlar perdas e desperdícios, diminuir o consumo e a produção de resíduos (BARROS et al., 2015).

Diante desse cenário, o cultivo protegido de hortaliças, que vem sendo desenvolvido em grande escala em sistema hidropônico, representa uma alternativa aos produtores que buscam por tecnologias de cultivo que garantam a sua produção causando menor impacto ao ambiente.

O sistema NFT (Nutrient Film Technique), é uma técnica de cultivo hidropônico que disponibiliza nutrientes às plantas por meio de uma fina lâmina de solução nutritiva adequada para atender as necessidades de cada espécie vegetal (BEZERRA NETO; BARRETO, 2012). Nas últimas décadas esse sistema vem apresentando grande crescimento por apresentar vantagens em relação ao cultivo no solo, como potencial para o uso eficiente de água e nutrientes (SANTOS et. al., 2013), menor exposição a fatores climáticos e problemas fitossanitários, maior produtividade e valor agregado ao produto, precocidade e melhor qualidade das plantas (BEZERRA NETO, 2016). Além do uso eficiente da água, pois reduz as perdas por evaporação, a hidroponia NFT pode reduzir ainda os riscos ambientais associados ao acúmulo de sais no ambiente (ALVES et al., 2011).

No entanto, alguns agricultores que utilizam a hidroponia no sistema NFT, manejam a solução nutritiva de forma a promover o seu total descarte após o consumo parcial dos nutrientes pelas plantas. Essa prática é necessária após um período de uso da solução nutritiva para restabelecer o seu equilíbrio nutricional, pois o produtor não dispõe de um método rápido e barato para analisar a quantidade de

nutrientes da sua solução e assim promover novamente o balanço nutricional por meio do complemento dos nutrientes que estão faltando.

Nesse contexto, o descarte de soluções nutritivas provenientes de sistemas de cultivos hidropônicos configura uma preocupação ambiental e econômica, sendo o assunto pouco explorado na literatura.

A solução nutritiva em sistemas hidropônicos de recirculação é periodicamente descartada para que haja um novo balanço nutricional ou quando há a ocorrência de doença (PARKER, 2002), mas a reutilização da solução nutritiva é um aspecto importante a ser considerado em sistemas de hidroponia, uma vez que a reposição de nutrientes proporciona a utilização da mesma solução nutritiva por vários ciclos da cultura e não impactam a produtividade (BACKES et al., 2003). Portanto, o descarte mínimo da solução nutritiva pode ser buscado mediante o ajuste periódico da sua composição, de forma a minimizar ou evitar a sua substituição ao longo do ciclo de crescimento e desenvolvimento da planta (GIMENEZ, 2008).

A reutilização da solução nutritiva possibilita a economia de fertilizantes, uma vez que o Brasil é grande importador desse insumo. Grande parte dos fertilizantes a base de nitrogênio, fósforo e potássio utilizados na agricultura brasileira são importados de outros países, tornando assim o país dependente de importações desses insumos e conseqüentemente dos preços praticados em dólar (VEGRO, 2018), sendo que em 2020 o Brasil importou mais de 80% dos fertilizantes utilizados na agricultura (Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos, 2021).

Entre 2017 e 2018 a frequência do consumo de salada crua passou de 16,0% para 21,4% segundo dados do Censo Agro 2017 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sendo a alface (*Lactuca sativa* L.) uma das cinco hortaliças com maior representatividade na comercialização efetuada nas centrais de abastecimento do país (BOLETIM HORTIGRANJEIRO, 2020). É a hortaliça folhosa mais consumida pela população, fonte de vitaminas e sais minerais (SILVA et al., 2011) e o seu valor está relacionado a facilidade de aquisição, baixo custo e produção durante todo o ano (OLIVEIRA et al., 2004).

Nesse contexto, informações práticas para os agricultores são necessárias para a busca do uso racional de nutrientes e água, tendo o presente trabalho o objetivo

de testar a hipótese de que a reposição de nutrientes proporciona o reúso de soluções nutritivas descartadas para o cultivo da alface.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi testar a hipótese de que a reposição de nutrientes proporciona o reúso das soluções nutritivas descartadas para a cultura da alface hidropônica.

2.2 Objetivos Específicos

- Construir uma curva de absorção de nutrientes ao longo do desenvolvimento da alface;
- Avaliar se houve redução do uso de fertilizantes químicos em soluções reaproveitadas quando comparado a soluções nutritivas renovadas;
- Aferir se há diferença na produtividade, nas massas fresca e seca e nutricionais entre as alfaces dos diferentes tratamentos;
- Avaliar se soluções nutritivas descartadas podem ser reutilizadas por meio do ajuste de nutrientes e garantir desempenho satisfatório comercial da cultura da alface.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Hidroponia

A hidroponia é a técnica de cultivo sem solo, na qual as plantas recebem nutrientes por meio de uma solução nutritiva balanceada para cada cultura.

Segundo Douglas, 2003, o início da hidroponia aconteceu através de estudos com o naturalista inglês John Woodward (1665-1728) que testou a hipótese de que as plantas eram compostas apenas de água, o que foi refutado. Ele observou que as plantas tinham um melhor desenvolvimento em águas que apresentavam substâncias dissolvidas, aquelas menos puras.

No século 19, o alemão Justus von Liebig propôs que as substâncias dissolvidas nas águas do experimento de Woodward, possivelmente essenciais para o desenvolvimento vegetal, eram os elementos químicos nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, silício, sódio e ferro (GUEDES, 2019)

Em torno de 1860 os botânicos alemães Julius von Sachs e Wilhelm Knop demonstraram, de forma independente, que as plantas poderiam ser cultivadas sem solo, somente com água e sais minerais dissolvidos, criando assim a primeira solução nutritiva (BATAGLIA, 2003). Ambos utilizaram amplamente essa técnica em estudos de fisiologia da nutrição mineral de plantas.

Conforme publicado por Guedes, 2019, no ano de 1929 o professor Willian Frederick Gericke, da Universidade da Califórnia, difundiu a hidroponia como cultivo comercial, a qual até então era utilizada apenas em cultivos experimentais e em 1935 os americanos estavam comercializando flores e hortaliças produzidas em hidroponia em grande escala, mas foi na II Guerra Mundial que a hidroponia ganhou importância, com a produção de alimentos por soldados americanos em ilhas do Pacífico.

Na década de 50 os pesquisadores Hoagland e Arnon, da Universidade da Califórnia, descreveram soluções nutritivas que ainda são utilizadas atualmente (BEZERRA NETO; BARRETO, 2000), mas contestaram algumas ideias sobre a hidroponia, inclusive a sua aplicação de forma comercial.

Segundo Guedes, 2019, nos anos 60 o pesquisador inglês Allen Cooper desenvolveu a Técnica do Filme de Nutrientes (NFT), na qual as plantas recebem uma

lâmina de água com nutrientes, por períodos de tempos. Devido a essa inovação houve uma expansão mundial da hidroponia comercial, e cerca de 20 anos mais tarde, no final dos anos 80, iniciou-se a hidroponia no Brasil ao redor da cidade de São Paulo, sendo a técnica trazida pelos produtores Shigueru Ueda e Takanori Sekine que já trabalhavam com essa tecnologia no Japão.

No Brasil a maior parte do cultivo da alface ainda é feita a campo aberto, o que torna a produção susceptível a perdas, principalmente no cultivo de verão. Devido a exigência dos mercados por produtos de maior qualidade e disponibilidade em quantidade regular, o setor produtivo vem se modernizando e adotando tanto variedades mais adaptadas às condições de cultivo, quanto técnicas mais modernas (SALA; COSTA, 2012).

Ainda segundo Sala; Costa (2012), o cultivo da alface em ambiente protegido vem crescendo entre os produtores a campo, principalmente devido a redução dos riscos de perda do produto no cultivo de verão, previsibilidade e constância da produção. Os autores estimam que na região de Ibiúna e Piedade-SP, pólo de grande importância na produção de alface, haja cerca de 300 hectares de cultivo hidropônico da cultura.

Acompanhando o crescimento do cultivo protegido está o cultivo hidropônico, o país vem se destacando mundialmente, tanto nos estudos quanto em áreas de cultivos em hidroponia, sendo que a maior produção nacional de hortaliças se concentra nos estados do Sul e Sudeste (VIÇOSI et al., 2018). Outra modalidade de cultivo que vem ocorrendo em grandes centros urbanos é a agricultura indoor, na qual a hidroponia é a principal técnica para a produção de alimentos, consolidando-se como um método revolucionário e sustentável (GUEDES, 2019).

Entre os sistemas hidropônicos, o mais utilizado para o cultivo de hortaliças folhosas é o NFT, no qual as raízes ficam apoiadas em canaletas inclinadas, as quais recebem uma lâmina de solução nutritiva de forma intermitente ou contínua (COSTA, et al., 2018). A solução fica armazenada em reservatórios de onde é bombeada por meio de moto bomba e é distribuída para o sistema através de canais de cultivo, circula pelas raízes e retorna ao reservatório por gravidade (RAIJ et al., 1997).

Quando comparada ao cultivo à campo, a hidroponia apresenta algumas vantagens, que segundo Bezerra Neto e Barreto (2012) são:

- maior produtividade e valor agregado ao produto,
- precocidade e melhor qualidade das plantas;

Sendo complementadas por Egídio e Levy (2013):

- melhor controle sobre a composição dos nutrientes fornecidos à cultura, facilitando os estudos de nutrição mineral de plantas;
- redução do ciclo da cultura;
- melhor utilização da água e fertilizantes, já que no cultivo protegido a evaporação é menor e quando se trata do cultivo NFT não há perda de nutrientes por lixiviação, pois a solução nutritiva retorna ao sistema;
- maior controle fitossanitário devido às barreiras físicas que dificultam a entradas de pragas e patógenos;
- redução de tratos culturais como aração, gradagem, coveamento entre outros, inexistentes no cultivo hidropônico;
- dispensa da rotação de cultura, pois ao final de cada ciclo da cultura a estrutura é desinfetada e a solução nutritiva é trocada;
- produção fora de época, visto que a hidroponia é quase sempre praticada em casas de vegetação onde há o controle dos fatores como chuvas, sol, temperatura e vento, dando condições ao cultivo.

3.2 Solução Nutritiva

Na hidroponia a solução nutritiva deve fornecer todos os nutrientes necessários para o desenvolvimento da planta, por isso uma solução balanceada aliada a condições ambientais favoráveis são necessárias para que a cultura complete o seu ciclo biológico.

De acordo com Taiz et al. (2017), a planta não completa o seu ciclo biológico na deficiência ou na falta de um elemento químico, podendo ocorrer anomalias no crescimento, no desenvolvimento ou na reprodução vegetal. O elemento deve fazer parte diretamente da nutrição da planta, seja constituindo a estrutura vegetal ou envolvido no metabolismo.

Os elementos essenciais ao desenvolvimento vegetal são nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), conhecidos como

macronutrientes devido a sua alta demanda pelas plantas, assim como boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), zinco (Zn) e níquel (Ni), conhecidos como micronutrientes devido a menor exigência pelas plantas. Além dos elementos citados, as plantas necessitam de carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), que diferentemente dos macro e micronutrientes, que são absorvidos pelas raízes, esses são incorporados pelas plantas através da água e ar atmosférico (FURLANI et al., 2009).

A absorção de nutrientes pelas hortaliças folhosas é pequena quando comparada a outras culturas, mas são consideradas exigentes nutricionalmente devido a seu ciclo curto (OLIVEIRA et al., 2004). Como referência da concentração de macronutrientes no tecido vegetal, Silva (2009) apresenta os seguintes valores para alface 30-50, 4-7, 50-80, 15-25, 4-6 g kg⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente.

No cultivo hidropônico é necessário que os elementos estejam em quantidade e relações adequados, pois a deficiência ou toxicidade de um determinado elemento se mostra rapidamente, diferentemente do solo que tem a característica de reter os nutrientes, enquanto que na solução nutritiva se apresentam disponíveis as plantas (HELBEL JUNIOR et al., 2007).

Não existe uma única solução nutritiva que atenda às exigências de todas as culturas, pois as plantas apresentam diferentes demandas por determinado nutriente. Por isso, a composição ideal de uma solução nutritiva deve levar em consideração a concentração de nutrientes, o tipo de sistema de produção, fatores ambientais (temperatura, umidade e luminosidade), época do ano (fotoperíodo), o estágio fenológico, a espécie e cultivar vegetal (FURLANI, 2009).

Entretanto, para que haja resultados satisfatórios no cultivo hidropônico de hortaliças, além da solução nutritiva adequada nutricionalmente a cada cultura é necessário que se tenha um manejo adequado desta solução, como o controle da condutividade elétrica, pH e oxigenação, bem como a vazão e o tempo que a solução é disponibilizada às plantas (FURLANI, 1999).

Para o preparo da solução nutritiva é necessário observar a presença de nutrientes e a salinidade na água a ser usada, para que essa não interfira no manejo da solução. Segundo Castellane e Araújo (1995), é necessário que a condutividade elétrica da água utilizada para o preparo da solução seja inferior a 0,5 dS m⁻¹. Para

Furlani et al. (2009), se as quantidades de macro e micronutrientes contidas na água de preparo da solução forem acima de 25 % e 50 % dos valores da fórmula, as quantidades de nutrientes a serem colocadas na água deverão ser ajustadas.

A concentração de sais na solução nutritiva é conhecida como condutividade elétrica (CE), esse parâmetro mostra a quantidade total de nutrientes presentes na solução, mas não fornece informações a respeito da quantidade individual de cada um deles e esta sofre pouco influência da concentração de micronutrientes (RESH, 1997).

Nos sistemas hidropônicos, é importante monitorar a CE por ela estar relacionada a concentração íons, esses por sua vez caracterizam o potencial osmótico da solução nutritiva, fazendo com que a planta absorva mais ou menos água e nutrientes, influenciando o acúmulo de matéria seca, a produtividade e distúrbios fisiológicos (PEREIRA et al., 2011).

A planta absorve mais água do que nutrientes, por isso a necessidade de reposição do volume absorvido. Quando não há a reposição de água na solução nutritiva ocorre um aumento da concentração de sais, reduzindo o potencial osmótico da solução e fazendo com que a planta tenha dificuldade em absorver água, principalmente nas horas mais quentes do dia (TAIZ et al., 2017). Quanto maior a condutividade elétrica de numa solução, menor é a capacidade dessa solução entrar nas raízes, e se o meio apresentar alta quantidade de sais dissolvidos, ocorre o inverso, a água passa a sair das raízes podendo levar a planta à morte (RODRIGUES, 2002).

Pesquisas mostram as faixas de condutividade elétrica em que as plantas de alface tiveram melhor desenvolvimento. Segundo Gondim et al. (2010), que avaliaram a influência de diferentes condutividades elétricas na produtividade da alface variedade BR 303, afirmam que a condutividade elétrica de $2,6 \text{ mS cm}^{-1}$ apresentou produção máxima de 1.277,35 g por planta; já Pinto et al. (2004), obtiveram melhores resultados de produção de biomassa da parte aérea em CE de $1,8 \text{ mS cm}^{-1}$, em plantas de alface cultivadas em substrato em diferentes CE e para Castellane e Araújo (1995), a CE recomendada para a produção hidropônica de alface está entre $1,5$ e $2,5 \text{ mS cm}^{-1}$.

Alguns autores defendem a necessidade da troca periódica da solução nutritiva baseando-se na condutividade elétrica. Segundo Resh (1997), a solução nutritiva deve ser completamente renovada a cada dois ou três meses, no máximo, e em casos em que não há o monitoramento dos elementos por meio de análises químicas semanais, a troca deve ser feita a cada duas ou três semanas. O ajuste semanal dos nutrientes, sem que haja a renovação da solução a cada duas ou três semanas, resultaria em economia de fertilizantes, água e mão-de-obra (BRACCINI et al., 1999).

No Brasil, horticultores manejam a solução nutritiva repondo os nutrientes que foram consumidos pelas plantas com base em leituras diárias da condutividade elétrica da solução após a reposição da água ao seu volume inicial no reservatório. Soluções nutritivas concentradas (ou soluções estoque) são adicionadas de acordo com a redução da CE, porém essa prática, ao longo do tempo, gera acúmulo de certos nutrientes devido a absorção desigual pela planta, causando assim desequilíbrio entre os nutrientes, dificultando a absorção de determinados elementos em função de altas concentrações de outros ou pela formação de precipitados (MELLO; SPAGNOL, 2016).

Alguns estudos que utilizaram o incremento nutricional entre as trocas de solução, mostraram que esta prática poderia levar ao excesso de nutrientes que são pouco absorvidos pelas plantas. Braccini et. al, 1999, observaram que reposições de nutrientes com soluções a 100% de concentração da solução nutritiva provocavam taxas crescentes da CE. Backes et al. (2003), com estudos de reposição de nutrientes durante cultivos de alface em hidroponia, constataram que a reposição de nutrientes deve ser feita quando a CE diminuir 50% da CE inicial, proporcionando a produção em pelo menos três cultivos sem que haja a troca da solução.

Para um melhor aproveitamento das soluções nutritivas sem que haja renovações constantes, curvas de absorção de nutrientes pelas plantas devem ser traçadas, elas determinam quanto e quando os fertilizantes devem ser adicionados sem que ocorra deficiência de nutrientes na cultura (BRACCINI et. al, 1999). Asher e Blarney (1987), testaram a metodologia da adição de nutrientes para complementar a solução nutritiva baseando-se na curva de crescimento da planta, fazendo pequenas adições de nutrientes frequentemente, para que haja fornecimento constante de nutrientes de acordo com a necessidade da planta.

Do ponto de vista econômico, o melhor cenário para o produtor é uma solução nutritiva que atenda as demandas nutricionais da cultura, com menor concentração de sais (menor condutividade elétrica), pois o custo dos fertilizantes utilizados na hidroponia é alto e aumenta o custo da produção (HELBEL JUNIOR et al., 2007).

Além do acompanhamento da CE para o manejo da solução nutritiva, outro parâmetro importante a ser monitorado durante o cultivo hidropônico é o pH. As soluções nutritivas não têm capacidade tampão, por isso a variação no pH é constante e necessita de ajustes para se manter dentro de uma faixa ideal, que de maneira geral, para o desenvolvimento satisfatório da cultura, está entre 5,5 e 6,5, valores abaixo ou acima dessa faixa podem ter efeito negativo sobre o desenvolvimento das plantas, causando lesões nas células da raiz e/ou redução na disponibilidade de nutrientes às plantas (MELLO; SPAGNOL, 2016). Para Furlani et al. (1999), os valores de pH entre 4,5 e 7,5 são considerados bons para o desenvolvimento vegetal. Quando necessário, ácidos ou bases podem ser utilizados para diminuir ou aumentar o pH da solução.

A oxigenação da solução nutritiva é imprescindível para o desenvolvimento das raízes da planta, a falta de O₂ dissolvido poderia levá-las à morte. Desta forma, é essencial que se proporcione a agitação da solução, por meio da injeção de ar comprimido no reservatório ou de instrumento no retorno do sistema hidropônico, que além de promover a aeração da solução, também propicia a mistura dos fertilizantes (MELLO; SPAGNOL, 2016).

E ainda, para que a eficiência do sistema seja alcançada, a vazão e o tempo de irrigação são fatores importantes para o desenvolvimento satisfatório da cultura, uma vez que são responsáveis pela condução de nutrientes, água e oxigênio a cultura, (RODRIGUES, 2002). Na maioria dos sistemas hidropônicos a vazão utilizada é de 1,5 a 2,0 litros por minuto, buscando economia na produção de alface com qualidade nutricional.

3.3 A Cultura da alface

A alface, *Lactuca sativa* L., pertence à família Asteraceae, tem seu centro de origem na Ásia e chegou ao Brasil através dos Portugueses no século XVI (DEMARTELAERE et al., 2020). É uma planta herbácea, de caule reduzido no qual

estão inseridas as folhas que podem ser lisas ou crespas podendo formar cabeça ou não. Dependendo da variedade têm coloração do verde-amarelado ao verde escuro podendo chegar ao roxo. Possui raízes do tipo pivotante, com ramificações delicadas, finas e curtas, que exploram superficialmente o solo. É uma planta anual, que floresce sob dias longos e altas temperaturas e vegeta preferencialmente em condições de dia curto e temperaturas amenas (FILGUEIRA, 2008).

Rica em vitaminas, principalmente A e C, e minerais, a alface é depurativa, diurética e indicada contra a insônia (AGUIAR et al., 2014). Ainda possui as vitaminas B1 e B2, além de cálcio e ferro (CAMARGO, 1992).

A alface é uma cultura originalmente de clima temperado, tem um bom desenvolvimento em temperaturas mais amenas, entre 15 e 25 °C, temperaturas mais altas aceleram o ciclo levando ao pendoamento precoce (HENZ; SUINAGA, 2009), comprometendo a produção e fazendo com que as folhas fiquem menos tenras e amargas devido ao acúmulo de látex (ABAURRE et al., 2003).

Cada vez mais o produtor de alface vem buscando melhorar a sua produtividade por meio de cultivares melhoradas. A cultivar Milena apresenta boa adaptação a diferentes condições climáticas, possui moderada resistência ao Vira-cabeça, alta resistência ao *Pythium*, ao pendoamento precoce e ao *Tip Burn* (deficiência de cálcio), possibilitando o plantio dessa variedade o ano todo e em todas as regiões do país. Além das características de resistência, essa variedade possui sistema radicular vigoroso e um ciclo de aproximadamente 55 dias. Apresenta grande porte, folhas compridas, média crespicidade e coloração verde escura brilhante

3.4 A hidroponia NFT e os riscos ambientais

Define-se por impacto ambiental:

[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota,

as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 2002).

Apesar do sistema hidropônico NFT reduzir as perdas de água e nutrientes para o meio ambiente, pois a solução nutritiva é recirculada em um sistema fechado, alguns produtores têm a necessidade de trocar a solução nutritiva depois de um período de uso. O descarte, por vezes, é feito diretamente no solo, podendo ocasionar a poluição do ambiente, já que essas soluções descartadas ainda possuem nutrientes. As soluções descartadas nas trocas periódicas possuem entre 20 e 40% dos fertilizantes utilizados para a sua composição, as quais usualmente são lançadas no solo ou escorrem para os rios (MORARD, 2008).

O descarte de águas salinas no ambiente causa mudanças físico-químicas no solo (RHOADES et al., 1992), reduz o potencial osmótico da solução do solo, diminui a disponibilidade de água e aumenta a concentração de íons que se tornam tóxicos às plantas (BERNARDO, 1996). Segundo Testezlaf (2017), quando se aplica excessivas quantidades de água e sais de forma localizada no solo, há conseqüentemente a ocorrência de lixiviação de nutrientes, podendo ocasionar a contaminação de águas superficiais e subterrâneas.

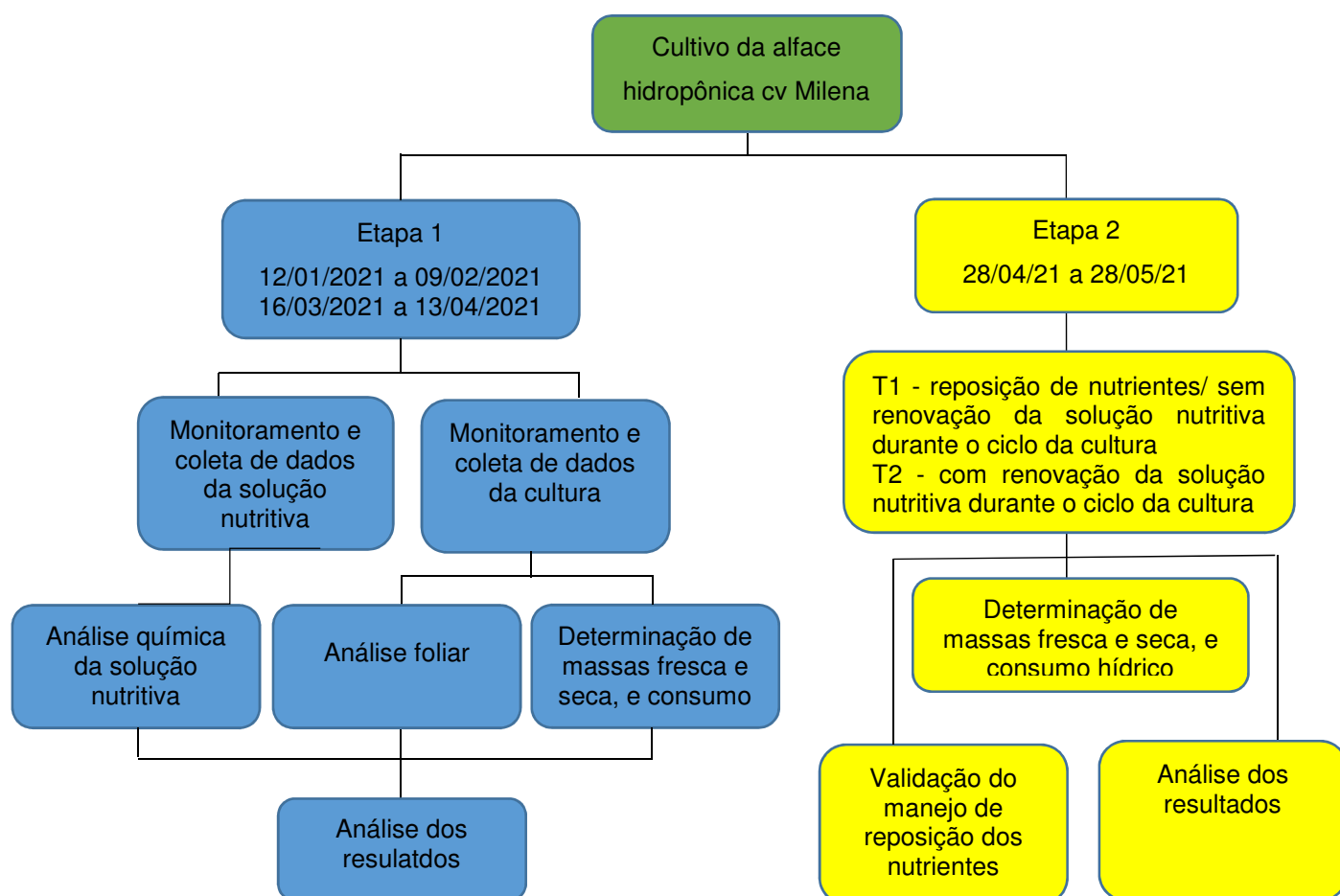
Esses efluentes são compostos por nitratos, nitritos, amônia, fosfatos, sulfato, Fe, Mn, Cu, Zn entre outros, que quando descartados no ambiente sem tratamento prévio, poderão causar problemas ambientais, como a eutrofização dos ambientes aquáticos (SILVA, 2006). Segundo os autores Ricklefs (2003) e Bertoldi et al. (2007), tal acontecimento é decorrente do excesso de nutrientes como N e P nos corpos d'água, podendo resultar no excessivo desenvolvimento de algas e macrófitas aquáticas que absorvem o oxigênio da água e provocam a morte de muitas plantas e animais desse ecossistema.

Mello e Spagnol (2016), afirmam que a solução nutritiva a ser descartada pode ser reaproveitada em outras áreas de produção comercial para evitar o desperdício de água e de nutrientes e a contaminação do ambiente, mas segundo Pardossi et al. (2002), a reciclagem e reutilização das soluções é uma técnica que vem sendo empregada em outros países para reduzir o descarte no ambiente.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para facilitar o entendimento do trabalho, foi criado um fluxograma com as atividades desenvolvidas em cada etapa da pesquisa (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma representativo do processo de trabalho



4.1 Estrutura do experimento

O experimento foi conduzido em estufa agrícola do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental (DRNPA) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) – Campus Araras/SP, cuja latitude é 22°18′53,23″S e longitude 47°23′00,91″O.

O clima da região é caracterizado por duas estações bem definidas, uma seca com temperaturas amenas (abril a setembro) e outra chuvosa com temperaturas mais altas (outubro a março); recebe a classificação “Cwa” por Köppen, tendo a média

anual de temperatura e pluviosidade entre 21 °C e 1400 mm, respectivamente (VALADARES et al., 2008). Os valores de temperatura e umidade foram registrados por uma estação meteorológica instalada no interior da estufa agrícola durante a condução do experimento.

O método de cultivo foi o hidropônico em sistema NFT (Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes) (MARTINEZ, 2006).

O estudo foi desenvolvido em estufa modelo Poly House - "em arcos", com as seguintes dimensões 6,4 x 20,0 x 3,5 m (Largura x Comprimento x Altura), com cobertura de filme polietileno transparente, com tratamento contra raios ultravioleta e fechamentos laterais com tela branca tipo sombrite (Figura 2).

A estrutura experimental contou com oito bancadas, compostas por quatro canais de polipropileno de 75 mm e 3,0 m de comprimento cada. Cada bancada com capacidade para 48 plantas, sendo 12 plantas por perfil, considerando a parcela útil as 18 plantas centrais (Figura 3).

Os canais tinham orifícios na parte superior, onde foram alocadas as plantas do ensaio e aberturas nas duas extremidades que permitiram o fluxo da solução nutritiva. Os espaçamentos eram de 0,30 m entre perfis, 0,25 m entre plantas e 0,70 m entre as bancadas (Figura 4).

Figura 2. Estrutura do experimento: casa de vegetação com sistema de produção hidropônico NFT



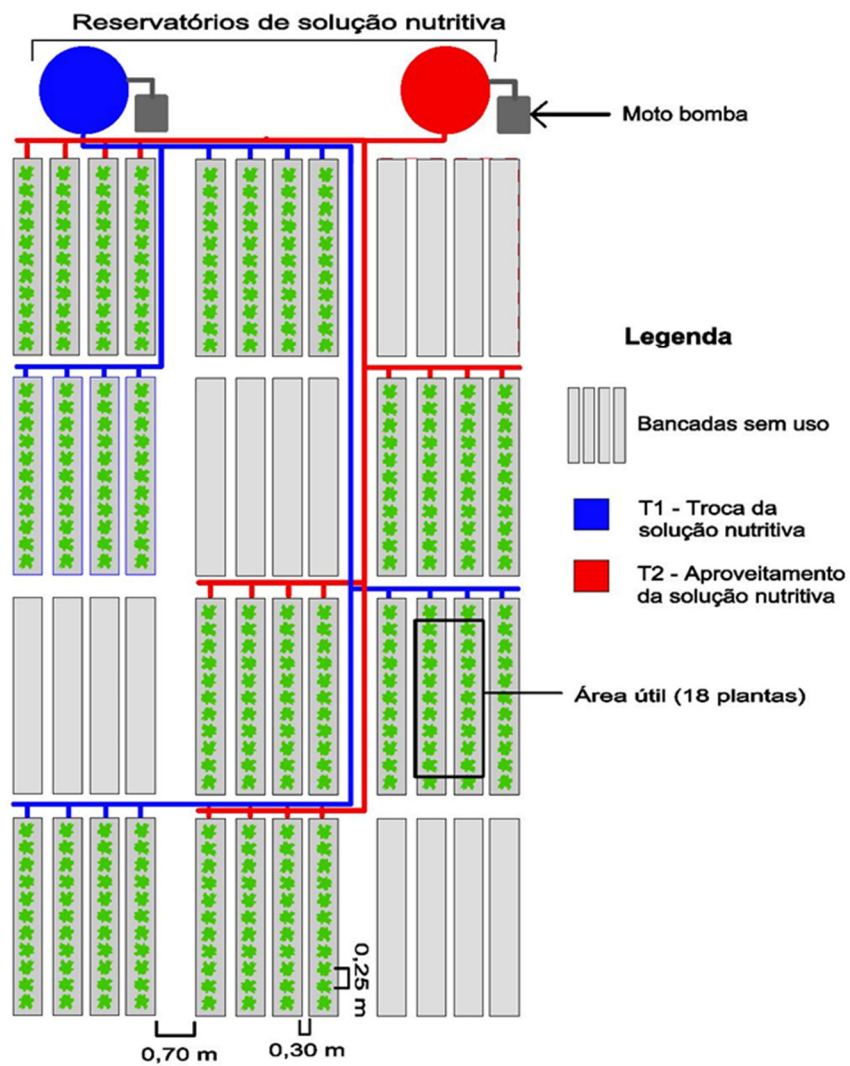
Fonte: Arquivo pessoal

Figura 3. Detalhe interno da estufa com bancadas compostas por perfis de PVC



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 4. Esquema da estrutura do sistema hidropônico e distribuição dos tratamentos



Fonte: própria

A cultura escolhida foi a alface cultivar Milena do segmento crespa. As mudas foram adquiridas aos 35 dias após a semeadura (DAS) (Figura 5), em bandejas de células de 20 cm³, chamadas de “mudões” e foram transplantadas diretamente para a fase definitiva.

Figura 5. Mudas de alface cv Milena aos 35 dias após a semeadura (DAS). Detalhe do torrão e raízes bem desenvolvidas



Fonte: arquivo pessoal

A solução nutritiva foi armazenada em dois reservatórios de 500 L, fechados por tampas, sendo bombeada por meio de moto bombas e distribuída por tubulações até a parte mais alta do sistema. As bancadas possuíam declividade de 10%, o que permitia o retorno da solução nutritiva por gravidade até os reservatórios de armazenamento. A vazão em cada perfil foi em média de 1,5 L min⁻¹, conforme recomendado por Martinez e Silva Filho (2004).

O sistema de bombeamento da solução nutritiva foi controlado por temporizador que acionava a moto bomba em intervalos regulares, mantendo o fluxo de solução intermitente, ligando a cada 15 minutos no período diurno (6-18 h) e 15 minutos a cada 1 hora no período noturno.

Os reservatórios possuíam um sistema de aeração para garantir a oxigenação da solução nutritiva, fator importante no sistema hidropônico NFT para que se garanta a oxigenação das raízes (MARTINEZ; CLEMENTE, 2011). Esse sistema era um tubo

de PVC de 32 mm de diâmetro, 40 cm de comprimento e perfurações de 0,6 cm a cada 8 cm e ficava no retorno do sistema dentro dos reservatórios (Figura 6).

Figura 6. Sistema de aeração no retorno do sistema, dentro do reservatório



Fonte: arquivo pessoal

O estudo foi realizado em duas etapas, sendo a Etapa 1 o monitoramento, coleta dos dados e proposição de manejo da reposição de nutrientes e a Etapa 2 a validação do manejo de reposição proposto.

A Etapa 1 teve início em 19/10/2019 com dois cultivos piloto para ajuste do sistema e observação do desenvolvimento da cultura, sendo assim os dados obtidos não foram utilizados como base para a proposição de manejo de reposição dos nutrientes. Entre 12/01/2021 e 13/04/2021 foram realizadas três repetições do cultivo que geraram os dados utilizados para a reposição dos nutrientes. A Etapa 2 aconteceu de 28/04/2021 a 28/05/2021, na qual foi realizado somente um cultivo.

4.2 Solução nutritiva

O preparo da solução nutritiva foi realizado de acordo com as recomendações para a cultura da alface adaptada de Furlani et al. (1999) (Tabela 1). A solução foi

preparada em dois reservatórios na quantidade de 350 L cada, dissolvendo-se cada sal separadamente em um balde antes de ser adicionado ao reservatório, a fim de se evitar a formação de precipitados (CARVALHO et al., 2018).

Logo após a preparação da solução nutritiva, foi feito o transplante das mudas de alface para os perfis hidropônicos.

Tabela 1. Solução nutritiva adaptada de Furlani et al. (1999) para o cultivo de alface

Fertilizante	Fórmula Química	Concentração (g 1000 L ⁻¹)
Nitrato de cálcio	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	500
Nitrato de potássio	KNO ₃	500
Sulfato de magnésio	MgSO ₄ .7H ₂ O	350
Fosfato monoamônico (MAP)	NH ₄ H ₂ PO ₄	100
Conmicros Standard		20
B		
Cu EDTA		
Fe EDTA		
Mn EDTA		
Mo		
Zn EDTA		

Condutividade elétrica (CE) = 1,6 dS m⁻¹

Fonte: Furlani et al. (1999)

Acompanhou-se diariamente, por meio de medições, os valores de pH e condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva para proporcionar um meio adequado ao desenvolvimento das plantas e através do qual seria possível o ajuste destes dois parâmetros (MARTINEZ, 2002).

4.3 Etapa 1

4.3.1 Monitoramento e coleta dos dados da solução nutritiva

Na Etapa 1 do experimento foram analisados semanalmente os macronutrientes presentes na solução nutritiva, foram determinados os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

O nitrogênio total foi determinado no analisador TOC-LCPN SHIMADZU¹; o fósforo total pelo método de ácido vanadomolibdofosfórico com leitura por onda de 440 nm de comprimento; o potássio foi quantificado utilizando espectrofotômetro de chama Digimed1, modelo DM-62; o cálcio foi analisado em espectrofotômetro de absorção atômica e o magnésio em espectrofotômetro de bancada modelo Íris-HI801 do fabricante HANNA.

No primeiro dia do experimento, 0 dias após o transplante (DAT), preparamos a solução nutritiva e coletamos amostras dessa solução (solução inicial) em ambos os reservatórios. Após sete dias (7 DAT) coletamos novamente amostras dessa solução que logo em seguida foi descartada (solução descarte). No mesmo dia, uma nova solução nutritiva foi preparada (solução inicial), e o procedimento de coleta de amostras, descarte de solução e preparação de uma nova solução nutritiva se seguiram semanalmente até os 28 DAT. As amostras de ambos os reservatórios eram coletadas em triplicatas no volume de 0,3 L, estas foram armazenadas em geladeira no Laboratório de Física do Solo e Qualidade da Água do CCA até o fim do experimento, quando foram analisadas.

Realizamos esse procedimento de renovação da solução nutritiva até o final do ciclo da cultura para garantir o balanço de nutrientes da solução. As amostras coletadas foram caracterizadas por meio de análises químicas para determinação dos macronutrientes.

4.3.2 Monitoramento e coleta dos dados da cultura

4.3.2.1 Análise foliar e consumo de água pela alface

Na Etapa 1 do experimento foram também analisados o consumo de nutrientes e água pela alface durante o ciclo da cultura.

Determinamos a marcha de absorção de macronutrientes da alface caracterizando os nutrientes presentes na planta por meio da amostragem da parte aérea. Coletamos, aleatoriamente, quatro plantas de bancadas distintas, utilizando somente a área útil de cada uma delas, homogeneizamos as amostras em proporções iguais, compondo assim uma amostra composta por repetição.

As coletas das plantas para a caracterização dos macronutrientes foram feitas aos 0, 7, 14, 21, 28 dias após o transplante (DAT). Após a separação da parte aérea das raízes, as folhas foram secas em estufa de circulação de ar forçado a 70 °C até atingirem peso constante e foram encaminhadas ao Laboratório de Análise Química de Solos e Planta do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental (DRNPA) do Centro de Ciências Agrárias - UFSCar. Foram analisados os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), segundo a metodologia de Carmo et al. (2000).

O consumo de água pela cultura foi obtido a partir de medições de volumes semanais dos reservatórios e com os resultados foi possível determinar o consumo diário de solução nutritiva por planta.

4.3.2.2 Determinação de massa fresca e seca da alface

Para determinarmos as massas fresca e seca da parte aérea da alface, utilizamos as mesmas amostras de plantas coletadas para a análise foliar, a amostragem ocorreu no período da manhã para evitar variações na umidade das amostras. Após a coleta, as amostras foram levadas para o Laboratório de Física do Solo e Qualidade da Água do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental (DRNPA) do Centro de Ciências Agrárias - UFSCar, onde a parte aérea foi separada das raízes e logo em seguida pesadas. Após a pesagem da massa fresca,

as amostras foram armazenadas em sacos de papel e levadas para estufa com circulação forçada de ar a 70 °C até atingirem peso constante para a determinação da massa seca (SILVA, 2009).

Aos 28 DAT fizemos a colheita de todas as plantas de alface da área útil para contabilizar a produção.

A produtividade média foi calculada pelo peso médio das plantas da área útil, extrapolando esse valor para todas as plantas da bancada. O peso total foi dividido pela área da bancada, obtendo assim a produção da cultura por área.

Trabalhamos com 44 plantas por bancada, 176 plantas por reservatório, totalizando 352 plantas nos dois reservatórios.

4.3.3 Forma de análise dos resultados da Etapa 1

Foi observado aumento na concentração de nutrientes das soluções descarte em relação as soluções iniciais, pois os reservatórios não recebiam complemento de água até volume inicial de 350 L e para corrigir esse erro foi necessário que se fizesse um ajuste matemático. Com os resultados da concentração de nutrientes (mg L^{-1}) na solução nutritiva descarte foi possível calcular a quantidade total de nutrientes presentes nesta solução, pois eram feitas leituras de volume antes de descartá-las. Depois de calculado a quantidade total de cada nutriente na solução nutritiva descarte, foi calculado a quantidade de nutrientes em 350 L, que era o volume inicial de solução, obtendo assim a quantidade real de nutrientes absorvidos pelas plantas.

O cálculo realizado foi o seguinte:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Concentração do nutriente} \\ \text{na solução descarte} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} \text{Volume da} \\ \text{solução descarte} \end{array} \right) / \left(\begin{array}{c} \text{Volume da} \\ \text{solução inicial} \end{array} \right)$$

A proposição de reposição de nutrientes da solução nutritiva foi baseada na diferença entre os resultados das análises químicas das soluções iniciais e descartadas ajustadas, segundo o cálculo:

$$RN = \text{quantidade de nutrientes SNI} - \text{quantidade de nutrientes SND}$$

Onde:

RN - reposição de nutrientes;

SNI - solução nutritiva inicial;

SND - solução nutritiva descarte ajustada.

Os resultados das quantidades de nutrientes absorvidos da solução nutritiva e massa fresca e seca total da parte aérea das amostras obtidos na Etapa 1, das três repetições do cultivo, foram submetidos ao teste estatístico T ao nível de 5% de significância, assim havendo diferença entre os dados obtidos em algum cultivo, este não seria utilizado na Etapa 2. Os valores de pH e condutividade elétrica foram apresentados como médias dos três cultivos.

4.4 Etapa 2

4.4.1 Validação da proposição de manejo - reposição de nutrientes

Nesta etapa foram testados dois tratamentos, conduzidos na mesma estrutura da Etapa 1. Foram validados os dados de consumo de nutrientes pelas plantas coletados na Etapa 1, com a proposição de reposição de nutrientes na solução nutritiva na Etapa 2. O manejo de reposição de fertilizantes foi baseado na diferença entre as quantidades de nutrientes presentes nas soluções iniciais e as quantidades de nutrientes presentes nas soluções descarte ao final de sete dias, até 28 DAT.

No tratamento 1 (T1 - com reposição de nutrientes e sem renovação da solução nutritiva durante o ciclo da cultura), seguimos o método de reposição de nutrientes com base nos dados obtidos na Etapa 1, semanalmente. No tratamento 2 (T2 - com renovação da solução nutritiva), a renovação da solução foi realizada semanalmente, de acordo com o procedimento realizado na Etapa.

Para os cálculos das quantidades de sais a serem repostos no T1, foram utilizados os valores da diferença entre as quantidades de nutrientes da solução nutritiva inicial e descarte da Etapa 1, assim obtendo a quantidade de nutrientes absorvidos pela planta, como já dito anteriormente. Os valores foram obtidos em concentração de nutrientes (mg L^{-1}) e depois transformados em quantidades de sais

(nitrato de cálcio, nitrato de potássio, sulfato de magnésio, fosfato monoamônico e Conmicros).

A reposição dos macronutrientes foi feita diretamente seguindo os resultados das análises químicas das soluções nutritivas; para a reposição dos micronutrientes foi calculada a média de consumo semanal de macronutrientes, em porcentagem, que foi utilizada como base para o cálculo de reposição, já que esses não foram analisados. O volume de solução também foi considerado para o ajuste dos nutrientes, levando em conta a quantidade de solução restante no reservatório e a quantidade de água evapotranspirada.

As mudas de alface utilizadas no experimento foram transplantadas para os perfis aos 37 DAS. A preparação da solução nutritiva e acompanhamento dos valores de pH e CE da solução foram realizadas de acordo com o descrito na Etapa 1.

Para as análises foliar e de massas fresca e seca desta etapa, dividimos as áreas úteis das bancadas em duas subparcelas, nas quais tiveram todas as plantas coletadas, ou seja, nove subamostras por bancada totalizando assim 18 plantas por bancada e 72 amostras por tratamento, ao final do ciclo da cultura aos 30 DAT.

Nessa etapa trabalhamos com 176 plantas por tratamento, distribuídas em quatro bancadas, totalizando 352 plantas. O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados.

4.4.2 Forma de análise dos resultados da Etapa 2

Na Etapa 2 foram comparadas as médias das quantidades de nutrientes absorvidos pelas plantas e de pesos fresco e seco obtidos em T1 e T2, esses dados foram submetidos ao teste estatístico T ao nível de 5% de significância, a fim de verificar se os tratamentos apresentaram diferenças significativas nas variáveis estudadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Etapa 1

Os resultados apresentados são as médias dos três cultivos que foram realizados de 12/01/2021 a 09/02/2021 (com duas repetições do cultivo) e de 16/03/2021 a 13/04/2021 (um cultivo).

5.1.1 Análise da Solução Nutritiva

As médias dos resultados do monitoramento diário do pH são mostrados na Figura 7 e da condutividade elétrica na Figura 8, assim como as médias e os desvios padrão do pH e da condutividade elétrica estão descritos na Tabela 2.

Figura 7. Média dos valores do monitoramento diário do pH da solução nutritiva nas três repetições do cultivo

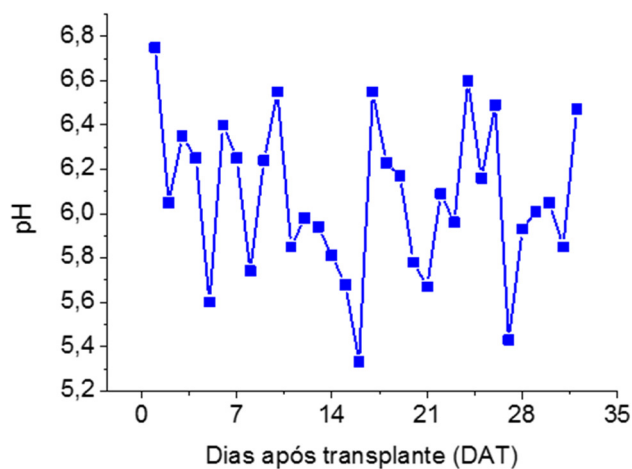


Figura 8. Média dos valores do monitoramento diário da condutividade elétrica da solução nutritiva nas três repetições do cultivo

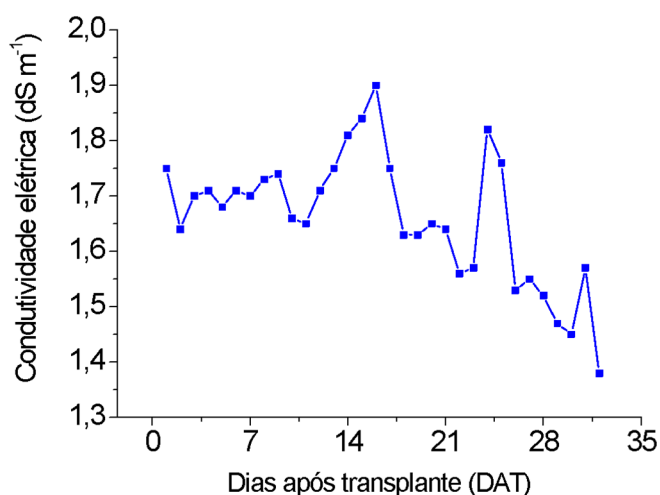


Tabela 2. Médias e desvios padrão de pH e condutividade elétrica nas três repetições do cultivo

Parâmetros	Média	Desvio padrão
pH	6,07	0,35
CE (dS m ⁻¹)	1,66	0,12

O valor do pH das soluções nutritivas nos dois reservatórios oscilou durante todo o experimento em campo, comportamento esperado, pois a solução não apresenta capacidade tampão (BACKES et al., 2004). Foram observados sucessivos aumentos neste parâmetro e para que menores valores fossem alcançados, foi adicionado ácido ortofosfórico, recomendado por Martinez (2006), tomando-se o cuidado de considerar as quantias de fósforo fornecidas por ele. Os valores de pH foram mantidos entre 5,45 e 6,75 nos dois reservatórios.

Para Castellane e Araújo (1995), a planta tem um melhor desenvolvimento na faixa de pH entre 6,0 a 6,5, pHs mais altos podem ocasionar precipitações na solução indisponibilizando elementos essenciais, principalmente cálcio, fósforo, ferro e manganês, acarretando assim um menor crescimento da planta.

A condutividade elétrica média dos dois reservatórios ficou dentro do recomendado para o cultivo de alface em hidroponia durante todo o experimento. Os valores se encontram entre 1,5 e 1,8 dS m⁻¹, estando dentro da faixa recomendada por Castellane e Araújo, 1995, de 1,5 a 2,5 dS m⁻¹, referência utilizada para

acompanhamento da CE, e por Resh (1997) o qual sugere que a CE esteja entre 1,5 e 2,0 dS m⁻¹. Furlani et al. (1999), propõe solução nutritiva com CE em torno de 2,0 dS m⁻¹ para hortaliças de folhas.

O comportamento observado com relação a CE foi que de 0 a 7 dias após o transplante (DAT) esse parâmetro manteve-se praticamente constante, e a absorção de solução nutritiva foi baixa se comparado ao consumo em outros estádios fenológicos da planta, isso porque no início do ciclo as plantas folhosas absorvem pouca água e conseqüentemente poucos nutrientes, devido ao seu tamanho reduzido.

De 7 a 21 DAT os valores da condutividade elétrica aumentaram dentro dos períodos de troca das soluções nutritivas. Isso mostra a alta demanda por água pela planta, o que segundo Furlani (2009) concentra a solução, pois a planta absorve mais água do que nutrientes; além do que os volumes de água dos reservatórios não eram repostos nos períodos entre as trocas de solução nutritiva, ocasionando a concentração dos nutrientes. Cuba et al. (2015), também observaram aumento da CE da solução nutritiva em trabalho com água de reúso para o cultivo de alface, no período do verão, e apontam que o maior consumo de água pelas plantas está relacionado aos fatores climáticos e a evapotranspiração.

De 21 a 28 DAT a condutividade elétrica apresentou um comportamento inverso, os valores diminuíram entre a renovação da solução e o encerramento do ciclo da cultura, provavelmente devido à alta demanda por água e nutrientes que a planta apresenta no final do seu ciclo.

5.1.2 Análise Química da Solução Nutritiva

A média dos resultados das análises químicas da solução nutritiva estão apresentados nas Figura 9 e 10. Os dados foram agrupados por semana, considerando a preparação da solução e o seu descarte.

De acordo com o teste estatístico T ao nível de 5% de significância, não houve diferença significativa das quantidades de nutrientes entre os três cultivos, com *p-valor* equivalente a 0,964455 para o nitrogênio, 0,974213 para o fosforo, 0,754058 para potássio, 0,981548 para cálcio e 0,946327 para o magnésio.

Figura 9. Média dos resultados da análise química da solução nutritiva inicial e descarte ajustada ao final de cada semana, nas três repetições do cultivo

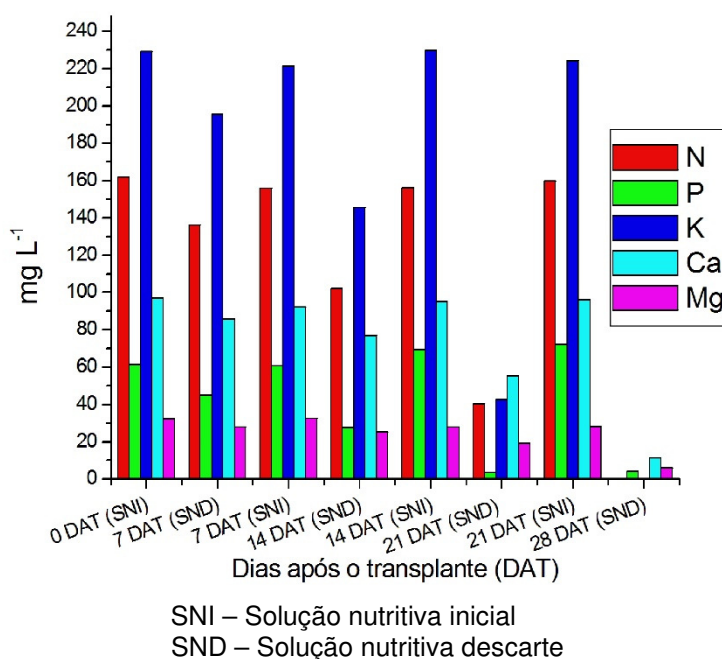
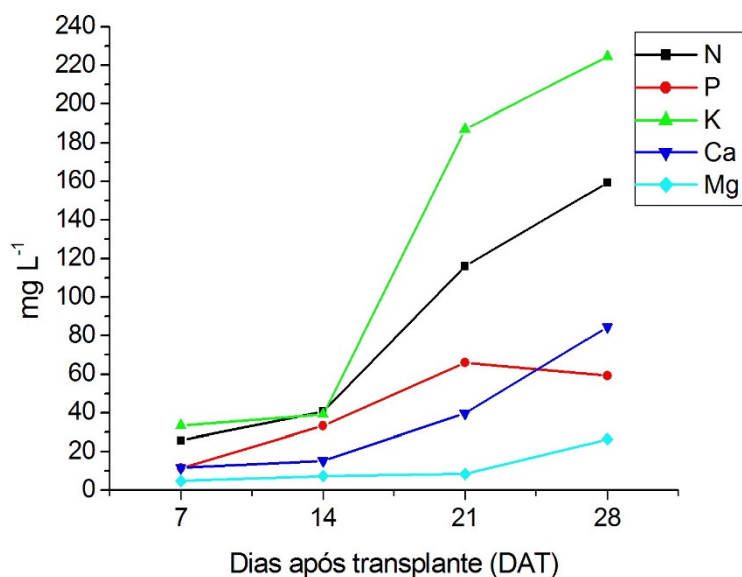


Figura 10. Valor médio das quantidades de macronutrientes absorvidos da solução nutritiva pelas plantas nas três repetições do cultivo



Pelas Figuras 9 e 10 é possível observar o comportamento dos nutrientes nas soluções nutritivas durante os três ciclos da alface.

A concentração do nitrogênio na solução nutritiva diminuiu gradativamente até chegar próximo a zero ($0,3 \text{ mg L}^{-1}$) aos 28 dias após o transplante (DAT), mostrando que o nutriente é constantemente exportado durante todo o ciclo da cultura. A exportação de N entre 0 e 7 DAT foi de 7,54 % do total exportado; 11,86 % entre 7 e 14 DAT; 33,94 % entre 14 e 21 DAT e 46,66 % entre 21 e 28 DAT. Segundo Heinen et al. (1991), o N é o nutriente que mais apresenta diferença entre redução de sua quantidade na solução nutritiva e quantidade absorvida pelas plantas, podendo ser explicado pela desnitrificação e ou imobilização do mesmo.

Com relação ao fósforo, a concentração desse nutriente na solução apresentou redução até 21 DAT, após esse período, de 21 a 28 DAT, a concentração permaneceu praticamente constante. Entre 0 e 7 DAT a exportação de P foi 6,74 % do total consumido pela planta, de 7 a 14 DAT foi de 19,58 %; de 14 a 21 DAT foi de 38,78 % e de 21 a 28 DAT foi de 34,88 %.

O potássio foi o nutriente mais exportado da solução nutritiva, sendo o período entre 21 e 28 DAT o de maior expressão, acompanhado do período de 14 a 21 DAT que também apresentou grande exportação desse elemento, sendo 6,91 % do nutriente total exportado entre 0 e 7 DAT; 8,08 % entre 7 e 14 DAT; 38,65 entre 14 e 21 DAT e 46,35 % entre 21 e 28 DAT.

O cálcio apresentou aumento de exportação entre 7 e 14 DAT, apresentando acentuado aumento entre 14 e 28 DAT. Entre 0 e 7 DAT observou-se 7,66 % da exportação total de nutrientes, entre 7 e 14 DAT 10,15 %, entre 14 e 21 DAT 26,31 % e entre 21 e 28 DAT 55,87 %.

A exportação de magnésio se apresentou baixa e constante até os 21 DAT (10,23 % de 0 a 7 DAT; 15,64 % de 7 a 14 DAT e 18,17 % de 14 a 21 DAT), aumentando no período entre 21 e 28 DAT (22,95 %).

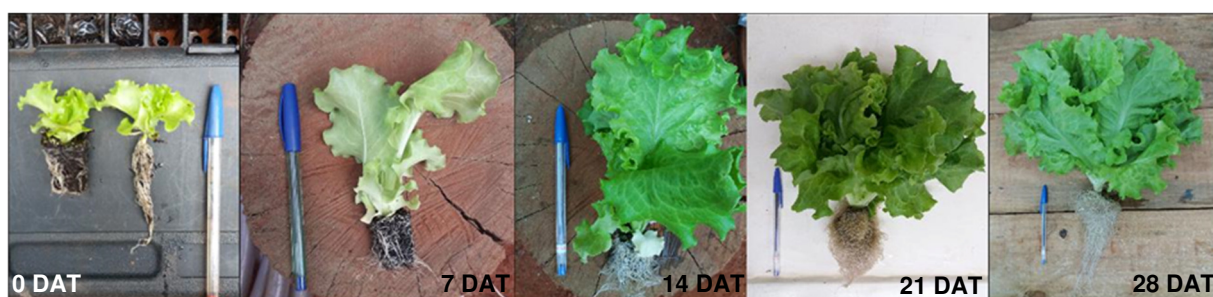
De acordo com o teste estatístico T ao nível de 5% de significância, não houve diferença significativa entre as quantidades de macronutrientes absorvidos da solução nutritiva, com *p-valor* equivalente a 0,964455; 0,974213; 0,754058; 0,981548 e 0,946327, respectivamente para N, P, K, Ca e Mg, portanto, os resultados médios de consumo de nutrientes ao longo dos três cultivos puderam ser utilizados para determinar a quantidade de nutrientes a ser repostos na Etapa 2.

5.1.3 Análise Foliar da Alface

Durante a condução do experimento não foram visualizados sintomas de deficiência de nutrientes, bem como de toxicidade, as plantas tiveram um desenvolvimento adequado agrônomo e comercialmente (Figura 11).

Devido a seu ciclo curto, a alface é uma cultura muito exigente em nutrientes e a deficiência de algum deles seria facilmente identificada visualmente, como queimas, mal desenvolvimento ou distorção da planta e coloração anormal (Meirelles et al., 2017; Santos et al., 2020).

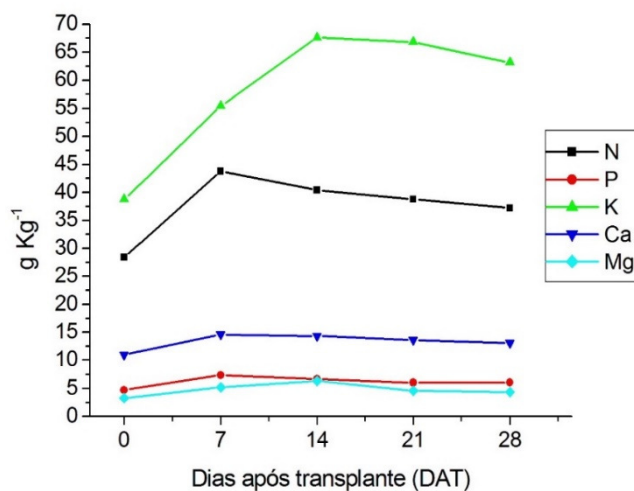
Figura 11. Desenvolvimento das plantas de alface colhidas semanalmente aos 0, 7, 14, 21 e 28 DAT, no período de 12/01 a 09/02/2021.



Arquivo: pessoal

Os resultados médios obtidos da análise foliar (Figura 12), em duas repetições do cultivo (período de 12/01 a 09/02/2021), foram comparados as faixas de valores de macronutrientes adequados a cultura da alface segundo Raij et al. (1997).

Figura 12. Resultados da análise foliar de macronutrientes na matéria seca de alface cv. Milena no período de 12/01 a 09/02/2021.



Com os resultados das análises foliares foi observado a seguinte ordem de absorção de nutrientes, em ordem decrescente, $K > N > Ca > P > Mg$, resultado que corrobora os dados obtidos por Fernandes et al. (2002) com as cultivares de alface Regina, Babá de Verão (lisas e repolhudas) e Grandes Lagos (americana) e Gondim et al. (2010), com a cultivar Brasil 303 (lisa e repolhuda), em experimentos com alface hidropônica cultivadas no outono e Benini et al. (2005), com a cv. Verônica (crespa), cujo trabalho foi realizado com alface nos sistemas hidropônico e convencional, conduzidos no período outono/ inverno.

O potássio foi o nutriente de maior absorção pelas plantas, apresentou teores foliares crescentes entre 0 e 14 DAT e se manteve constante até 28 DAT ($63,17 \text{ g Kg}^{-1}$ planta), segundo Raij et al. (1997) os teores adequados desse nutriente nas folhas de alface está entre $50-80 \text{ g Kg}^{-1}$ planta. O potássio exerce importante papel na regulação do potencial osmótico das células das plantas, participa da ativação de enzimas que fazem parte do processo da respiração e da fotossíntese. O primeiro sintoma de deficiência de K é a clorose marginal, evoluindo à necrose a partir do ápice, inicialmente nas folhas velhas (TAIZ et al., 2017). Filho et al. (2020), que descreveram e fotografaram os efeitos da falta de macronutrientes em alface hidropônica observaram os primeiros sintomas de deficiência de potássio aos 10 dias após a ausência do nutriente.

O nitrogênio foi o segundo nutriente mais absorvido pelas plantas, apresentou um grande aumento no teor foliar entre os 0 e 7 DAT, tendo uma pequena queda, porém constante entre 7 e 28 DAT e no momento da colheita apresentou o valor de $37,20 \text{ g Kg}^{-1}$ planta de N total. Segundo Raij et al. (1997) os teores adequados desse nutriente nas folhas de alface estão entre $30-50 \text{ g Kg}^{-1}$ planta. A cultivar Isabela cultivada em sistema hidropônico por Martins et al. (2009), apresentou $50,7 \text{ g Kg}^{-1}$ aos 20 DAT superando a cultivar Milena, tal valor pode estar associado a época de coleta da amostra vegetal e ao comportamento do nutriente no tecido vegetal.

Estudos realizados por Braz et al. (2004) com forrageiras mostraram que o nitrogênio apresentou comportamento de queda ou estabilização no final do ciclo devido à perda de folhas senescentes e também pela perda do nutriente pela própria folha. Archila et al. (1997) observaram o mesmo comportamento em estudo observando a absorção de nutrientes de quatro variedades de alface, justificando tal

resultado da diminuição de absorção de nitrogênio ao final do ciclo devido a translocação desse nutriente para outros órgãos como raízes e caule.

O nitrogênio é constituinte de elementos celulares, como aminoácidos, proteínas e ácidos nucléicos das plantas, portanto, a deficiência de N inibe o crescimento vegetal (RAVEN, 2016). Se a deficiência do nutriente persiste, a maioria das plantas mostra clorose, especialmente nas folhas velhas, podendo levar à queda das folhas. Pode ocorrer também, acúmulo de carboidratos que podem ser usados na síntese de antocianina, deixando as folhas com coloração púrpura (TAIZ et al., 2017). Segundo Filho et al. (2020), os sintomas visuais de deficiência de N aparecem no quarto dia após a supressão do nutriente.

O cálcio apresentou teores crescentes entre 0 e 14 DAT e se mantiveram praticamente constantes até 28 DAT ($13,09 \text{ g Kg}^{-1}$), o teor desse nutriente ficou abaixo da faixa adequada sugerida por Raij et al. (1997) ($15-25 \text{ g Kg}^{-1}$), mas foi similar aos valores encontrados por Benini et al (2005) aos 28 DAT que foi de $11,13 \text{ g Kg}^{-1}$, em que os autores compararam a concentração e o acúmulo de macronutrientes em dois sistemas de produção de alface, o convencional e o hidropônico. Apesar do teor de Ca estar abaixo da faixa sugerida, não foram observados sintomas visuais de deficiência nas plantas, a explicação para a não ocorrência desses sintomas pode estar na pequena diferença entre os teores encontrados nesse trabalho e o valor de referência.

O cálcio está presente na planta como íon Ca^{+2} e apresenta duas funções na planta, uma estrutural em que seu papel é sintetizar novas paredes celulares e assim separar células que se dividiram e outra como sinalizador de respostas vegetal a estímulos do ambiente, portanto esse elemento é responsável por alguns processos celulares, como transição e sobrevivência da célula até a liberação de sinais químicos. Como característica da deficiência desse nutriente há a necrose de regiões meristemáticas (ápice de raízes e de parte aérea), onde há intensa divisão de células e formação de paredes, desordem fisiológica conhecida como Tip burn (TAIZ et al., 2017).

O fósforo e o magnésio apresentaram comportamentos semelhantes, os teores foliares foram crescentes entre 0 e 14 DAT e praticamente constantes até 28 DAT. O teor de fósforo ($6,09 \text{ g Kg}^{-1}$) se mostrou dentro dos valores citados por Raij et al. (1997)

para a cultura da alface (4-7 g Kg⁻¹), assim como os teores de magnésio (4,42 g Kg⁻¹) se encontram adequados segundo os autores (4-6 g Kg⁻¹).

O fósforo participa da composição da planta como fosfato e é essencial para a formação de ATP (trifosfato de adenosina), nucleotídeos, ácidos nucleicos e fosfolipídios. Tem como funções o armazenamento e transferência de energia e a manutenção da integridade da membrana celular. Como sintomas de deficiência a planta apresenta crescimento atrofiado e coloração verde-escura das folhas, podendo ser malformadas com pequenas áreas necróticas.

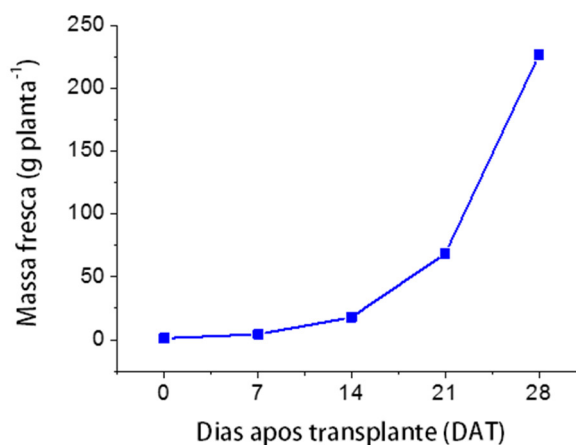
O magnésio está presente nas células vegetais como íon Mg⁺², tem a função de ativar enzimas envolvidas na respiração, na fotossíntese e na síntese de DNA e RNA e faz parte da molécula de clorofila. Sintomas de deficiência desse nutriente nas plantas pode ser observado pela clorose internerval das folhas que ocorrem inicialmente em folhas velhas, podendo se tornarem amarelas ou brancas e ocorrer senescência e abscisão prematuramente (TAIZ et al, 2017).

5.1.4 Massas Fresca e Seca

O acúmulo de massa fresca foi lento até 14 dias após o transplante (DAT), representando 1,4 % do total acumulado na parte aérea de 0 a 7 DAT e 6% do total acumulado de 7 a 14 DAT. Na semana de 14 a 21 DAT houve um maior incremento da massa fresca atingindo 22,4 % do total acumulado pela planta e atingiu seu maior acúmulo na última semana de cultivo de 21 a 28 DAT com 69,6 % de massa fresca.

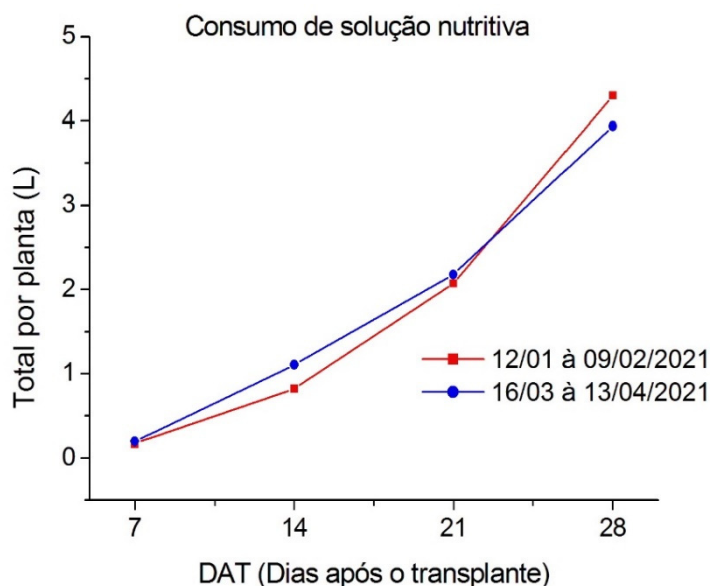
A média dos valores de massa fresca da parte aérea (MFA) encontrada aos 28 dias após o transplante (DAT) foi de 226,25 g planta⁻¹, valores superiores aos encontrados por Koefender (1996), Vaz; Junqueira (1998) e Benini et al. (2005). Na mesma fase de desenvolvimento utilizando a cultivar Verônica, no sistema hidropônico, estes autores obtiveram, respectivamente, médias de 207,8 g, 183,4 g e 124,51 g de biomassa fresca por planta. Lima et al. (2018), obtiveram valores médios de 246 g planta⁻¹ aos 29 DAT em pesquisa de desempenho de mudas de alface cv. Vanda desenvolvidas em bandejas de diferentes volumes de células. Os valores médios para massa fresca obtidos no presente trabalho estão apresentados na Figura 13.

Figura 13. Acúmulo de massa fresca da parte aérea em alface cv. Milena aos 0, 7, 14, 21 e 28 dias após o transplante, nos três cultivos.



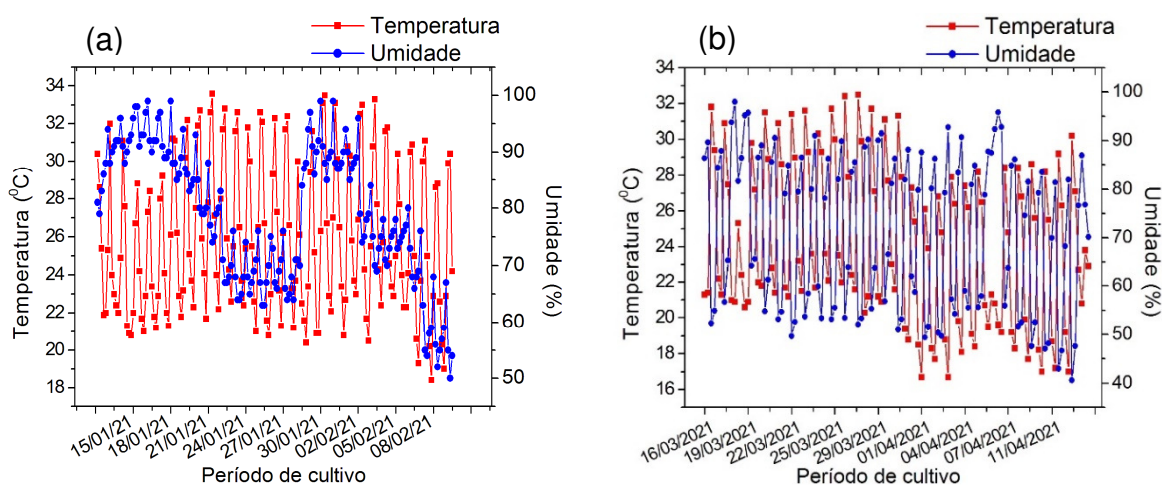
O Consumo médio total de água por planta aos 28 dias após o transplante (DAT), nas três repetições, foi de 4,18 L (Figura 14), sendo uma média de 153 mL planta⁻¹ dia⁻¹. Em trabalho realizado com alface cv Regina, cultivada em hidroponia sob diferentes condutividades elétricas, Torrês, 2003, obteve consumo inferior de água no valor de 3,17 L planta⁻¹ aos 34 DAT. Segundo Furlani et al. (2009), o consumo médio de absorção de água pela alface hidropônica situa-se na faixa de 75 a 100 mL planta⁻¹ dia⁻¹. O maior consumo de água encontrada no presente trabalho pode estar ligado a falhas do sistema de produção, como por exemplo perda de água por vazamentos pontuais. A temperatura é outro fator a ser considerado, uma vez que as temperaturas desse trabalho estavam mais altas do que as reportadas por Torrês, 2003, causando maior consumo de água. Outro ponto a ser ponderado é que os orifícios dos perfis não eram tampados após a retirada de amostra vegetal, permitindo maior evaporação de água.

Figura 14. Consumo médio acumulado de solução nutritiva pela alface cv. Milena nas três repetições do cultivo.



Os valores de temperatura mínima, média e máxima foram 18,4 °C, 25,9 °C e 33,6°C, respectivamente, para o período de 12/01 à 09/02/2021 e 16,7 °C, 24,1 °C e 32,5°C, respectivamente, para o período de 16/03 à 13/04/2021 (Figura 15a). A umidade mínima, média e máxima foram 50%, 79% e 99%, respectivamente, para o período de 12/01 à 09/02/2021 e 41%, 71% e 98%, respectivamente, para o período de 16/03 à 13/04/2021 (Figura 15b).

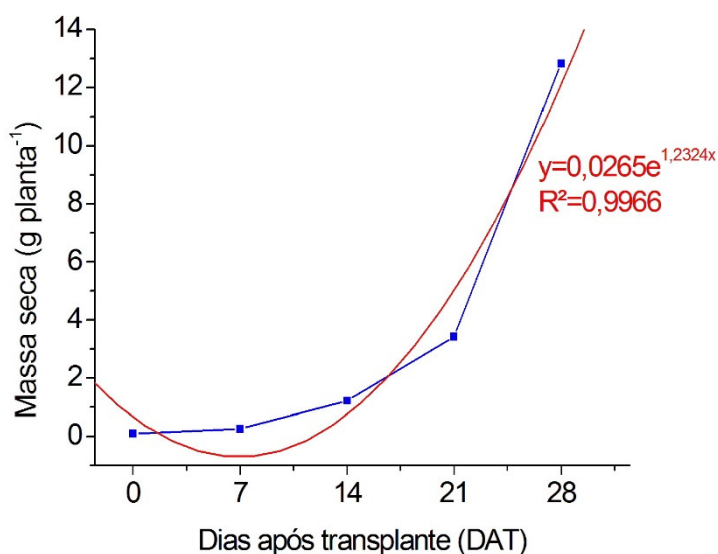
Figura 15. Temperaturas e umidades relativas do ar registradas nos períodos de 12/01 à 09/02/2021 (a) e de 16/03 à 13/04/2021 (b).



A produtividade média alcançada com a cultivar Milena foi de 2,75 Kg m⁻², valor inferior ao obtido por Martins et al. (2009), em estudo com a cultivar Isabela, em Mossoró/ RN, a cultura apresentou 5,12 Kg m⁻²; porém o valor alcançado no presente experimento foi bem próximo ao encontrado por Lima et al. (2018), que foi de 2,51 Kg m⁻², em que os autores trabalharam com mudas produzidas em bandejas de diferentes volumes de células cultivadas sob sistema hidropônico no período do outono. O fato da cultivar Isabela, estudada por Martins et al., (2009), ter apresentado maior produtividade pode estar ligado ao clima da região Nordeste, seco e bem quente, fazendo com que as plantas absorvam e retenham mais água resultando em maior massa fresca; além disso, segundo Nespoli et al. (2009) e Queiroz et al. (2014), as cultivares de alface expressam de maneira distinta seu potencial genético para as diversas condições ambientais, apresentando variação de desempenho nas diferentes regiões do Brasil.

A curva de crescimento da planta ao longo de seu ciclo, expressa pelo acúmulo de massa seca, está representada pela Figura 16, na qual pode-se observar que de 0 a 14 DAT a planta apresentou crescimento lento de 8,8 % em relação ao seu peso total, aumentando 17,2 % entre 14 e 21 DAT e tendo maior acúmulo de massa seca, 73,3 % entre 21 e 28 DAT.

Figura 16. Média do acúmulo de massa seca da parte aérea em alface cv. Milena nas três repetições do cultivo



A média do acúmulo de massa seca da parte aérea (MSA), nas três repetições do cultivo, foi de 13,04 g planta⁻¹ aos 28 DAT, resultado que se assemelha aos obtidos por Lima et al. (2018), de 12,42 g planta⁻¹ em experimento que avaliou o desempenho de mudas de alface. Porém os resultados obtidos nessa pesquisa foram superiores aos obtidos por Martins et al. (2009), de 5,86 g planta⁻¹, que trabalharam com a cultivar Isabela em cultivo hidropônico, obtidos aos 30 DAT no município de Mossoró/ RN em clima seco e muito quente. O acúmulo médio de massa seca da parte aérea obtido no presente trabalho representa 5,6% do acúmulo de peso fresco da parte aérea.

As médias e os desvios padrão do pH e da condutividade elétrica estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Desvio padrão da massa seca no três cultivos

Parâmetros	Médias (g planta ⁻¹)					Desvio padrão (g planta ⁻¹)				
	0 DAT	7 DAT	14 DAT	21 DAT	28 DAT	0 DAT	7 DAT	14 DAT	21 DAT	28 DAT
Massa seca	0,097	0,27	1,27	3,44	13,04	0,11	0,27	1,21	2,60	1,25

5.2 Etapa 2

Com os resultados de absorção de nutrientes da solução nutritiva obtidos na Etapa 1 foi possível propor a reposição de sais para a Etapa 2.

5.2.1 Acompanhamento da Solução Nutritiva

Durante a Etapa 2 foram medidos os valores de pH (Figura 17) para fins de ajustes se os valores desse parâmetro não estivessem entre 5,5 e 6,5 e da CE para acompanhamento (Figura 18) para os dois tratamentos. As médias e os desvios padrão do pH e da condutividade elétrica estão descritos na Tabela 4.

Figura 17. Valores médios do monitoramento diário do pH das soluções nutritivas dos dois tratamentos, com complemento de nutrientes T1(*) e trocas de soluções T2(*)

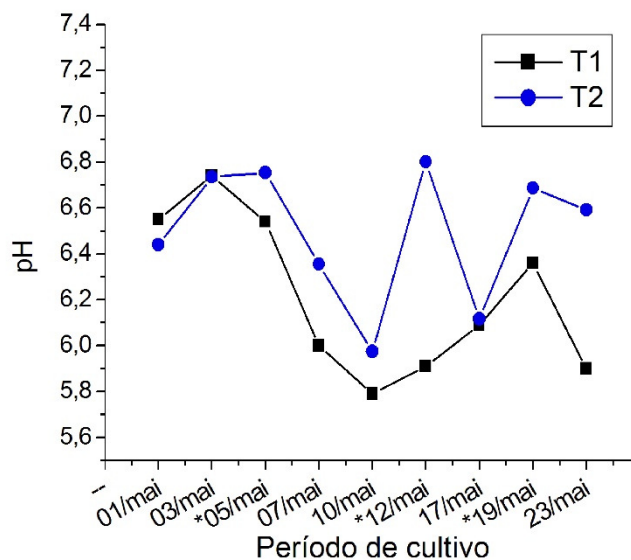
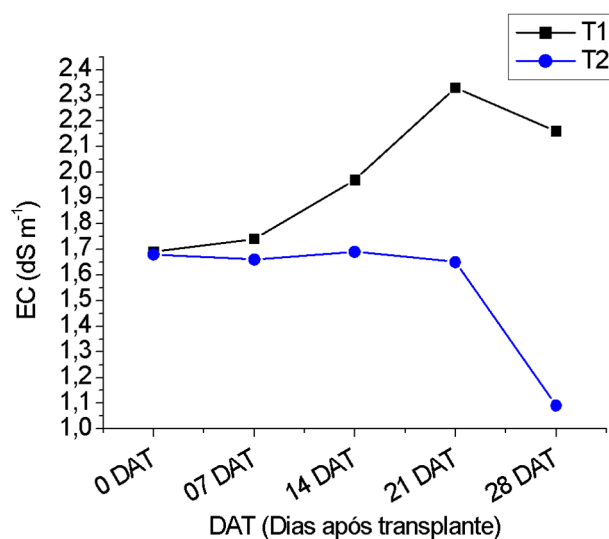


Tabela 4. Médias e desvios padrão de pH e condutividade elétrica em T1 e T2

Parâmetros	Média		Desvio padrão	
	T1	T2	T1	T2
pH	6,20	6,55	0,34	0,31
CE (dS m ⁻¹)	2,02	1,67	0,19	0,21

O valor do pH das soluções nutritivas em T1 e T2 oscilou durante todo o experimento, conforme observado nos cultivos da Etapa 1. Conforme recomendado por Martinez (2006), foi adicionado ácido fosfórico para reduzir o pH em T1 em 07/05/21 o qual era 6,74 e foi para 6,0; em T2 o ácido fosfórico foi adicionado duas vezes, em 07/05/21 e 19/05/21, quando os pHs se encontravam em 7,3 e 6,75 reduzindo para 6,4 e 6,3.

Figura 18. Acompanhamento da condutividade elétrica da solução nutritiva em T1 (com reposição de nutrientes e sem renovação da solução nutritiva) e T2 (com renovação da solução nutritiva)



A condutividade elétrica média em T1 e T2 ficou dentro do recomendado para o cultivo de alface em hidroponia durante todo o experimento, os valores se encontram entre 1,69 e 2,33 dS m⁻¹ e, 1,60 e 2,00 dS m⁻¹, respectivamente, estando dentro da faixa recomendada por Castellane e Araújo, 1995, que é de 1,5 a 2,5 dS m⁻¹, referência utilizada para acompanhamento da CE.

O aumento da condutividade elétrica durante o ciclo da cultura em T1 pode ser explicado pelo acúmulo de alguns macronutrientes, os quais podem não terem sido absorvidos pelas plantas devido a indisponibilidade desses nutrientes na solução nutritiva. A disponibilidade dos nutrientes no meio depende da sua concentração e relação entre os íons, pH, da temperatura e do nível de oxigênio na água, temperatura do ar, radiação solar e umidade relativa do ar (ADAMS, 2004). O fator temperatura da solução nutritiva é muito importante na absorção de nutrientes, como relatado por Mello e Spagnol (2016), para que ocorra a máxima absorção de nutrientes pelas plantas, a temperatura da solução não deve ultrapassar os 30 °C, sendo que o ideal para a planta é ao redor de 20 °C. Temperaturas muito acima ou abaixo desse limite podem afetar o desenvolvimento das plantas devido à redução na absorção de nutrientes.

Esse aumento também está relacionado ao acúmulo natural de nutrientes nas soluções nutritivas que recebem reposição nutricional, já que os cálculos e

quantidades de sais utilizados não são precisos.

A quantidade de sais utilizados nos tratamentos T1 e T2 estão descritas na Tabela 5. Com o não descarte da solução nutritiva em T1, foi possível uma redução da quantidade de sais utilizados nesse tratamento quando comparado ao tratamento T2, sem prejuízos para a produção de massa fresca da cultura. Na terceira semana de cultivo para que a quantidade de nutrientes recomendada fosse adequada, sem que se colocasse em excesso alguns nutrientes, foi necessário utilizar o sulfato de potássio e a ureia, que não faziam parte dos sais propostos para a solução nutritiva utilizada nesse trabalho.

Tabela 5. Quantidade total de fertilizantes utilizados durante o ciclo da cultura nos tratamentos T1 e T2, expressas em sais e em nutrientes individuais, para os volumes totais de 512,5 L em T1 e 1400 L em T2.

Fertilizante	Quantidade total de sais		Quantidade total de nutrientes	
	T1 (g)	T2 (g)	T1 (g)	T2 (g)
Nitrato de cálcio (N,Ca)	407,7	700,0	N - 142,4	N - 240,5
Nitrato de potássio (N, K)	423,5	700,0	P - 49,5	P - 216,0
Sulfato de magnésio (S, Mg)	249,4	490,0	K - 190,6	K - 315,0
Fosfato monoamônico (MAP)	91,6	140,0	Ca - 77,5	Ca - 133,0
Conmicros Standard	15,2	28,0	Mg - 22,4	Mg - 45,0
Sulfato de potássio (S, K)	18,9	-		
Uréia (N)	8,3	-		

O hidroponicultor maneja a solução nutritiva repondo os nutrientes que foram consumidos pelas plantas com base em medições de condutividade elétrica da solução após reposição da água consumida. Baseado na diminuição da CE, soluções concentradas são utilizadas para a reposição dos nutrientes, no entanto, essa prática gera acúmulo de determinados nutrientes devido a absorção entre íons pelas raízes, causando desequilíbrio entre os nutrientes e, conseqüentemente diminuição da absorção de alguns deles devido a altas concentrações ou precipitação de elementos. Para sanar esse problema, o produtor que não dispõe de recursos técnicos para

analisar a solução nutritiva, descarta a solução afim de garantir as condições ideais para o desenvolvimento da cultura. Desta forma, para um cultivo sustentável, técnicas de manejo precisam ser desenvolvidas para garantir ao produtor o aproveitamento da solução nutritiva de forma eficiente.

5.2.2 Análise foliar

Durante a condução da Etapa 2 não foram observados sintomas visuais de deficiência de nutrientes entre os tratamentos, bem como de toxicidade, as plantas tiveram um desenvolvimento adequado agrônômica e comercialmente (Figura 19).

Figura 19. Desenvolvimento das plantas de alface cv Milena dos tratamentos 1 e 2 aos 30 DAT



Fonte: arquivo pessoal

Os resultados das análises químicas das folhas de alface do T1 e T2 (Tabela 6) foram comparados com os valores de macronutrientes adequados a cultura segundo Raij et al. (1997).

Tabela 6. Resultados da análise foliar de macronutrientes na matéria seca de alface cv. Milena

Tratamentos	Macronutrientes g kg ⁻¹				
	N	P	K	Ca	Mg
T1	45,00	8,32	69,25	7,70	2,78
T2	46,50	9,23	56,12	7,06	2,61

* Faixa de valores de macronutrientes adequados a cultura de alface segundo Raij et al. (1997). N-30-50 g Kg⁻¹, P: 4-7 g Kg⁻¹, K: 50-80 g Kg⁻¹, Ca: 15-25 g Kg⁻¹, Mg: 4-6 g Kg⁻¹

Na Etapa 2 verificou-se a seguinte ordem de absorção de nutrientes em ambos os tratamentos, em ordem decrescente, $K > N > P > Ca > Mg$. Nota-se uma inversão de posição para o fósforo e o cálcio com relação a Etapa 1, em que o cálcio foi mais absorvido do que o fósforo. GRANGEIRO et al. (2006), obtiveram o mesmo resultado, estudando o acúmulo de nutrientes em cultivares de alface cultivadas no solo em condições do semi-árido, observaram uma maior absorção de fósforo em relação ao cálcio.

Os teores de N e K encontram-se dentro da faixa considerada adequada para a cultura segundo Raij et al. (1997).

O teor de P ficou acima da faixa considerada adequada em T1 e T2, mas não foi observado nenhum sintoma visual de toxicidade nas plantas. Para Malavolta (2006), geralmente o excesso de P nas plantas não é visualmente observado, mas pode ocasionar a deficiência de micronutrientes como cobre, ferro, manganês e zinco, como também a redução de biomassa. Tal resultado pode estar relacionado ao ácido fosfórico utilizado para diminuir o pH da solução nutritiva, elevando assim o teor desse nutriente na solução e, conseqüentemente, ocasionando uma maior absorção pelas plantas.

Já os teores de Ca e Mg ficaram abaixo da faixa de nutrientes considerada adequada ao desenvolvimento das plantas em ambos os tratamentos. A deficiência do Ca se apresenta com necrose nos meristemas apicais das folhas, conhecido como “tip burn” ou “queima dos bordos” e necrose nos meristemas radiculares e do Mg como clorose entre as nervuras das folhas fazendo com elas fiquem amarelas ou brancas, podendo ocorrer senescência e abscisão prematura das mesmas (TAIZ et al., 2017).

Os resultados de deficiência de nutrientes apontados somente nas análises foliares podem estar ligados ao pH da solução nutritiva, que em valores altos pode ocasionar precipitação de alguns nutrientes, como o cálcio por exemplo, o que por vezes foi observado nas medições de pH. As baixas quantidades de Ca e Mg encontradas nas plantas também podem estar ligadas a quantidade de potássio na solução nutritiva, altas quantidades de K diminuem os teores de cálcio e magnésio (ROSOLEM, 2005), uma vez que esses íons competem pelos mesmos sítios de absorção.

Segundo Prado (2008), o K tem a capacidade de atravessar a membrana plasmática com maior velocidade, diminuindo a absorção de cátions mais lentos como o Ca e o Mg, e como consequência menor produtividade em decorrência do menor desenvolvimento da planta. Outro fator a ser considerado para a não expressão visual da deficiência do nutriente é que a cv Milena apresenta alta tolerância à falta de cálcio e por ser uma cultivar tardia, seu crescimento lento pode ter ocultado os sintomas.

5.2.3 Massas Fresca e Seca

A média dos valores de massa fresca da parte aérea (MFA) encontrada aos 30 dias após o transplante (DAT) foi de 156,7 g planta⁻¹ em T1 e 156,3 g planta⁻¹ em T2, valores próximos aos encontrados por Vaz e Junqueira (1998) e Benini et al. (2005). Utilizando a cultivar Verônica, estes autores obtiveram, respectivamente, médias de 183,4 g e 124,51 g de biomassa fresca por planta. Por outro lado, Ceccherini et al. (2020), em estudo com diferentes volumes de células da bandeja para alface produzida em sistema convencional e hidropônico, no verão, obtiveram massa fresca de aproximadamente 280 g planta⁻¹ em plantas que foram produzidas em células de bandeja de 20 cm³. A baixa alcançada nos dois tratamentos pode estar relacionada ao efeito do potássio sobre a absorção de Ca e Mg, que segundo as análises foliares ficaram abaixo da faixa recomendada por Raji et al. (1997). Se os teores de K na solução nutritiva forem muito altos, poderá ocorrer prejuízos ao crescimento das plantas ou a produção (ROSOLEM, 2005).

Apesar dos valores de massa fresca obtidos na Etapa 1 terem sido maiores do que os valores alcançados na Etapa 2, os resultados da comparação das médias das massas frescas das amostras colhidas na Etapa 2 não apontaram diferença significativa entre os tratamentos ($p \leq 0,05$), com *p-valor* equivalente a 0,11092171. Provavelmente, essa diferença de ganho de peso fresco entre as Etapas ocorreu por que as plantas da Etapa 2 deveriam ter ficado mais tempo em campo, já que em temperaturas mais amenas a cultura vegeta por mais tempo quando comparado ao cultivo em temperaturas altas.

Na literatura tem-se que a cultura da alface tem melhor desenvolvimento em temperaturas mais amenas, que segundo Henz e Suinaga (2009) se encontra na faixa de 15° e 25 °C e valores acima dessa faixa fazem com que o ciclo da cultura encurte. Foi o que ocorreu na Etapa 1, em que o ciclo da cultura se encerrou aos 28 DAT contra 30 DAT na Etapa 2 e talvez esse seja o fator que explique os valores de massa fresca menores na Etapa 2, as plantas poderiam ter ganhado mais massa fresca se tivessem ficado mais tempo em campo, apesar de que a cultura já se apresentava em ponto comercial. Em um trabalho realizado com alface hidropônica, Fernandes et al. (2002) apresentaram resultados parecidos aos encontrados no presente estudo, testando fontes de nutrientes para compor a solução nutritiva, os autores obtiveram 193 e 196 g planta⁻¹ de matéria fresca da parte aérea com as cultivares Babá de Verão e Grandes Lagos, no outono.

O Consumo médio total de água por planta em T1 e T2 aos 30 DAT foi de aproximadamente 2,0 L (Figura 20), sendo uma média de 66 mL planta⁻¹ dia⁻¹. O menor consumo de solução nutritiva nessa etapa do trabalho pode ser explicado pelo clima nesse período, em que as temperaturas estavam mais amenas e a umidade relativa do ar alta (Figura 21) e, portanto, as plantas consomem menos água. Nunes et al. (2009), em experimento para a determinação da evapotranspiração e coeficiente da cultura da alface, nos períodos do outono e inverno, observaram um consumo de água 13% menor no inverno devido a temperaturas mais amenas nesse período, corroborando a diferença de valores de consumo de solução nutritiva entre as Etapas 1 e 2.

O volume total de água utilizada nessa Etapa foi de 512,5 L em T1 e 1400 L em T2. O maior volume de água utilizado em T1 se deve as trocas semanais da solução nutritiva.

Figura 20. Consumo acumulado de solução nutritiva pela alface cv. Milena em T1

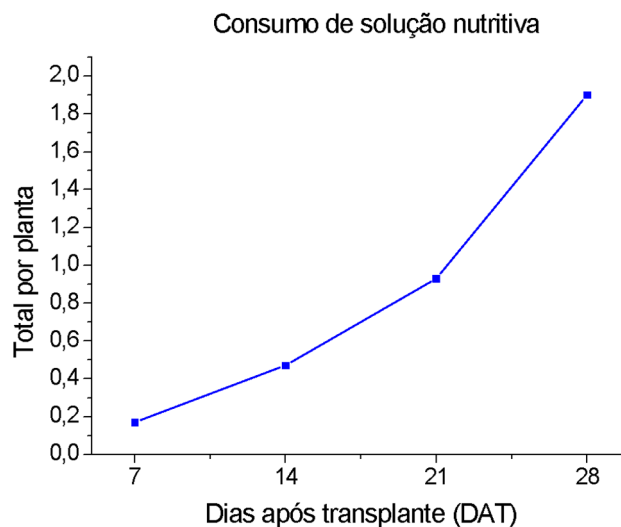
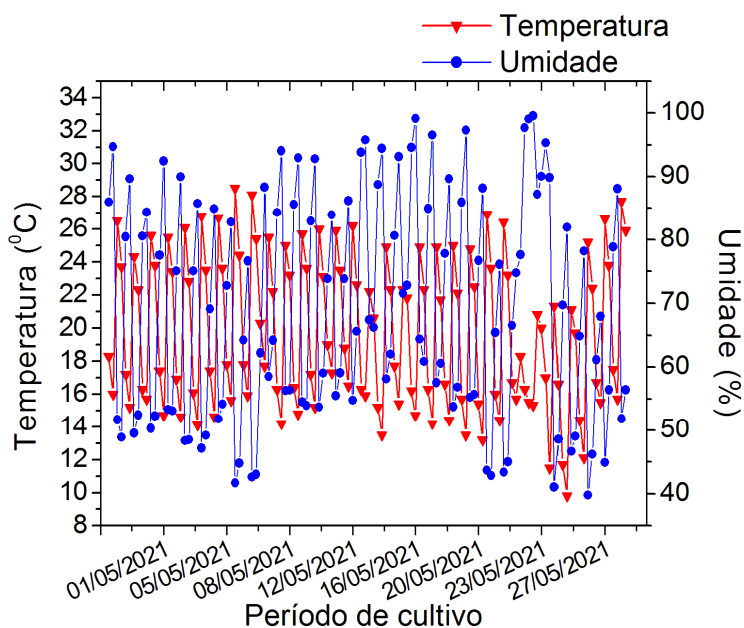


Figura 21. Temperaturas e umidade relativa do ar registradas no período de condução do experimento.



O acúmulo máximo de massa seca da parte aérea (MSA) aos 30 DAT foi de 6,53 g planta⁻¹ para o tratamento T1 e de 6,43 g planta⁻¹ para o tratamento T2. Assim como para a massa fresca, os valores encontrados para massa seca foram inferiores na Etapa 2 quando comparados a Etapa 1, mas foram muito próximos quando

comparados entre si, não havendo diferença entre os tratamentos ($p \leq 0,05$), com *p*-valor equivalente a 0,3185976.

5.3 Aplicação dos resultados obtidos no experimento

Na prática o horticultor cultiva plantas em vários estádios de desenvolvimento, tendo plantas em fase de transplante, outras em cultivo e também sendo colhidas. Contudo, o presente estudo testou plantas em um mesmo ciclo, ou seja, elas foram todas transplantadas e colhidas de uma só vez.

De uma forma prática os resultados de quantidade de nutrientes a serem repostos na solução nutritiva, semanalmente, na cultura da alface cv Milena, nas condições desse estudo, são apresentados na Tabela 7. Buscou-se trazer ferramentas que auxiliem o produtor a manejar a solução nutritiva de forma rápida, sem gerar custos, já que no campo não há viabilidade em realizar análises químicas da solução nutritiva devido ao tempo que essas levariam para serem analisadas, a mão-de-obra técnica e qualificada necessária para mais uma tarefa a ser executada e ao custo que elas gerariam.

Tabela 7. Quantidades de nutrientes a serem repostos na solução nutritiva, semanalmente, com a cv Milena, nas condições desse estudo.

Fertilizantes	7 DAT	14 DAT	21 DAT	Total (mg L ⁻¹)	7 DAT	14 DAT	21 DAT
	mg L ⁻¹				%		
Nitrato de cálcio	570	585	885	2040	27,9	28,7	43,4
Nitrato de potássio	585	590	920	2095	27,9	28,2	43,9
Sulfato de magnésio	410	430	450	1290	31,8	33,3	34,9
Fosfato monoamônico (MAP)	125	155	210	490	25,5	31,6	42,9
ConMicros Standard	33	24	22	79	41,8	30,4	27,8
Sulfato de potássio			70				100
Uréia			31				100

As quantidades de fertilizantes propostos para a reposição de nutrientes da solução nutritiva são para 1 L de água, portanto o produtor deverá calcular o volume de água a ser reposta aos 7, 14 e 21 DAT e com isso a quantidade de sais necessários.

6 CONCLUSÃO

Para as condições em que o trabalho foi desenvolvido é possível concluir que a reposição de nutrientes proporcionou a utilização da solução nutritiva sem o seu descarte durante um ciclo da cultura da alface hidropônica cv Milena, evitando assim a sua renovação e adequando-se a produção sustentável de alimentos.

7 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Estudos que auxiliem o produtor em tomadas de decisões que facilitem a sua rotina são de extrema relevância, principalmente devido as propriedades serem distantes dos centros de pesquisa ou laboratórios, o que dificulta resultados rápidos.

Pensando em levar mais informação ao horticultor para que esse produza com sustentabilidade, pesquisas relacionadas a economia de água e nutrientes poderiam ser desenvolvidas, tais como:

- Estudar a reposição de micronutrientes na solução nutritiva para a cultura da alface hidropônica;
- Avaliar a possibilidade do desenvolvimento de um aplicativo para utilização dos dados obtidos nesse trabalho;
- Desenvolver produtos/ ferramentas de fácil leitura que possam medir automaticamente a quantidade de água consumida durante o ciclo da cultura.

8 BIBLIOGRAFIA

ABAURRE, M.E.O.; PUIATTI, M.; COELHO, M.B.; CECON, P.R.; HUAMAN, C.A.M.Y.; PEREIRA, F.H.F. Produtividade de duas cultivares de alface sob malhas termo - refletoras e difusa no cultivo e verão. In: CONGRESSO DE OLERICULTURA, 43, Campo Grande, 2003.

ADAMS, P. Aspectos de la nutrición mineral em cultivos sin suelo em relación al suelo. In: GAVILÁN, M.U. (Coord.). **Tratado de cultivo sin suelo**. Madrid: Mundi Prensa, cap. 3, p. 81-111. 2004.

AGUIAR, A.T.E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; TUCCI, M.L.S.; CASTRO, C.E.F. **INSTRUÇÕES AGRÍCOLAS PARA AS PRINCIPAIS CULTURAS ECONÔMICAS**, 7.^a Ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agrônômico, p. 452, 2014. ISSN 0375-153

ALVES, M.S.; SOARES, T.M.; SILVA, L.T.; FERNANDES, J.P.; OLIVEIRA, M.L.A.; PAZ, V.P.S. Estratégias de uso de água salobra na produção de alface em hidroponia NFT. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(5), 491-498. 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000500009>

ARCHILA, J.A.; CONTRERAS, U.H.; PINZON, H.; LAVERDE, H. "Absorción de nutrientes en cuatro materiales de lechuga, *Lactuca sativa* L.". *Agronomía Colombiana* 14 (1): 28-36, 1997. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/25617>.

ASHER, C.J.; BLARNEY, F.P. Fertilizer use efficiency: experimental control of plant nutrient status using programmed nutrient addition. *Journal of Plant Nutrition*, v.10, n. 9-16, p. 1371-1380, 1987. DOI: 10.1080 / 01904168709363669.

BACKES, F.A.A.L.; SANTOS, O.; SCHMIDT, D.; NOGUEIRA FILHO, H.; MANFRON, P.A.; CASAROLI, D. Reposição de nutrientes durante três cultivos de alface em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.4, p. 590-596, 2003.

BACKES, F. A. A. L.; SANTOS, O. S. S.; PILAU, F. G.; BONNECARRÈRE, R. A. G.; MEDEIROS, S. L. P.; FAGAN, E. B. Reposição de nutrientes em solução nutritiva para o cultivo hidropônico de alface. *Ciência Rural*, 34(5), p. 1407-1414, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v34n5/a13v34n5.pdf>. Acesso em 18 de março, 2021.

BARROS, H.M.M; VERIATO, M.K.L.; SOUZA, L.P.; CHICÓ, L.R.; BAROSI, K.X.L. Reúso de água na agricultura. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v.10, n. 5, p. 11-16, 2015.

BATAGLIA, O. **Nutrição mineral de plantas: a contribuição brasileira**. O Agrônomo Campinas 55(1). 2003.

BENINI, E. R. Y.; TAKAHASHI, H. W.; NEVES, C. S. V. J. Concentração e acúmulo de macronutrientes em alface cultivada em sistemas hidropônico e convencional. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 26, n. 3, p. 273-282, 2005.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa: UFV, 596 p., 1996.

BERTOLDI, F.C.; SANT'ANNA, E.; OLIVEIRA, J.L.B.; REBELO, A.M. Biorremocão de nitrogênio e fósforo da solução hidropônica residual por meio da microalga *Chlorella vulgaris*. *Evidência*, Joaçaba, v. 7, n. 2, p. 85-92, 2007.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L.P. Técnicas de cultivo hidropônico. Recife. UFRPE. 2000.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L.P. **AS TÉCNICAS DE HIDROPONIA**. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, vols. 8 e 9, p.107-137, 2012.

BOLETIM HORTIGRANJEIRO, V. 4, n. 3, Brasília, 2020.

BRACCINI, M.C.L.; BRACCINI, A.L.E.; MARTINEZ, H.E.P. Critérios para renovação e manutenção de solução nutritiva em cultivo hidropônico. *Semina: Ci.Agr.*, Londrina, v.20, n.1, p. 48-58, marc. 1999.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO Nº 306, DE 5 DE JULHO DE 2002**. Estabelece os requisitos mínimos e o termo de referência para realização de auditorias ambientais. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30602.html>>. Acesso em: 07 de Dez. de 2020.

BRAZ, A.J.B.P.; SILVEIRA, P.M. da; KLIEMANN, H.J.; ZIMMERMANN, F.J.P. Acumulação de nutrientes em folhas de milho e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, p.83-87, 2004.

CAMARGO, L.S. As hortaliças e seu cultivo. 3. ed. Campinas: Fundação Cargill, 252p., 1992.

CARMO, C.A.F.S.; ARAÚJO, W.S.A.; BERNARDI, A.C.C.; SALDANHA, M.F.C.; MÉTODOS DE ANÁLISE DE TECIDOS VEGETAIS UTILIZADOS NA EMBRAPA SOLOS. Curricular técnica 6, EMBRAPA, Rio de Janeiro, 2000.

CARVALHO, R.S.C.; BASTOS, R.G.; SOUZA, C.F. Influence of the use of wastewater on nutrient absorption and production of lettuce grown in a hydroponic system. **Agricultural Water Management**, v. 203, p. 311-321, 2018.

CASTELLANE, P.D.; ARAÚJO, J.A.C. **Cultivo sem solo**: hidroponia. Faculdade de Ciências Agrônômica e Veterinária, Jabotical, FUNEP, 43 p, 1995.

CECCHERINI, G.J.; LIMA, T.J.L.D.; SALA, F.C. Diferentes volumes de célula da bandeja para alface cultivada em sistema convencional e hidropônico. *Ciência*

Rural, 50(1). 2020.

COSTA, K.P.; SILVA, J.C.R.L.; FERNANDES, T.O.M.; FONSECA, F.S.A.; MAIA, J.T.L.S.; MARTINS, E.R. Teor de nitrato em alface produzida em sistema hidropônico vertical com substrato e NFT. **Caderno de Ciências Agrárias**, v.10, n.1, p.24-28, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/3026>. Acesso em: 6 de setembro de 2021.

CUBA, R.S.; CARMO, J.R.; SOUZA, C.F.; BASTOS, R.G. **Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface**. Revista Ambiente & Água, v. 10, no. 3, Taubaté, 2015.

DEMARTELAERE, A.C.F; PRESTON, H.A.F; FEITOSA, S.S.; PRESTON, W.; SILVA, R.M.; ROSADO, A.K.H.B.; MEDEIROS, D.C.; FERREIRA, M.S.; RODRIGUES, A.L.S.; BENJAMIM, R.F. The influence climatic factors on lettuce cultivated varieties in Rio Grande of Norte. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 11, p.90363-90378, 2020. ISSN 2525-8761

DOUGLAS, J. S. Os fatos sobre a hidroponia. In: DOUGLAS, J. S. Hidroponia: cultura sem terra. São Paulo: **NBL Editora**, p.1-7, 2003.

EGÍDIO, N.B; LEVY, B. P. As técnicas de hidroponia. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônoma**, v. 8, p. 107-137, 2013.

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

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa, 2008. 402 p.

FILHO, A.B.C.; RODRIGUES, M.A.; SILVA, M.L.P.; CORTEZ, J.W.M. Sintomas de deficiência de macronutrientes em alface. **Científica**, Jaboticabal, v.48, n.3, p.271-290, 2020. ISSN: 1984-5529

FURLANI, P.R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 1 - Conjunto hidráulico**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: www.infobibos.com/Artigos/2009_1/hidroponiap1. Acesso em: 15/4/2019.

FURLANI, P.R.; BOLONHEZI, D.; SILVEIRA, L.C.P.; FAQUIN, V. Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.90-98, 1999.

GIMENEZ, G.; ANDRIOLO, J.; GODOI, R. Cultivo sem solo do morangueiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 273-279, 2008.

GONDIM, A.R.O; FLORES, M.E.P; MARTINEZ, H.E.P; FONTES, P.C.R; PEREIRA, P.R.G. Condutividade elétrica na produção e nutrição de alface em sistema de cultivo hidropônico NFT. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 894-904, 2010.

GRANGEIRO LC; COSTA KR; MEDEIROS MA; SALVIANO AM; NEGREIROS MZ; BEZERRA NETO F; OLIVEIRA SL. Acúmulo de nutrientes por três cultivares de alface cultivadas em condições do Semi-Árido. *Horticultura Brasileira* 24: 190-194, 2006.

GUEDES, Í.M.R. Hidroponia: de metodologia de pesquisa a sistema de produção. **Embrapa Hortaliças-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E)**, 2019. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1118511>

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

HELBEL JUNIOR, C.; REZENDE, R.; FRIZZONE, J. A.; SANTOS, H. S.; DALLACORT, R. Produção hidropônica da cultura da alface com soluções nutritivas e vazões distintas. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 3, p. 391-395, 2007.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. **Tipos de Alface**. Comunicado Técnico 75, EMBRAPA, Brasília, 2009.

HORTIFRUTI BRASIL. Anuário 2017/2018. Ano 16, n.174, ISSN 1981-1837

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agro 2017. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br>. Acesso em: 08 de setembro de 2021.

KOEFENDER, V.N. Crescimento e absorção de nutrientes pela alface cultivada em fluxo laminar de solução. 1996. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

LIMA, T.J.; GAZAFFI, R.; CECCHERINI, G.J.; MARCHI, L.; MARTINEZ, M.; FERREIRA, C.G.; SALA, F.C. Volume das células em bandejas influencia produção da alface hidropônica. **Horticultura Brasileira**, 36, 408-413. 2018.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição de plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 638 p., 2006.

MARTINEZ, E.P. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa**. (Cadernos didáticos), Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG, 2002.

MARTINEZ, H.E.P.; SILVA FILHO, J.B. **Introdução ao cultivo hidropônico de plantas**. UFV, 2004.

MARTINEZ, H.E.P. **Manual prático de hidroponia**. Viçosa: UFV. 271p. 2006.

MARTINEZ, H.E.P.; CLEMENTE, J. M. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa**. Viçosa: UFV, 2011, 76 p.

MARTINS, C.M; MEDEIROS, J.F; LOPES,W.A.R; BRAGA,D.F.; AMORIM, L.B.A. Curva de Absorção de Nutrientes em Alface Hidropônica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.22, n.4, p.123-128, 2009.

MEIRELLES, A. F. M.BALDOTTO, M. A.& BALDOTTO, L.E.B. Produtividade da alface (*Lactuca sativa* L) em resposta à aplicação de ácidos húmicos e bactérias diazotróficas, em condições de campo. *Revista Ceres*, 64(5), 553-556, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201764050014>.

MELLO, S.C.; SPAGNOL, R. Olericultura: cultivo hidropônico. SENAR, PR - 84 p. 2016.

MORARD, P. Possible use of ion selective electrodes for nutrient solutions in recirculated systems. In: International Congresso n Soilless Culture, v. 10, ed. 9-16, p. 1371-1380. Jersey, 2008.

MOURA, C.R.W.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; OLIVEIRA, R.A. Coeficiente de cultura da alface hidropônica baseado no conceito de graus-dia. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 57, n.2, p. 224 - 233. 2010.

NESPOLI, A.; THEODORO, V.C.A.; SANTOS, C.L.; SEABRA JUNIOR, S.; LALLA, J. G. Desempenho de cultivares de alface tipo crespa sob altas temperaturas. In: CONGRESSO 31 BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 49, Águas de Lindóia, 2009. Anais: Brasília: ABH, 2009.

NUNES, A.L.; BISPO, N.B.; HERNANDEZ, R.H., NAVARINI, L. Evapotranspiração e coeficiente de cultura da alface para a região sudoeste do Paraná. *Scientia Agraria*, 10(5), 397-402. 2009.

OLIVEIRA, A.C.B.; SEDIYAMA, M.A.N.; PEDROSA, M.W.; GARCIA, N.C.; GARCIA, S.L.R. Divergência genética e descarte de variáveis em alface cultivada sob sistema hidropônico. **Acta Scientiarum Agronomy** 26: 211-217, 2004.

PARDOSSI, A.; MALORGIO, F.; INCROCCI, L.; CAMPIOTTI, C.A.; TOGNONI, F. A comparison between two methods to control nutrient delivery to greenhouse melons grown in recirculating nutrient solution culture. *Scientia Horticulturae*, v.92, p.89-95, 2002.

PARKER, J.B. Gestão de águas residuárias da horticultura intensiva: um sistema de zonas úmidas. Agnote DPI-381, 2ª ed., 1-4, 2002.

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**, Viçosa, v. 59, n.1, p. 110-117, 2012.

PEREIRA, B.F.F.; HE, Z.L.; SILVA, M.S.; HERPIN, U.; NOGUEIRA, S.F.; MONTES, C.R.; MELFI, A.J. Reclaimed wastewater: Impact on soil-plant system under tropical conditions. **Journal of Hazardous Materials**, v.192, 2011.

PINTO, F.A.; FEITOSA, V. S.; SOUZA, V. S.; SOARES, I. **Avaliação de diferentes condutividades elétricas da solução nutritiva no cultivo de alface em substrato**. Revista Ciência Agronômica, Vol. 35, v. especial, p. 165 – 170, 2004.

PRADO, R.M. Nutrição de plantas. São Paulo: Editora Unesp, 407p, 2008.

QUEIROZ, J.P.S.; COSTA, A.J.M.; NEVES, L.G.; SEABRA JÚNIOR, S.; BARELLI, M. A. A. Estabilidade fenotípica de alfaces em diferentes épocas e ambientes de cultivo. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 45, n. 2, p.276-283, 2014.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. Boletim Técnico N^o 100, 2^a ed., n. 100, p. 285, 1997.

RAVEN, P.H.; EICHHORN, S.E.; EVERT, R.F. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 8a edição, 2016.

RESH, H.M. **Cultivos Hidropônicos**. 4^a Ed. Ediciones Mund-Prensa, Madrid, 509 p., 1997.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **The Use of Saline Waters for Crop Production**. Rome: FAO, 133 p. (FAO – irrigation and Drainage Paper, 48), 1992.

RICKLEFS, R. E. A Economia da Natureza. Rio de Janeiro, 5^o Ed. Guanabara Koogan S. A. 542p. 2003.

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

ROSOLEM, C.A. Interação do potássio com outros íons. In: YAMADA, T., ROBERTS, T.L. (Ed). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafós, p.239-260, 2005.

SALA, F.C.; COSTA, C.P. Retrospectiva e Tendência da Alfacicultura Brasileira. **Hortic. Bras.** Vitoria da Conquista, v.30, n.2, p.187-194, jun. 2012.

SANTOS, J. D.; da SILVA, A. L. L.; da LUZ COSTA, J.; SCHEIDT, G. N.; NOVAK, A. C.; SYDNEY, E. B.; SOCCOL, C. R. Development of a vinasse nutritive solution for hydroponics. **Journal of environmental management**, v. 114, p. 8-12, 2013.

SANTOS, M.R.A.; GOMES FILHO, R.R.; FACCIOLI, G.G.; CARVALHO, C.M; NUNES, T.P.; CARVALHO, L.L.S.; ARAÚJO FILHO, R.N.; PEDROTTI, A.; VALNIR JÚNIOR, M; LIMA, S. C. R. V. Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Irrigated with Domestic Sewage

Treated in Protected Environment. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), 10(6), 47-52, 2020. <http://dx.doi.org/10.9790/9622-1006034752>.

SANTOS JÚNIOR, J.A.; GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; ARAUJO, D.L.; GUEDES FILHO, D.H. Substratos e diferentes concentrações da solução nutritiva preparada em água residuária no crescimento do girassol. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 4, p. 696-707, 2014.

SECRETARIA ESPECIAL DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS (SAE). Produção Nacional de Fertilizantes. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf. Acesso em setembro de 2021.

SILVA, F. Biorremocão Dde Nitrogênio, Fósforo e Metais Pesados (Fe, Mn, Cu, Zn) do Efluente Hidropônico, Através do Uso de *Chlorella vulgaris*. Dissertação de mestrado, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

SILVA, E.M.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** 29: 242-245, 2011.

SILVA, F.C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2ª ed., Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E; MOLLER, I.M; MURPHY, A. Fisiologia e Desenvolvimento vegetal. 6ª ed., Artmed Editora, 858p., 2017.

TESTEZLAF, R. Irrigação: métodos, sistemas e aplicações. Feagri, 215p., ISBN 978-85-99678-10-7 e-book, 2017.

TORRÊS, A.N.L. **Critérios para manutenção da solução nutritiva no cultivo hidropônico de alface**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. 2003.

VALADARES, G.S.; AVANCINI, C.S.A.; TÖSTO, S.G. Uso e Cobertura das Terras do Município de Araras, circular técnica 14. EMBRAPA. 2008. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/31424/1/circtec14araras.pdf>>. Acesso em: 16/04/2019.

VAZ, R.M.R.; JUNQUEIRA, A.M.R. Desempenho de três cultivares de alface sob cultivo hidropônico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 2, p. 178-189, 1998.

VEGRO, C.L.R. Análises e Indicadores do Agronegócio. INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, v. 13, n. 4, abril 2018.

VIÇOSI, K.A.; MELO, A. L.; CARMANHAN, L.G.B. **ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA DA LITERATURA NACIONAL SOBRE O CULTIVO HIDROPÔNICO**. Biodiversidade - V.17, n.1, - p.120, 2018

VOLPE, H. X. L.; ARAÚJO, J. A. C.; VIGATTO, R.; PINTO, S. E.; FACTOR, T. L. Manejo de Renovação da Solução Nutritiva para Alface em Hidroponia. In: 44 congressos brasileiro de olericultura, 2004, Campo Grande/ MS. Horticultura Brasileira (Impresso), v. 22. p. 484-485, 2004.