UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FCA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

HAYVER OLAYA TÉLLEZ

PULSOS ELÉTRICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA, MAGNETISMO E ELETROMAGNETISMO COMBINADO AO MANEJO DE SOLUÇÃO HIDROPÔNICA EM ALFACE E RÚCULA

Botucatu

2024

HAYVER OLAYA TÉLLEZ

PULSOS ELÉTRICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA, MAGNETISMO E ELETROMAGNETISMO COMBINADO AO MANEJO DE SOLUÇÃO HIDROPÔNICA EM ALFACE E RÚCULA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador: Roberto Lyra Villas Bôas

Botucatu

2024

T275p

Téllez, Hayver Olaya
Pulsos elétricos de baixa frequência, magnetismo e eletromagnetismo combinado ao manejo de solução hidropônica em alface e rúcula / Hayver Olaya Téllez. -- Botucatu, 2024
123 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu
Orientador: Roberto Lyra Villas Bôas

1. Agronomia. 2. Hidroponics. 3. Hortaliças. 4. Campo magnético. 5. Irrigação. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Impacto potencial desta pesquisa

Propor alternativas tecnológicas que potencializem a produtividade das culturas de alface e rúcula, reduzindo a incidência de algas sobre o sistema radicular, aumentando a vida útil da solução nutritiva e diminuindo o uso de fertilizantes em sistemas hidropônicos. A implementação do campo magnético mostra maior potencial em culturas onde o produto aproveitável é a raiz, e os resultados encontrados sob estresse por temperatura acima de 25°C evidenciam possíveis benefícios. O campo magnético é uma tecnologia alinhada com vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, contribuindo para reduzir a pobreza, proteger o meio ambiente e melhorar o consumo e a produção responsável.

Potential impact of this research

To propose technological alternatives that enhance the productivity of lettuce and arugula crops, reducing algae incidence on the root system, extending the lifespan of the nutrient solution, and decreasing fertilizer usage in hydroponic systems. The implementation of a magnetic field shows greater potential in crops where the usable product is the root, and the results observed under stress due to temperatures above 25°C demonstrate potential benefits. The magnetic field technology aligns with various United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), contributing to poverty reduction, environmental protection, and the promotion of responsible consumption and production.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:

PULSOS ELÉTRICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA, MAGNETISMO E ELETROMAGNETISMO COMBINADO AO MANEJO DE SOLUÇÃO HIDROPÔNICA EM ALFACE E RÚCULA

AUTOR: HAYVER OLAYA TÉLLEZ

ORIENTADOR: ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem), pela Comissão Examinadora:

Prof.Titular ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS (Participaçao Presencial)
Ciencia Florestal Solos e Ambiente / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu UNESP

Prof. Dr. LUIZ VITOR CREPALDI SANCHES (Participaçao Presencial)
Fitotecnia / Faculdades Integradas de Bauru

Prof. Dr. LEANDRO JOSE GRAVA DE GODOY (Participaçao Presencial)
Coordenadoria do Curso de Engenharia Agronomica / UNESP Campus de Registro

Prof. Dr. FERNANDO FERRARI PUTTI (Participaçao Presencial)
Engenharia de Biossistemas / Faculdade de Ciencia e Engenharia UNESP

Pesquisador Dr. MARCELO LEONARDO (Participaçao Presencial)
Casa da Agricultura / Coordenadoria de Assistência Técnica Integral

Botucatu, 28 de março de 2024.

A todos os envolvidos ao longo de minha jornada, que me orientaram e acreditaram em mim.

Dedico este momento de conquista e realização.

Sua presença, apoio e confiança foram bússolas que me guiaram através dos desafios e incertezas do caminho.

Sou grato por cada palavra de incentivo, por cada gesto de orientação e por cada mão estendida.

Vocês me ensinaram que a jornada é mais bela quando compartilhada, e que a fé nos nossos sonhos é a força que nos impulsiona.

Hoje, celebro este marco com vocês, pois o seu papel nesta conquista é inestimável.

Obrigado por fazerem parte da minha história, por acreditarem em mim quando eu mesmo duvidava, e por me mostrarem que o sucesso é possível quando unimos forças, sonhos e esperanças.

Que nossa jornada continue lado a lado, trilhando novos caminhos e construindo conquistas ainda maiores.

Com eterna gratidão!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por ser meu guia constante.

Aos meus queridos pais, Ruben Dario Olaya Castañeda e Flor Erly Téllez Rincon, pelo apoio incondicional e pelo amor inigualável.

Aos meus irmãos de brigas e alegrias, Deybi Robinson, Eliana Stella e Diego Nicolas, que sempre acreditam num futuro melhor em família.

À minha namorada, Debora, pelo seu amor, companheirismo, compreensão e por estar ao meu lado nos momentos de incerteza, dando-me inspiração ao longo destes anos de luta constante.

Aos demais familiares que contribuíram, mesmo quando poucos acreditavam.

Às amizades construídas ao longo da jornada, que levarei para sempre na memória.

Ao Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Bôas, pela orientação, ensinamentos, conselhos, paciência e exemplo de humanidade.

A todos os professores e funcionários da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) da UNESP que fizeram parte da minha formação integral.

A todos os colegas que participaram direta ou indiretamente na realização deste trabalho, desde a sala de aula até o desenvolvimento das pesquisas em campo.

À banca examinadora da qualificação e tese, pelas valiosas contribuições para a melhoria na qualidade deste trabalho.

À Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" por permitir-me fazer parte de sua história.

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

"Sigue los impulsos de tu corazón y responde al estímulo de tus ojos"

BIBLIA, A. T. Eclesiastés (11, 9). In: BÍBLIA. Sagrada Biblia católica: Antiguo y Nuevo Testamentos. Traducción: Walter Eduardo Lisboa. São Paulo: Biblia Pastoral, 2014. p.993.

RESUMO

A procura por alimentos mais saudáveis demanda uma produção constante e de qualidade de hortaliças como alface e rúcula nas proximidades das grandes cidades. O sistema hidropônico permite o controle dos fatores que influenciam o desenvolvimento vegetal, possibilitando a experimentação de novas tecnologias ecologicamente sustentáveis, alinhadas com os objetivos de desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, o presente trabalho se propõe a quantificar, ao longo de cinco capítulos, a influência de pulsos elétricos de baixa frequência, magnetismo e eletromagnetismo na produção de culturas hidropônicas. Os resultados obtidos demonstram que o uso contínuo de pulsos elétricos de baixa frequência provocou diferenças significativas nas variáveis de crescimento e absorção de nutrientes. Observou-se que a fertilização com 80% da concentração da solução nutritiva promoveu resultados discrepantes em condições de estresse por temperatura. Entretanto, tanto o desenvolvimento como a pós-colheita da alface, independentemente da concentração da solução nutritiva, apresentaram comportamento semelhante entre as plantas não tratadas, indicando uma influência reduzida dessa tecnologia. Quanto ao uso de magnetismo e eletromagnetismo na solução nutritiva, constatou-se melhorias significativas no desenvolvimento, na produtividade e na redução da incidência de algas nas raízes das plantas. Especificamente, o magnetismo demonstrou melhorias nas variáveis biométricas da alface, enquanto o eletromagnetismo resultou em aumento na concentração de magnésio, manganês e ferro no desenvolvimento da rúcula. Portanto, este estudo evidencia uma alternativa tecnológica promissora que proporciona benefícios na produtividade de diferentes culturas em sistemas hidropônicos, podendo aumentar sua tolerância aos efeitos adversos causados por estresses abióticos e reduzindo o consumo de fertilizantes.

Palavras chave: tecnologia; sustentabilidade; nutrição vegetal; desenvolvimento; campo magnético.

ABSTRACT

The demand for healthier food leads to the constant and high-quality production of vegetables such as lettuce and arugula in the vicinity of large cities. Techniques like hydroponic systems allow for the control of factors influencing plant development, enabling the testing of new environmentally sustainable technologies aligned with sustainable development goals. In this context, this study aims to quantify, over five chapters, the influence of low-frequency electrical pulses, magnetism, and electromagnetism on hydroponic crop production. The results demonstrate that the continuous use of low-frequency electrical pulses resulted in significant differences in growth variables and nutrient absorption. It was observed that fertilization with 80% of the nutrient solution concentration yielded disparate results under temperature stress conditions. However, both the development and post-harvest of lettuce, regardless of the nutrient solution concentration, exhibited similar behavior among untreated plants, indicating a reduced influence of this technology. Significant improvements were observed in plant development, productivity and reduction of algae incidence on the roots using magnetism and electromagnetism in the nutrient solution. Magnetism showed improvements in lettuce biometric variables, while electromagnetism resulted in an increase in magnesium, manganese, and iron concentration during arugula development. Therefore, this study highlights a promising technological alternative that provides benefits in the productivity of different crops in hydroponic systems, may increase its tolerance to adverse effects caused by abiotic stresses and reducing fertilizer consumption.

Keywords: technology; sustainability; vegetal nutrition; development; magnetic field.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1 - DESENVOLVIMENTO DA ALFACE (*Lactuca sativa*) EM HIDROPÔNIA TRATADA COM PULSOS ELÉTRICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA 34

Figura 1 - Comportamento da umidade relativa e a temperatura ao longo de três ciclos de experimento. Botucatu SP, 2021 36

Figura 2 - Croqui do desenho do sistema hidropônico utilizado no desenvolvimento da cultura de alface. Botucatu – SP. 2021..... 37

Figura 3 - Valores médios das variáveis biométricas na interação entre a solução e ciclos de cultivo. 40

Figura 4 - Valores médios das variáveis biométricas na interação entre ciclos de cultivo vezes frequência dos tratamentos. 42

Figura 5 - Valores médios das variáveis biométricas na interação solução vezes frequência dos tratamentos. 43

CAPÍTULO 2 - CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA CULTURA DA ALFACE HIDROPÔNICA TRATADA COM PULSOS ELÉTRICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA 48

Figura 1 - Comportamento da umidade relativa e a temperatura ao longo do período do experimento. Botucatu - SP, 2021 51

Figura 2 - Croqui do desenho do sistema hidropônico utilizado no desenvolvimento da cultura de alface. Botucatu – SP, 2021..... 52

Figura 3 - Valores médios das variáveis nutricionais na interação solução vezes frequência de exposição a pulsos de baixa frequência em alface hidropônica 55

CAPÍTULO 3 - VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS E PÓS-COLHEITA DA ALFACE HIDROPÔNICA TRATADA COM PULSOS ELÉTRICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA 61

Figura 1 - Comportamento da umidade relativa e a temperatura ao longo de três ciclos de experimento 63

Figura 2 - Croqui do desenho do sistema hidropônico utilizado no desenvolvimento da cultura de alface 64

Figura 3 - Tendência do desenvolvimento das variáveis biométricas ao longo dos 24 dias após transplantio da cultura de alface tratada com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico 66
Figura 4 - Tendência do comportamento da clorofila ao longo dos 24 dias após transplantio da cultura de alface tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico ... 67
Figura 5 - Tendência do desenvolvimento das variáveis ao longo dos 7 dias de pós-colheita da cultura de alface tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico ... 69
Figura 6 - Perda de massa ao longo de 7 dias de pós-colheita da cultura de alface tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico 70
CAPÍTULO 4 - EFEITOS NA PRODUÇÃO DE ALFACE HIDROPÔNICA COM TRATAMENTO MAGNÉTICO E ELETROMAGNÉTICO NA SOLUÇÃO NUTRITIVA 76
Figura 1 - Monitoramento ao longo do experimento: A) Condições climáticas (umidade relativa e temperatura). B) Condutividade elétrica da solução nutritiva 83
Figura 2 - Resposta das variáveis biométricas na cultura de alface hidropônica submetida a tratamento magnético, eletromagnético e convencional na solução nutritiva. Distinta letra maiúscula apresenta diferenças estatísticas e letras iguais ou ausência de diferença entre tratamentos. As barras de erro indicam o desvio padrão da média das repetições. ATM: Solução nutritiva tratada magneticamente. ATE: Solução nutritiva tratada eletromagneticamente. Convencional: Solução nutritiva sem tratamento..... 84
Figura 3 - Concentração de macro e micronutrientes na cultura de alface hidropônica submetida a tratamento magnético, eletromagnético e convencional na solução nutritiva. Distinta letra maiúscula apresenta diferenças estatísticas e letras iguais ou ausência de diferença entre tratamentos. As barras de erro indicam o desvio padrão da média das repetições. ATM: Solução

nutritiva tratada magneticamente. ATE: Solução nutritiva tratada eletromagneticamente. Convencional: Solução nutritiva sem tratamento 86
Figura 4 - Desenvolvimento do número de folhas, SPAD, massa fresca e seca de raiz e parte aérea ao longo do clico da cultura de alface hidropônica submetida a tratamento magnético, eletromagnético e convencional na solução nutritiva. Distinta letra maiúscula apresenta diferenças estatísticas e letras iguais ou ausência de diferença entre tratamentos. As barras de erro indicam o desvio padrão da média das repetições. ATM: Solução nutritiva tratada magneticamente. ATE: Solução nutritiva tratada eletromagneticamente. Convencional: Solução nutritiva sem tratamento; DAT: Dias após transplantio..... 87
Figura 5 - Incidência de algas sobre a raiz da alface hidropônica. ATM: Solução nutritiva tratada magneticamente. ATE: Solução nutritiva tratada eletromagneticamente. Conv.: Solução nutritiva sem tratamento 88
CAPÍTULO 5 - TRATAMENTO MAGNÉTICO E ELETROMAGNÉTICO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA NA PRODUÇÃO DE RÚCULA HIDROPÔNICA 97
Figura 1 - Monitoramento ao longo do experimento: A) Condições climáticas (umidade relativa e temperatura), B) Condutividade elétrica da solução nutritiva. Botucatu - SP, 2021. 104
Figura 2 - Resposta das variáveis biométricas na cultura de rúcula hidropônica. Distinta letra maiúscula apresenta diferenças estatísticas entre tratamentos e letras iguais ou ausência de diferença estatística (ns). ATM: Magnetismo, ATE: Eletromagnetismo, Convencional: Solução nutritiva..... 105
Figura 3 - Desenvolvimento do número de folhas e SPAD ao longo do ciclo da cultura de rúcula hidropônica. ATM: Magnetismo, ATE: Eletromagnetismo, Convencional: Solução nutritiva, DAT: Dias após transplantio. 107

Figura 4 - Desenvolvimento da massa seca de raiz e massa fresca e seca da parte aérea ao longo do clico da cultura de rúcula hidropônica. MSR: Massa seca da raiz, MSPA: Massa seca da parte aérea, MFPA: Massa fresca da parte aérea, ATM: Magnetismo, ATE: Eletromagnetismo, Convencional: Solução nutritiva, DAT: Dias após transplantio. 108
Figura 5 - Concentração de macro e micronutrientes na cultura de rúcula hidropônica. ATM: Magnetismo, ATE: Eletromagnetismo, Convencional: Solução nutritiva. 109
Figura 6 - Presencia de algas nas raízes dos maços na rúcula. ATM: Magnetismo. ATE: Eletromagnetismo. CONV.: Convencional 111

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 - DESENVOLVIMENTO DA ALFACE (*Lactuca sativa)* EM HIDROPÔNIA TRATADA COM PULSOS ELÉTRICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA..... 34

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para as variáveis de número de folhas, massa fresca e seca das raízes e parte aérea e o índice SPAD, clorofila e espectrofotometria da alface tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico, Botucatu, São Paulo. 2021 39

Tabela 2 - Valores médios e desvio padrão das variáveis de crescimento vegetativo da alface tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico, Botucatu, São Paulo. 2021..... 39

CAPÍTULO 2 - CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA CULTURA DA ALFACE HIDROPÔNICA TRATADA COM PULSOS ELÉTRICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA 48

Tabela 1 - Resumo da análise de variância e valores médios e desvio padrão da concentração de macro e micronutrientes na cultura da alface tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico..... 54

CAPÍTULO 3 - VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS E PÓS-COLHEITA DA ALFACE HIDROPÔNICA TRATADA COM PULSOS ELÉTRICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA..... 61

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para as variáveis de °Brix, pH e acidez titulável da cultura de alface tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico 68

Tabela 2 - Valores médios e desvio padrão das variáveis de pós-colheita da alface tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico..... 68

LISTA DE SÍMBOLOS

R^2	Coeficiente de retração
DAT	Dias após transplantio
%	Porcentagem
KHz	Kilohertz
CE	Condutividade elétrica do solo
ATT	Acidez titulável
ATM	Água tratada magneticamente
ATE	Água tratada eletromagneticamente
CE	Condutividade elétrica
pH	Potencial de hidrogênio

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL 29

CAPÍTULO 1 - DESENVOLVIMENTO DA ALFACE (*Lactuca sativa*) EM HIDROPÔNIA TRATADA COM PULSOS ELÉTRICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA 34

1.1 RESUMO 34
1.2 ABSTRACT 34
1.3 INTRODUÇÃO 35
1.4 MATERIAL E MÉTODOS 36
1.4.1 Localização da área experimental 36
1.4.2 Delineamento experimental 36
1.4.3 Sistema hidropônico 36
1.4.4 Avaliações 38
1.4.5 Análises estatística 38
1.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 38
1.5.1 Análises biométricas 38
1.6 CONCLUSÃO 44
1.7 AGRADECIMENTOS 44
REFERÊNCIAS 44

CAPÍTULO 2 - CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA CULTURA DA ALFACE HIDROPÔNICA TRATADA COM PULSOS ELÉTRICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA 48

2.1 RESUMO 48
2.2 ABSTRACT 48
2.3 INTRODUÇÃO 49
2.4 MATERIAL E METODOS 50
2.4.1 Delineamento experimental 50
2.4.2 Sistema hidropônico 51
2.4.3 Avaliações 52
2.4.4 Analises estatística 53
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 53
2.5.1 Concentração de Nutrientes 53

2.6 CONCLUSÃO 57
2.7 AGRADECIMENTOS 57
REFERÊNCIAS 57

CAPÍTULO 3 - VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS E PÓS-COLHEITA DA ALFACE HIDROPÔNICA TRATADA COM PULSOS ELÉTRICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA 61

3.1 RESUMO 61
3.2 ABSTRACT 61
3.3 INTRODUÇÃO 62
3.4 MATERIAL E METODOS 63
3.4.1 Localização da área experimental 63
3.4.2 Delineamento experimental 63
3.4.3 Sistema hidropônico 63
3.4.4 Avaliações 64
3.4.5 Analises estatística 65
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 66
3.5.1 Analises biométricas 66
3.6 CONCLUSÃO 71
3.7 AGRADECIMENTOS 71
REFERÊNCIAS 71

CAPÍTULO 4 - EFEITOS NA PRODUÇÃO DE ALFACE HIDROPÔNICA COM TRATAMENTO MAGNÉTICO E ELETROMAGNÉTICO NA SOLUÇÃO NUTRITIVA 76

4.1 RESUMO 76
4.2 ABSTRACT 77
4.3 INTRODUÇÃO 77
4.4 MATERIAL E METODOS 79
4.4.1 Localização da área experimental 79
4.4.2 Delineamento experimental 79
4.4.3 Sistema hidropônico 80
4.4.4 Avaliações 81
4.4.5 Analises estatística 82

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 82
4.6 CONCLUSÕES 89
4.7 AGRADECIMENTOS 90
REFERÊNCIAS 90

CAPÍTULO 5 - TRATAMENTO MAGNÉTICO E ELETROMAGNÉTICO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA NA PRODUÇÃO DE RÚCULA HIDROPÔNICA 97

5.1 RESUMO 97
5.2 ABSTRACT 97
5.3 INTRODUÇÃO 98
5.4 MATERIAL E METODOS 101
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 104
5.6 CONCLUSÕES 111
REFERÊNCIAS 111

CONSIDERAÇÕES FINAIS 118

REFERÊNCIAS 119

INTRODUÇÃO GERAL

A produção de alimentos demanda inovações tecnológicas constantes que permitam o sucesso das culturas em diferentes condições ambientais, desenvolvendo espécies tolerantes ou resistentes a pragas, doenças, solos pobres ou déficit hídrico, neste sentido são testadas e projetadas novas formas de produção, equipamentos e espécies vegetais melhoradas geneticamente (Borém *et al.,* 2021). Dependendo do tipo de cultura algumas técnicas podem ser implementadas como a irrigação aumentando a produtividade e inclusive sistemas sem solo hão sido desenvolvidas para espécies hortícolas, otimizando assim os recursos naturais (Bezerra Neto, 2017; Gramasco, 2021).

Dentro das hortaliças folhosas de destaque comercial no Brasil e no mundo tem se a alface (*Lactuca sativa* L.) e a rúcula (*Eruca sativa* Miller) podendo ser consumidas *in natura* (Sala; Costa, 2012; Silva *et al.,* 2022). Estas culturas contribuem com relevante importância econômica e social ao ser cultivadas majoritariamente por pequenos produtores (Mitova *et al.,* 2017; Jardina *et al.,* 2017; Sousa *et al.,* 2022). Estados do sul e sudeste brasileiro possuem maior concentração tanto na produção como no consumo destas hortaliças (Pinheiro *et al.,* 2021).

A incorporação de melhores hábitos alimentares pela população tem aumentado o consumo de hortaliças como a rúcula e alface, aproveitando suas propriedades digestivas, diuréticas, estimulantes, laxativas, anti-inflamatórias, de baixo teor de gordura, calorias e sódio, sendo fonte de fibras, ferro e vitamina C (Melo *et al.,* 2016; Porto *et al.,* 2013; Kim *et al.,* 2016). Demandando assim seu fornecimento o ano todo com qualidade (Martinez *et al.,* 2016; Barros; Pordeus, 2016).

Na produção de hortaliças têm se destacado métodos como o hidropônico, onde o solo é substituído por uma solução aquosa enriquecida com os elementos minerais essenciais para o desenvolvimento adequado dos vegetais (Furlani *et al.,* 1999). Essa técnica requer maior cuidado na instalação e manejo, proporcionando hortícolas com boa qualidade sanitária e rendimentos iguais ou superiores em comparação com a produção convencional (Al-Tawaha *et al.,* 2018; Santos *et al.,* 2013).

A técnica hidropônica consiste num ambiente fechado ondes se fornece uma solução com nutrientes de forma equilibrada segundo o tipo de cultura. O sistema possibilita recircular a solução pelo sistema até que está diminua de qualidade e precise ser trocada, reduzindo o risco de contaminação das águas subterrâneas por

resíduos em excesso e rentabilizando melhor a produção de hortaliças (Paulus *et al.,* 2012; Tzerakis *et al.,* 2013).

Nesse contexto, o cultivo hidropônico fornece alternativas para a produção de alface e rúcula em regiões com condições adversas, implementando adequações para baixar a temperatura e luminosidade. Ao ser um sistema onde as raízes estão em contato com a solução, isto favorece a absorção e acúmulo de nutrientes que, em excesso, podem causar danos as plantas e ao consumidor final quando se refere à concentração de nitrato (NO_3^-) nas folhas (Cometti *et al.,* 2019; Felippe; Pereira, 2020). Nesse sentido, Fernandes *et al.* (2018) relata a preocupação em reduzir a concentração das soluções nutritivas utilizadas nos cultivos hidropônicos, buscando manter o teor do NO_3^- em níveis adequados nos tecidos vegetais. Demandando pesquisas que aumentem a eficiência dos nutrientes sem prejudicar a qualidade das plantas.

A versatilidade da produção de alface e rúcula permite sua implementação em casas de vegetação, aquaponia, hidroponia e inclusive em substrato, assim fornece alternativas para que pequenos produtores adotem qualquer técnica segundo sua disponibilidade de recursos. Dentre estes métodos, a hidroponia tem conseguido rápida expansão perto dos centros consumidores, sua versatilidade faz com que possa se adaptar a distintos panoramas, além de reduzir o consumo de água e requerer menor espaço para seu funcionamento em comparação com a produção convencional (Al-Ogaidi *et al.,* 2017; Al-Tawaha *et al.,* 2018; Santos *et al.,* 2013).

Dentro o sistema hidropônico encontrasse técnicas como fluxo profundo (DFT); flutuação dinâmica de raízes (DRFT); filme nutriente (NFT); cultivo em substrato, podendo ser associada com as técnicas anteriores (Bezerra Neto; Barreto, 2012). Entanto, a técnica mais utilizada para a produção de folhosas como alface e rúcula é o NFT (Kaiser; Ernst, 2012). Outros cultivos como tomate, pepino, morango, feijão, agrião e cebolinha também estão sendo desenvolvidos no sistema hidropônico com algumas leves modificações para manter as plantas erguidas (Resh, 2013). Têm sido produzidos consórcios de espécies num mesmo sistema como alface, rúcula, cebolinha e agrião ao mesmo tempo por ter demanda de nutrientes similar (Edaroyati *et al.,* 2017).

O método hidropônico sempre está em constante aprimoramento, permitindo testar novas metodologias que permitam expressar o potencial genético das culturas, nesse sentido são utilizadas técnicas, equipamentos e instalações que gerem

diferencial no desenvolvimento vegetal e que reduzam os custos de produção de forma sustentável. Metodologias que vão desde o tratamento com pulsos elétricos de baixa frequência até o magnetismo e eletromagnetismo na solução nutritiva da irrigação estão sendo testados (Chibowski; Szczes, 2018; Putti *et al.,* 2023a, 2023b; Piyadasa *et al.,* 2017). Neste contexto, tecnologias ecologicamente corretas ganham relevância por procurar a otimização dos recursos na agricultura de forma sustentável (Yu; Wu, 2018).

Uma dessas tecnologias é o sistema eletrônico anti-incrustacão, que oferece tratamento ecologicamente correto da água, reduzindo a incrustação e a ferrugem nos sistemas de irrigação. Essa técnica realiza o tratamento da água sem a aplicação de químicos, emitindo pulsos elétricos de baixa frequência que alteram o processo de cristalização do cálcio nas águas duras, fazendo com que as partículas perdão a capacidade de fixar às superfícies, ajudando na liberação de compostos insolúveis que podem ser aproveitados no desenvolvimento dos vegetais (Mercier *et al.,* 2016; Piyadasa *et al.,* 2017).

Outra técnica consiste em expor a água a um campo magnético que pode gerar alterações nos parâmetros físicos e químicos e provavelmente ser aproveitados no crescimento e desenvolvimento vegetal (Putti *et al.,* 2023b; Liu *et al.,* 2019). Segundo Pang e Deng, (2008) quando a água é exposta a um campo magnético, as ligações de hidrogênio das moléculas se aproximam, formando cadeias fechadas de ligações de hidrogênio, facilitando a condução da 'corrente elétrica molecular' devido à ação da força de Lorentz do campo magnético. Assim, essas interações magnéticas reduzem a tensão superficial, causando um aumento na dissolução mineral na água, disponibilizando quantidades adequadas de nutrientes para o desenvolvimento vegetal com menor custo energético (Mghaiouini *et al.,* 2021; Szczes *et al.,* 2020; Zhao *et al.,* 2021).

O uso de campo magnético ou eletromagnético polariza as moléculas de água e estas tendem a se organizarem num mesmo sentido (Chibowski; Szczes, 2018; Gaafar *et al.,* 2015), podendo aumentar o pH, condutividade elétrica (CE), difusão, permeabilidade e reduzir a viscosidade, tensão superficial, melhorando a fluidez e permeabilidade em relação à água submetidas ao campo (Al-Ogaidi *et al.,* 2017; Szczes *et al.,* 2020).

Estudos são desenvolvidos visando compreender os efeitos gerados pelo campo magnético e o uso de pulsos elétricos de baixa frequência na produção agrícola (Selim

et al., 2019; Sarraf *et al.,* 2020; Xiao *et al.,* 2020). Foram reportadas mudanças na força magnética de B(max) = 0,023 mT e B(min) = 0,008 mT, com B(avg) = 0,0155 mT para B(max) = 0,0185 mT e B(min) = 0,005 mT, com B(avg) = 0,01175 mT entre a água com e sem tratamento com campo magnético, respectivamente (Mghaiouini *et al.,* 2021)

Benefícios na agricultura com uso de água tratada com magnetismo e eletromagnetismo abrangem desde a germinação de sementes até o crescimento e desenvolvimento de mudas e plantas, associado possivelmente ao aumento da hidratação de íons, e assim, conseguindo ter um maior aproveitamento dos nutrientes pelas raízes das plantas (Abobatta, 2019; Khaskhoussy *et al.,* 2023; Liu *et al.,* 2019). Também existem relatos de benefícios no desenvolvimento vegetal ao ser tratada a solução nutritiva com pulsos elétricos de baixa frequência.

Redução dos efeitos adversos do estresse salino, uso eficiente da água e benefícios no desenvolvimento têm sido reportados em trigo (Selim *et al.,* 2019), alface (Putti *et al.,* 2015), berinjela (Souza *et al.,* 2019) e cenoura (Putti *et al.,* 2018), efeitos na germinação em tomate (Yusuf *et al.,* 2019), trigo (Massah *et al.,* 2019) e arroz (Zhou *et al.,* 2022) até redução na incidência de biofilmes de algas (Mercier *et al.,* 2016; Xiao *et al.,* 2020).

Na atualidade o uso de água tratada com campo eletromagnético ou magnético é pouco explorado (Zhang *et al.,* 2022) e ainda menos implementado pulsos elétricos de baixa frequência com fins agrícolas. Estas tecnologias que não utilizam nenhum tipo de químico são relevantes para fazer frente às mudanças ambientais e buscam alternativas que aumentem a produção agrícola com menos consumo dos recursos água e fertilizantes.

Algumas vantagens do sistema hidropônico estão correlacionadas com a possibilidade de fazer o acompanhamento detalhado dos fatores que interferem no desenvolvimento vegetal como controlar a disponibilidade nutricional na solução e seguimento sanitário das plantas, além de diminuir a interferência ambiental quando conduzida dentro de casa de vegetação.

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é quantificar a influência dos pulsos elétricos de baixa frequência, magnetismo e eletromagnetismo na produção de culturas hidropônicas**.** Avaliou-se a influência no desenvolvimento (capítulo 1), concentração de nutrientes (capítulo 2) e comportamento de variáveis biométricas e de pós-colheita (capítulo 3) da alface hidropônica em casa de vegetação utilizando um

sistema eletrônico anti-incrustação e os efeitos na produção de alface (capítulo 4) e rúcula (capítulo 5) hidropônica submetida a tratamento magnético e eletromagnético na solução nutritiva recomendada por Furlani *et al.* (1999) que consta de 187 N; 72 P; 220 K; 143 Ca; 38 Mg; 52 S; 0,45 B; 0,45 Cu; 1,81 Fe; 0,45 Mn; 0,18 Zn e 0,09 Mo.

CAPÍTULO 1

DESENVOLVIMENTO DA ALFACE (*Lactuca sativa*) EM HIDROPÔNIA TRATADA COM PULSOS ELÉTRICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA[1]

1.1 RESUMO

Novas tecnologias têm incrementado a produção agrícola no mundo e as hortaliças folhosas, como a alface, ganham destaque comercial no Brasil por ser as mais consumidas *in natura*. Métodos como o hidropônico, elevam a produtividade graças a seu nível de tecnificação, mas ainda podem ser aprimorados. Existem trabalhos e relatos que indicam que a aplicação de pulsos elétricos de baixa frequência traz benefícios à produtividade das culturas por isso é necessário realizar estudos detalhados. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência no desenvolvimento da alface hidropônica em casa de vegetação utilizando um sistema eletrônico anti-incrustação. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial com parcelas sub-subdivididas 3x2x3, com quatro repetições. Os fatores avaliados foram frequência do uso do sistema eletrônico (constante, intermitente e sem uso), dois níveis de fertilização de 80% e 100% da solução recomendada por Furlani e três ciclos de produção. O uso de pulsos elétricos de baixa frequência constante resultou em menores médias para as variáveis de crescimento. A concentração 80% da solução nutritiva promoveu os melhores resultados em condições de estresse por temperatura, e o tratamento da água de irrigação com pulsos elétricos de forma intermitente propiciou resultados similares ao tratamento convencional na cultura de alface hidropônica.

Palavras-chave: nft; produção; tecnologia; irrigação

DEVELOPMENT OF LETTUCE *(Lactuca sativa)* IN HYDROPONIC TREATED WITH LOW-FREQUENCY ELECTRICAL PULSES

1.2 ABSTRACT

New technologies have increased agricultural production in the world and leafy vegetables, such as lettuce, gain commercial prominence in Brazil because it is the most consumed fresh. Methods such as hydroponic, raise productivity thanks to its technification level, but can still be improved. There are works and reports that indicate that the application of low frequency electrical pulses has benefits to culture productivity so it is necessary to perform detailed studies. In this sense, the present work aims to evaluate the influence on the development of hydroponic lettuce at a vegetation house using an anti-inconstation electronic system. The entirely randomized design was used in a factorial scheme with 3x2x3 subsubdidiids with four repetitions. The factors evaluated were frequency of the use of the electronic system (constant, intermittent and unused), two fertilization levels of 80% and 100% of the solution recommended by Furlani and three production cycles. The use of constant low frequency electrical pulses resulted in lower averages for growth variables. The 80% concentration of

[1] Capítulo redigido de acordo com as normas do periódico **Revista Irriga** (Brazilian Journal of Irrigation and Drainage)

nutrient solution has promoted the best results under stress conditions per temperature, and the treatment of intermittent electrical pulsed irrigation water has led to results similar to conventional treatment in hydroponic lettuce.

Keywords: nft, production, technology, irrigation

1.3 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional exige maior implementação tecnológica na agricultura, que possa garantir a quantidade e qualidade de alimentos demandada. Novas tecnologias têm incrementado a produção agrícola em culturas como soja, milho, cana-de-açúcar e algumas hortaliças, favorecendo o fornecimento em grandes metrópoles e em países, como o Brasil (IEA, 2020).

Dentro das hortaliças folhosas de maior destaque comercial no Brasil e no mundo, a alface (*Lactuca sativa* L.) é das mais consumidas *in natura*, possuindo grande importância econômica e social por ser maioritariamente cultivada por pequenos produtores (Mitova *et al.*, 2017).

Condições ideais de temperatura para o desenvolvimento da alface variam entre 15 a 25 °C, níveis superiores podem estimular precocemente o pendoamento (Xavier *et al.*, 2021; Magalhães *et al.*, 2010) ao igual que condições de vazão acima de 3 l/mim em sistemas NFT (Al-Tawaha *et al.*, 2018) reduzindo assim a qualidade das plantas.

Métodos alternativos à produção convencional como o sistema hidropônico se destacam devido seu nível de tecnificação e produtividade com qualidade sanitária e rendimento igual ou superior às obtidas de forma convencional (Furlani *et al.*, 1999; Al-Tawaha *et al.*, 2018). À medida que a hidroponia é aprimorada, novas técnicas vão sendo testadas, de forma que permitam expressar melhores resultados nas culturas.

Há alguns trabalhos e relatos que indicam melhoras na produtividade ao ser utilizada a água tratada no desenvolvimento das culturas com o sistema eletrônico anti-incrustação, o qual consiste em tratar a água sem a aplicação de produto químico. O sistema emite pulsos elétricos de baixa frequência o que altera o processo de cristalização do cálcio nas águas duras, fazendo com que as partículas percam a capacidade de se fixar às superfícies e podem melhorar a reorganização das moléculas da água podendo beneficiar o desenvolvimento vegetal (Chibowski; Szczes, 2018; Mercier *et al.*, 2016; Piyadasa *et al.*, 2017).

Também é reportado que o uso desta técnica tem impacto no controle microbiano e formação de biofilmes de algas sobre as superfícies das tubulações, além de poder disponibilizar nutrientes que estavam em compostos insolúveis, favorecendo o aumento da produtividade das culturas. Ainda não há na literatura trabalhos sobre seu impacto em condições estresse biótico ou abiótico em plantas (Xiao *et al.*, 2020).

O sistema hidropônico permite realizar o monitoramento detalhado do desenvolvimento das plantas e reduz a interferência ambiental quando conduzido em casa de vegetação. Apesar dos depoimentos e relatórios positivos do impacto do sistema eletrônico anti-incrustação no desenvolvimento de culturas, é necessário realizar estudos mais detalhados.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência no desenvolvimento da alface hidropônica em casa de vegetação utilizando um sistema eletrônico anti-incrustação.

1.4 MATERIAL E MÉTODOS

1.4.1 Localização da área experimental

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), município de Botucatu-SP, localizado nas coordenadas 22º 51' 03'' de latitude Sul e 48º 25' 37'' longitude Oeste. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa - clima temperado quente (mesotérmico) úmido e a temperatura média do mês mais quente é superior a 25°C e altitude média de 780 m. A precipitação pluviométrica anual média é de 945,15 mm (Cunha; Martins, 2009).

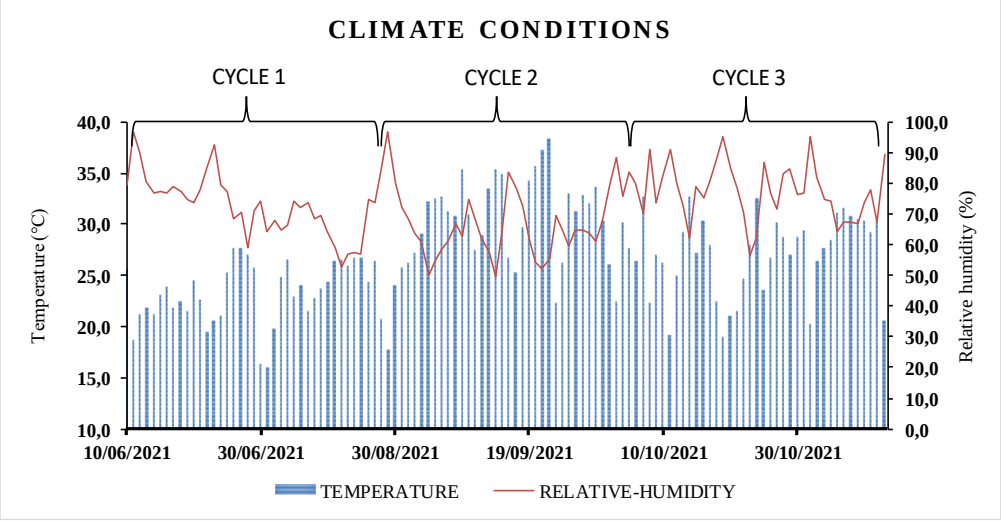
1.4.2 Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial com parcelas sub-subdivididas 3x2x3, com quatro repetições. Os fatores avaliados foram frequência do uso do sistema eletrônico anti-incrustação: constante, intermitente e sem uso; dois níveis de concentração da solução nutritiva: 100% e 80% da recomendada por Furlani e três ciclos de produção.

1.4.3 Sistema hidropônico

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação de 24 metros de comprimento e 7 metros de largura, pé direito de 2,5 metros com altura de 3,8 metros na parte mais alta, cobertura de filme plástico de 150 micras com 2 janelas superiores. O controle da temperatura, foi realizado com a abertura das janelas diariamente quando a temperatura superasse os 25ºC e a luminosidade com instalação de Tela Aluminet 50% a 2 metros de altura sobre as bancadas do sistema hidropônico. A temperatura do ar e a umidade relativa do ar (UR%) no interior da estufa se apresentam na Figura 1.

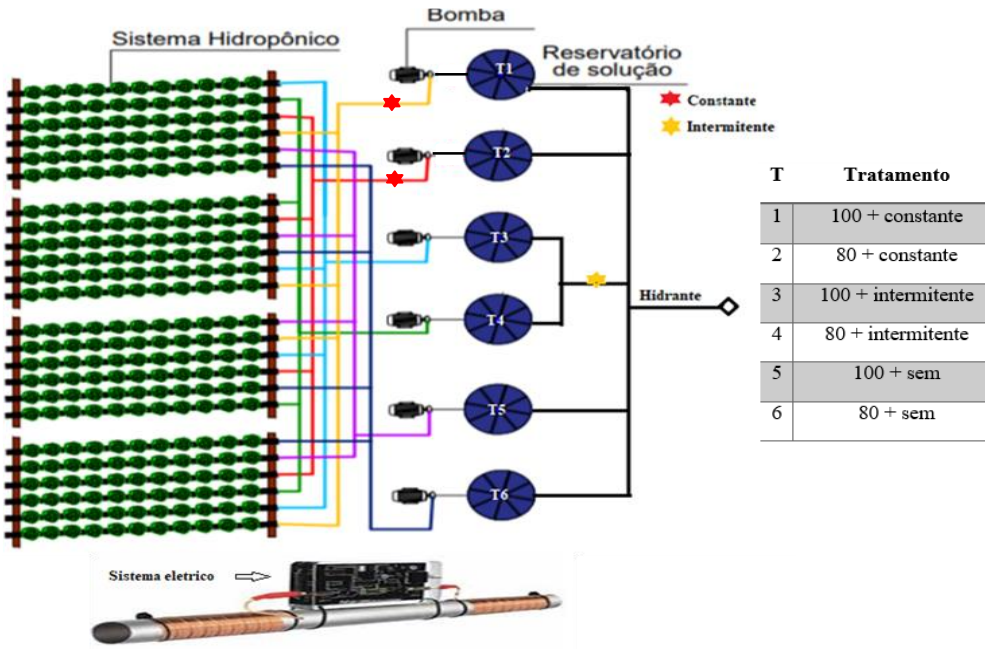
Figura 1. Comportamento da umidade relativa e a temperatura ao longo de três ciclos de experimento. Botucatu SP, 2021



Fonte: Autores (2023)

O sistema hidropônico possui quatro bancadas (repetições) com 5% de inclinação e sustentadas por 5 cavaletes distanciados a 1,40 m: o primeiro cavalete possui 1,10 m e o último 0,80 m de altura. Bancadas de 1,2 m de largura e espaçadas a 0,70 metros. Cada bancada possui seis perfis hidropônicos de PVC (tratamentos) de 6 metros de comprimento e espaçados a 0,20 metros com capacidade para 24 unidades experimentais de 0,05 metros de diâmetro, considerando as 20 unidades centrais como a parcela útil. O esquema do sistema hidropônico está representado na Figura 2.

Figura 2. Croqui do desenho do sistema hidropônico utilizado no desenvolvimento da cultura de alface. Botucatu – SP. 2021



T	Tratamento
1	100 + constante
2	80 + constante
3	100 + intermitente
4	80 + intermitente
5	100 + sem
6	80 + sem

Instalação do sistema eletrônico anti-incrustacão. **Fonte:** Autor (2023)

Foram utilizados reservatórios mesurados de 500 litros para o armazenamento da solução nutritiva. A irrigação da cultura foi feita por meio de tubulação de polipropileno de 25 mm na entrada do perfil hidropônico. O retorno da solução nutritiva até os reservatórios foi realizado por gravidade por meio de tubulação de polipropileno fixada no final do perfil hidropônico por tratamento individualizado.

O sistema de bombeamento da solução nutritiva foi realizado por motobomba periférica de 0,5 cv FERRARI em cada reservatório ou tratamento, controlada por *timer* eletromecânico programado para permanecer ligado por 15 minutos e desligado por 15 minutos, das 6:00 às 18:00 horas e 5 minutos a cada hora das 18:00 às 6:00 com vazão entre 1,5 e 2,0 L por minuto.

A nutrição foi nas concentrações de 80% e 100% da solução nutritiva baseada na recomendação de Furlani *et al.* (1999) que possui 187 N; 72 P; 220 K; 143 Ca; 38 Mg; 52 S; 0,45 B; 0,45 Cu; 1,81 Fe; 0,45 Mn; 0,18 Zn e 0,09 Mo. Agora em diante chamadas soluções 80 e 100, nos ciclos de cultivo com temperatura elevada a solução foi diluída em 20%, mantendo as proporções.

A exposição da solução nutritiva ao sistema eletrônico anti-incrustação que emite pulsos elétricos de baixa frequência (3 – 32 khz) foi constante e intermitente, sendo constante a que manteve a exposição todo o tempo ao longo do ciclo da cultura e intermitente com exposição da água somente no período do enchimento dos reservatórios, repetindo o processo em cada troca de solução nutritiva semanalmente. Os demais tratamentos não tiveram exposição ao sistema e mantiveram as doses nutritivas. Foram monitorados o pH e a CE diariamente.

As mudas de alface foram produzidas em espuma fenólica em ambiente protegido por um período de 30 dias, até que apresentassem 5 a 7 folhas verdadeiras e estivessem uniformes, depois foram transferidas para o sistema hidropônico.

1.4.4 Avaliações

Aos 24 dias após transplante (DAT) foram coletadas 4 plantas por parcela devidamente identificadas e transportadas em bandejas plásticas. A coleta consistiu em deixar uma planta no início e uma no final de cada bancada como efeito bordadura e proceder a coleta das quatro plantas seguintes em ordem de plantio, alternando o extremo da bancada em cada nova coleta. O efeito bordadura foi mantido ao longo do ciclo.

As variáveis analisadas foram: número de folhas, massa fresca da raiz e da parte aérea com auxílio de balança de precisão (0,01 g), massa seca de raiz e da parte aérea, obtida por meio de estufa de circulação de ar forçada, a temperatura de 65°C, até atingir peso constante por aproximadamente 72 horas e posteriormente determinada com auxílio de balança de precisão (0,01 g).

A clorofila foi medida entre as 7 e 10 h na folha com maior atividade fotossintética, utilizando duas tecnologias diferentes. A primeira com medidor eletrônico portátil de intensidade da cor verde das plantas (SPAD), modelo Digital SPAD 502 (Minolta Camera Co. Ltda), sendo realizadas quatro medições em cada folha, duas no lado esquerdo e duas no lado direito do limbo foliar e tomando a média. A segunda utilizou-se o medidor portátil de clorofila CM1000 Chlorophyll meter (Spectrum Technologies, Inc.) realizando quatro medições sobre a coroa de cada planta, localizando o laser sobre as folhas com distância de 1m entre a planta e o equipamento. Evitou-se regiões com nervuras secundárias.

Para o analises da espectrofotometria foram coletadas amostras em garrafas de vidro por cada tratamento no momento do preparo da solução nutritiva e expostas diretamente à luz solar até a seguinte troca da solução uma semana após, posteriormente foram analisadas na longitude de onda 430 no espectrofotômetro 600 plus em modo transmitância verificando a presença de algas.

1.4.5 Análises estatística

Em cada experimento, inicialmente foi checada a normalidade dos dados pelo teste de Anderson-Darling e posterior verificação da homocedasticidade (homogeneidade das variâncias) por meio do teste de Hartley. Os dados foram submetidos à análise de variância, com níveis de significância de 5% de probabilidade de erro. Quando significativas, as médias foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de significância, utilizando-se o programa estatístico R (versão 4.1.2). Os gráficos foram produzidos no programa SigmaPlot (versão 14.0).

1.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.5.1 Análises biométricas

As variáveis de número de folhas, massa fresca e seca da raiz e a parte aérea responderam à interação entre fatores de frequência e solução; frequência e ciclo; dose e ciclo de cultura. No entanto, as variáveis de massa seca da parte aérea, SPAD e índice de clorofila não tiveram interação entre os fatores de solução, ciclo e frequência como se apresenta na Tabela 1.

Os valores médios das variáveis biométricas na cultura de alface constam na Tabela 2.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para as variáveis de número de folhas, massa fresca e seca das raízes e parte aérea e o índice SPAD, clorofila e espectrofotometria da alface tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico, Botucatu, São Paulo. 2021

Fonte de variação	Freq.	Solução	Ciclos	Freq. X Solução	Freq. X Ciclos	Solução X Ciclos	Solução X Ciclos X Freq.
Biométricos	Quadrado médio (p < 0,05)						
N. Folhas	0,401	0,007	<0,0001	0,007	0,113	0,0015	0,03
MF. Raiz	0,381	0,003	<0,0001	0,0003	0,002	0,041	0,040
MS. Raiz	0,230	0,027	<0,0001	0,02	0,30	0,01	0,04
MF. Pa	0,234	0,0002	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,0005	0,017
MS Pa	0,357	0,004	<0,0001	0,004	<0,0001	0,003	0,103
SPAD	0,126	0,20	<0,0001	0,801	0,007	0,03	0,109
IC	0,142	0,809	<0,001	0,004	0,180	0,10	0,275

MF: Massa fresca. MS: Massa seca. Pa: Parte aérea. IC: Índice de clorofila. **Fonte:** Autores (2023)

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão das variáveis de crescimento vegetativo da alface tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico, Botucatu, São Paulo. 2021

Fonte de variação		N. Folhas	MF. Raiz	MS. Raiz	MF. Pa
Freq.	Constante	24.93±4.32b	37.24±12.9	1.98±0.66	174.4±76.3b
	Intermitente	27.98±5.49 a	41.83±13.56	2.42±0.81	268.4±109 a
	Sem	27.58±6.04 a	45.57±14.36	2.41±0.64	270.2±110.9 a
Solução	80	27.57±6.22 a	44.26±14.37 a	2.38±0.72 a	258.9±111.9 a
	100	26.09±4.47 a	38.83±12.96b	2.16±0.74b	216.5±101.9b
Ciclos	1	20.35±1.87b	42.74±8.67b	2.44±0.65b	273.97±34.85b
	2	30.54±3.40 a	29.22±6.85c	1.65±0.38c	131.2±62.9c
	3	29.59±3.13 a	52.67±13.4 a	2.72±0.66 a	308±112.8 a
Tratamento		**MS. Pa**	**SPAD**	**IC**	**Espectro**
Freq.	Constante	9.2±2.98b	18.75±6.28	168.33±23.2	92.08±3.21
	Intermitente	13.01±4.51 a	17.31±5	168.68±23.34	88.39±5.46
	Sem	13.41±4.59 a	17.43±5.17	163.9±28.59	88.52±4.7
Solução	80	12.79±4.68 a	17.48±5.12	166.74±23.07	88.41±5.64
	100	10.96±4.1b	18.18±5.86	167.2±26.95	90.91±3.38
Ciclos	1	12.26±2.42b	11.28±2.47c	151.64±11.87	-
	2	8.52±3.27c	19.01±1.89b	152.66±14.71	92.06±4.05
	3	14.85±4.88 a	23.19±2.59 a	196.61±13.48	87.26±4.23

Solução: % da formulação. N: número. MS: massa seca. MF: massa fresca. IC: Índice de clorofila. - Analises não feito. Letras diferentes tem diferenças estatísticas. **Fonte:** Autores (2023)

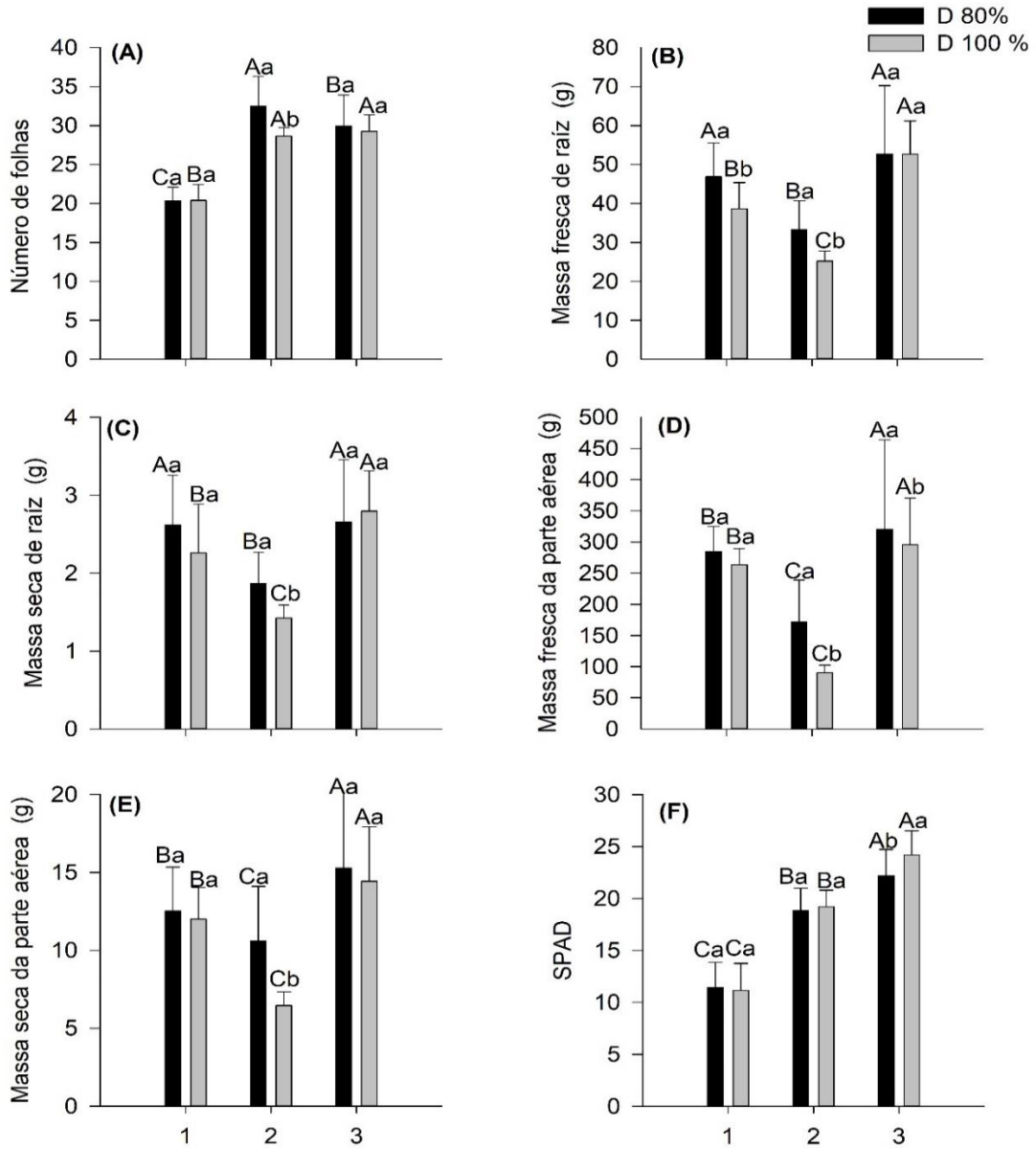
A interação na frequência constante de aplicação dos pulsos elétricos de baixa frequência apresentou redução nas variáveis número de folhas, massa fresca e seca da parte aérea.

A solução 80 mostrou benefícios no desempenho nas variáveis de massa fresca e seca de raiz e da parte aérea de forma geral.

O ciclo 3 obteve os melhores resultados seguido do ciclo 1 para as variáveis, massa seca e fresca de raiz e parte aérea. O melhor desempenho no SPAD foi apresentado no ciclo 3, seguido do ciclo 2. O ciclo 2 e 3 apresentaram melhores resultados para o número de folhas. O índice de clorofila e a espectrofotometria não apresentaram diferenças para nenhuma interação de frequência, solução e ciclo.

Os valores médios para as variáveis biométricas que apresentaram resultado significativo para a interação entre a solução e ciclos de produção, estão apresentadas na Figura 3.

Figura 3. Valores médios das variáveis biométricas na interação entre a solução e ciclos de cultivo.



Letras maiúsculas se referem às diferenças estatísticas entre as variáveis de um mesmo gráfico e minúsculas às diferenças dentro de uma mesma variável.1, 2, 3: Ciclo de produção. **Fonte:** Autores (2023)

O número de folhas (Figura 3A) apresentou aumento de 15% e 3,5% no ciclo 2 e 3, respectivamente, na solução 80, em relação à 100 e superior ao ciclo 1 em 30,5% na média.

A massa fresca e seca de raiz (Figura 3B, C) apresentou redução de 37% no ciclo 2 em relação ao 1 e 3 em geral, podendo observar incremento médio de 9,3% e 12,5% na solução 80 em relação à 100.

A massa fresca e seca da parte aérea (Figura 3D, E) no ciclo 1 e 3 teve incremento na média de 51,5% e 35,5% respectivamente, em relação ao ciclo 2, e a solução 80 teve aumento na ordem de 7,6%, 40% e 10% em relação a 100, com redução na necessidade de nutrientes em condições de temperatura acima da recomendada para a alface.

A intensidade da cor verde das plantas (SPAD), apresentou diferença entre ciclos de produtividade sem variação nas soluções 100 e 80. Valores médios foram encontrados no ciclo 2.

Os resultados mostram adequado desempenho na cultura da alface na solução 80 da recomendada por Furlani *et al.* (1999), evidenciando certa tolerância a condições de estresse pelo aumento da temperatura acima de 25°C como observado no ciclo 2, gerando incremento na quantidade de folhas e diminuição do acúmulo de massa na raiz e na parte aérea. Já o índice SPAD exibiu comportamento indiferente às concentrações da solução nutritiva utilizada.

Condições de temperatura elevado gera maior concentração de sais na solução nutritiva podendo ocasionar distúrbios nutricionais (Xavier *et al.*, 2021). De acordo com Cova *et al.* (2017), a absorção de nutrientes como o Ca e K são os mais afetados pela presença de Na e Cl na solução. A deficiência destes nutrientes reduz o desenvolvimento das plantas, impactando o acúmulo de massa seca e fresca (Taiz *et al.,* 2017). Causando redução da qualidade das plantas e menor acumulo de massa fresca e seca.

O índice SPAD tem relação direta com o estado nutricional da planta, nutriente como o nitrogênio tem participação direta na síntese de clorofila, o qual não foi limitado no presente estudo e isso repercute na ausência de diferenças entre dosagem (Taiz *et al.*, 2017). A condutividade elétrica acima de 2.5 dSm^{-1} geralmente ocasiona desbalanceamento no ajuste osmótico da planta e atrasam seu desenvolvimento (Xavier *et al.,* 2021), o que foi observado no presente estudo no ciclo 2.

No geral, o incremento do número de folhas em detrimento do acúmulo de massa de raiz e parte aérea observado no ciclo 2 contradiz o relatado por Andrade (2019), que reportou adequado desenvolvimento da alface em temperaturas acima de 25 °C., no entanto, os resultados obtidos nesta pesquisa concordam com Soares *et al.* (2020), o qual afirma que altas temperaturas associadas a altos níveis de CE, reduz o acúmulo de massa fresca e seca.

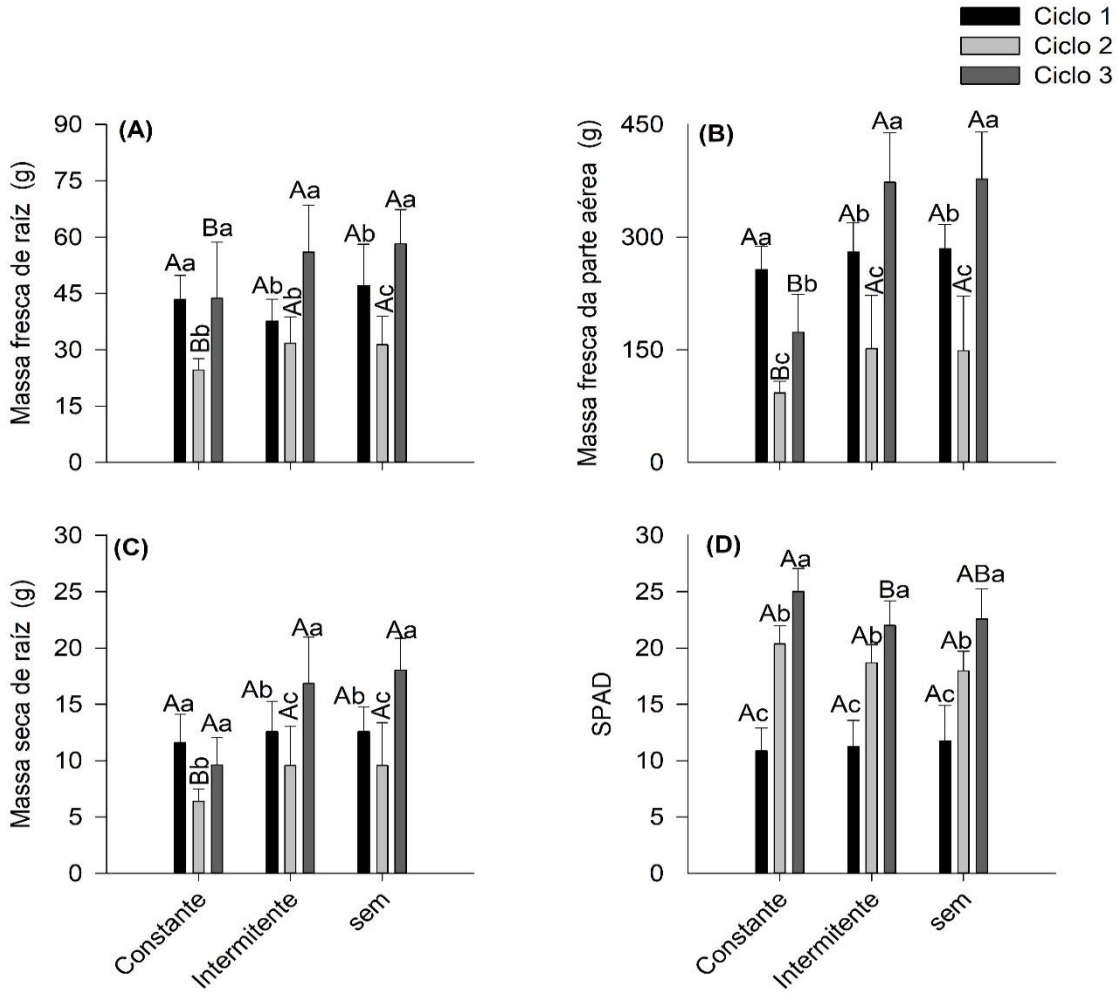
A utilização de menores concentrações de nutrientes reduz o impacto das altas temperaturas e melhora a qualidade da alface em comparação com concentrações maiores de nutrientes na solução, concordando com Luz *et al.* (2018) que obtiveram adequados resultados na concentração de 50% da solução Furlani *et al.* (1999).

Os valores médios das variáveis biométricas que apresentaram resultado significativo para a interação entre os ciclos de produção e na frequência no uso de pulsos elétricos de baixa frequência, estão apresentados na Figura 4.

A massa fresca de raiz e da parte aérea (Figura 4A, B) apresentaram aumento de 8,5%, 17,3% e 38% nos ciclos 1 e 3 com frequência intermitente e sem, respectivamente, em relação à frequência constante e de modo geral foi superior ao ciclo 2 de 33% e 54% na média para cada variável.

A massa seca de raiz (Figura 4C) teve redução no acúmulo de 37% no ciclo 2 de forma geral. A frequência constante mostrou redução de 28,2% e 30%, em relação à intermitente e sem uso, respectivamente. Já por sua parte, o índice SPAD (Figura 4D) teve diferenças entre ciclos de forma constante em todas as frequências constante, intermitente e sem.

Figura 4. Valores médios das variáveis biométricas na interação entre ciclos de cultivo vezes frequência dos tratamentos.



Letras maiúsculas se referem às diferenças estatísticas entre as variáveis de um mesmo gráfico e minúsculas às diferenças dentro de uma mesma variável. **Fonte:** Autores (2023)

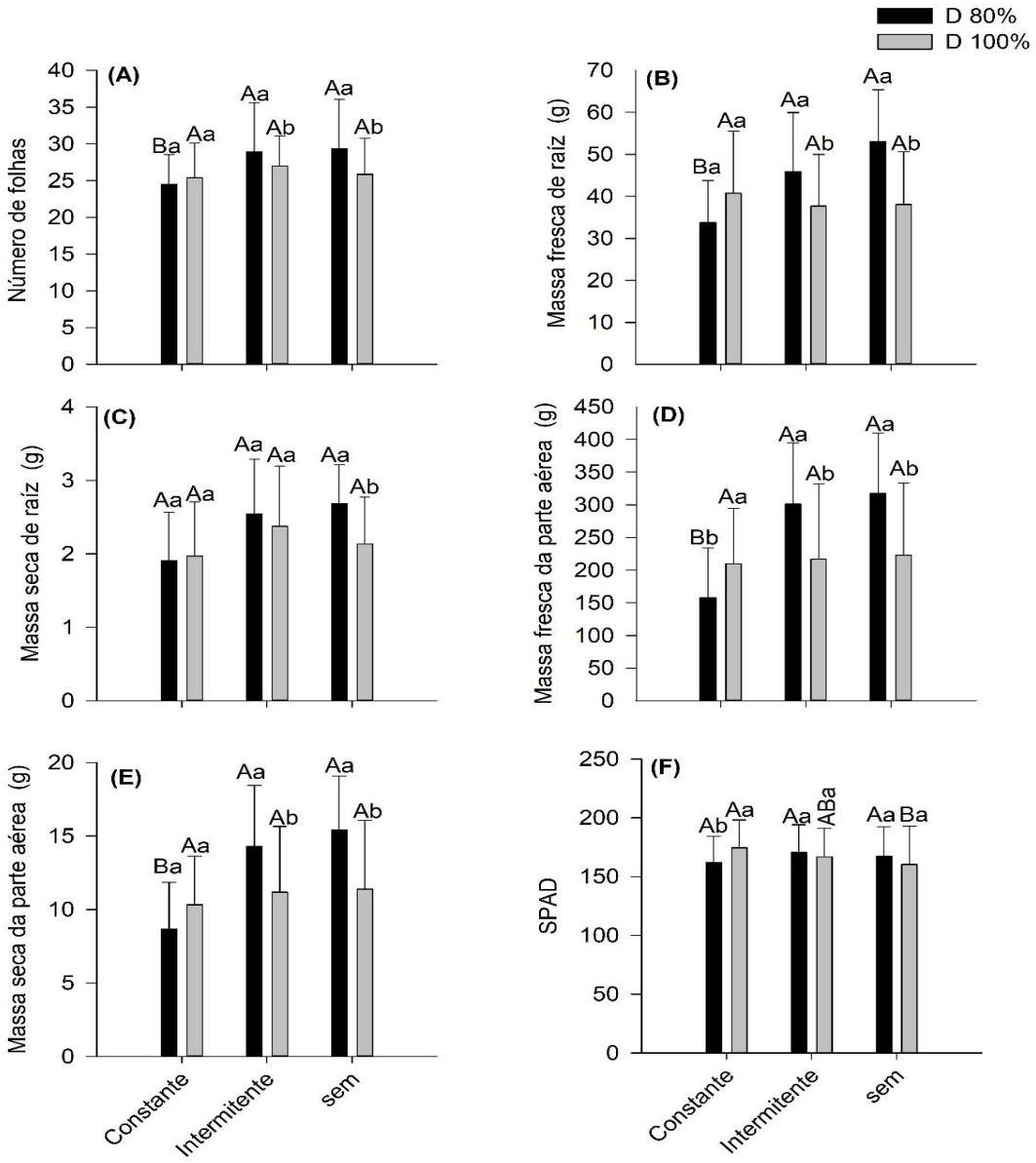
Estes resultados mostram que a aplicação constante de pulsos elétricos diminui o acúmulo de massa na cultura de alface, podendo gerar estresse nas plantas e consequentemente reduzir seu acúmulo de massa, padrão que se repetiu em cada ciclo. O potencial zeta dos coloides da solução nutritiva podem ser afetados pelos pulsos elétricos de baixa frequência mudando a ligação entre cátiones e aníones dos nutrientes, pH e CE (Méndez *et al.*, 2018) condições necessárias para o desenvolvimento vegetal.

Liu *et al.* (2019) obtiveram resultados positivos no desenvolvimento das plantas ao utilizar eletromagnetismo, tecnologia similar à utilizada no presente trabalho. O tratamento da água para irrigação com esta tecnologia melhora a eficiência do uso da água e nutrientes (Abobatta, 2019), incrementa os teores de clorofila medidos mediante o índice SPAD (Mendonça, 2022). Resultados não comprovados no presente trabalho.

O uso de pulsos elétricos de baixa frequência ou sistema eletrônico anti-incrustação possui adequados resultados na solubilidade de compostos como $CaCO_3$ e Fe que podem ser absorvidos pelas plantas (Xiao *et al.*, 2020), além de outorgar benefícios no controle da taxa de crescimento, viabilidade, adesão, e atividade metabólica de microrganismos como bactérias que consumem nutrientes da solução (Piyadasa *et al.*, 2017; Piyadasa *et al.*, 2018; Chibowski *et al.*, 2018). Resultados variam dependendo dos materiais e o tempo de exposição ao sistema (Gosselin *et al.*, 2018).

Os valores médios das variáveis biométricas que foram influenciadas pela interação entre a solução nutritiva e a frequência no uso de pulsos elétricos de baixa frequência estão apresentadas na Figura 5.

Figura 5. Valores médios das variáveis biométricas na interação solução vezes frequência dos tratamentos.



Letras maiúsculas se referem às diferenças estatísticas entre as variáveis de um mesmo gráfico e minúsculas às diferenças dentro de uma mesma variável. **Fonte:** Autores (2023)

O número de folhas e a massa fresca de raiz (Figura 5A, B) teve diferenças significativas na solução 80 nos tratamentos sem frequência em 19% e 10% no tratamento com frequência intermitente em relação à solução 100, e inferior na frequência constante para a mesma solução.

A massa seca de raiz (Figura 5C) teve diferenças na ordem de 19% no tratamento sem frequência em favor da solução 80, não apresentando diferenças na variável nas frequências constante e intermitente em relação as soluções utilizadas.

A massa fresca e seca da parte aérea (Figura 5D, E) expõe diferenças em favor da solução 80 de 29% e 25% nos tratamentos sem frequência e intermitente, sendo superiores à solução 100. Na frequência constante, a massa fresca e seca da parte aérea apresentou redução em 26% na solução 80, em relação a 100. O uso constante de pulsos elétricos de baixa frequência gerou uma redução no acúmulo de massa fresca.

O índice IC (Figura 5F) mostra diferenças estatísticas entre todos os tratamentos de frequência na solução 100 e superior em 10% na frequência constante em favor da solução 100, já entre soluções as diferenças são reduzidas.

O uso do fluxo elétrico de baixa frequência interferiu negativamente no desenvolvimento das variáveis analisadas, quando utilizado permanentemente. Resultados contrários aos encontrados por Lima, (2021) utilizando uma tecnologia com certa similaridade que reporta benefícios no desenvolvimento ao utilizar um sistema eletromagnético na cultura de feijão e Sales; Santos; Padilha, (2010) que reporta melhoria na germinação de alface.

O tratamento de forma intermitente da água de irrigação tem mais eficiência que o constante no número de folhas, acúmulo de massa fresca de raiz e parte aérea e massa seca da parte aérea utilizando a solução 80 na cultura de alface hidropônica. Mendonça, (2022) encontrou variações na clorofila e melhorias em variáveis de crescimento, reduzindo efeitos de estresse (Torres *et al.,* 2020).

Existe maior eficiência da solução 80 sendo menor à solução nutritiva padrão proposta por Furlani *et al.* (1999), resultados similares foram reportados por diversos autores como Vasconcelos *et al.* (2014) em *Coriandrum sativum*, Luz *et al.* (2012) em *Petroselinum crispum* e Luz *et al.* (2018) em *Artemisia absinthium.* Dosagem menores reduzem o estresse ocasionado pelo desbalanceamento do potencial osmótico em condições de estresse (Taiz *et al.*, 2017, Andrade, 2019).

1.6 CONCLUSÃO

O uso de pulsos elétricos de baixa frequência de forma constante obteve menores resultados nas variáveis de crescimento na cultura de alface hidropônica.

Utilizar a concentração de 80% da recomendada por Furlani *et al.* (1999) promoveu interesantes resultados em condições de estresse por temperatura.

O tratamento da água de irrigação com pulsos elétricos de forma intermitente teve resultados similares ao tratamento convencional na cultura de alface hidropônica.

1.7 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

REFERÊNCIAS

ABOBATTA, W. F. Overview of Role of Magnetizing Treated Water in Agricultural Sector Development. **Advances in Agricultural Technology & Plant Sciences**, Hyderabad, v. 2. n. 1, p. 1-7, 2019.

AL-TAWAHA, A. R.; AL-KARAKI, G.; AL-TAWAHA, A. R.; SIRAJUDDIN, S. N.; MAKHADMEH, I.; WAHAB, P. E. M.; YOUSSEF, R. A.; AL SULTAN, W.; MASSADEH, A. Effect of water flow rate on quantity and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in nutrient fi

lm technique (NFT) under hydroponics conditions. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia, v. 24, n. 5, p. 793-800, 2018.

ANDRADE, R. R. **Efeito da concentração da solução nutritiva em cultivares de alface em sistema hidropônico tipo NFT, em clima semiárido**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

CHIBOWSKI, E.; SZCZES, A. Magnetic water treatment a review of the latest approaches. **Chemosphere**, Oxford, v. 203, p. 54-67, 2018.

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

CUNHA, A. R; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, N**. Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1999.

GOSSELIN, F.; MATHIEU, L.; BLOCK, J. C.; CARTERET, C.; MUHR, H.; JORAND, F. Assessment of an anti-scale low-frequency electromagnetic field device on drinking water biofilms. **Biofouling**, Chur, v. 34, n. 9, p. 1020-1031, 2018.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA (IEA). Estatísticas da Produção Paulista. Alface. Disponível em: http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjetiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1. Aceso em: 18 de março 2022.

LIMA, B. S. **A influência do eletromagnetismo no desenvolvimento do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*)**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Gestão Ambiental) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Tapes, 2021.

LIU, X.; ZHU, H.; WANG, L.; BI, S.; ZHANG, Z.; MENG, S.; ZHANG, Y.; WANG, H.; SONG, C.; MA, F. The effects of magnetic treatment on nitrogen absorption and distribution in seedlings of *Populus* × *euramericana* ‘Neva’ under NaCl stress. **Scientific Reports**, Crinan, v. 9, n. 10025, p. 1-14, 2019. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-45719-6.

LUZ, J. M. Q.; ANDRADE, L. V.; DIAS, F. F.; SILVA, M. A. D.; HABER, L. L.; OLIVEIRA, R. C. Produção hidropônica de coentro e salsa crespa sob concentrações de solução nutritiva e posições das plantas nos perfis hidropônicos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n.1, p. 589-597, 2012.

LUZ, J. M. Q.; OLIVEIRA, R. C.; AGUILAR, A. S.; SANTOS, T. N. Cultivo de Artemisia absinthium L. sob concentrações de solução nutritiva em hidroponia. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 10, n. 1, p. 117-128, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n220181082.

MAGALHÃES, A. G.; MENEZES, D.; RESENDE, L. V.; BEZERRA NETO, E. Desempenho de cultivares de alface em cultivo hidropônico sob dois níveis de condutividade

elétrica. **Revista Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 316-320, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S0102-05362010000300013.

MÉNDEZ, J. P.; GARCÍA, F. P.; GONZÁLEZ, N. T.; SANTILLÁN, Y. M.; SANDOVAL, O. A. A. Zeta potential and electrophoretic mobility for the recovery of a saline soil with organic amendments. **Ciência e Agrotecnologia,** v. 42, n. 4, p. 420 – 430, 2018.

MENDONÇA, C. R. O. S. G. **Tecnologia eletromagnética aplicada no controle de meloidogyne javanica em tomateiro**. Dissertação (Mestrado em Olericultura) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Morrinhos, 2022.

MERCIER, A.; BERTAUX, J.; LESOBRE, J.; GRAVOUIL, K.; VERDON, J.; IMBERT, C.; VALETTE, E.; HECHARD, Y. Characterization of biofilm formation in natural water subjected to low frequency electromagnetic fields. **Biofouling**, Chur, v. 32, n. 3, p. 287-299, 2016. DOI: https://doi.org/10.1080/08927014.2015.1137896.

MITOVA, I.; NENOVA, L.; STANCHEVA, I.; GENEVA, M.; HRISTOZKOVA, M.; MINCHEVA, J. Lettuce response to nitrogen fertilizers and root mycorrhization. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia, v. 23, n. 2, p. 260-264, 2017.

PIYADASA, C.; RIDGWAY, H. F.; YEAGER, T. R.; STEWART, M. B.; PELEKANI, C.; GRAY, S. R.; ORBELL, J. D. The application of electromagnetic fields to the control of the scaling and biofouling of reverse osmosis membranes – a review. **Desalination**, Amsterdam, v. 418, p. 19-34, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.05.017.

PIYADASA, C.; YEAGER, T. R.; GRAY, S. R.; STEWART, M. B.; RIDGWAY, H. F.; PELEKANI, C.; ORBELL, J. D. Antimicrobial effects of pulsed electromagnetic fields from commercially available water treatment devicese controlled studies under static and flow conditions. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, Oxford, v. 93, n. 3, p. 871-877, 2018.

SALES, F. H. S.; SANTOS, D. Y.; PADILHA, L. L. A influência do Campo Magnético na Germinação e no Crescimento de Vegetais. **Revista Eletrônica Multidisciplinar Pindorama do IFBA**, Eunápolis, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2010.

SOARES, R. H.; SILVA, Ê. F. F.; SILVA, G. F.; CRUZ, A. F. S.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; ROLIM, M. R. Salinity and flow rates of nutrient solution on cauliflower biometrics in NFT hydroponic system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 4, p. 258-265, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TORRES, A. S.; SUEIRO, L.; REYES, M. Z.; SOCARRÁS, I. M. Extremely low frequency non-uniform magnetic fields induce changes in water relations, photosynthesis, and tomato plant growth. **International Journal of Radiation Biology**, London, v. 96, n. 7, p. 951-957, 2020. DOI: https://doi.org/10.1080/09553002.2020.1748912.

VASCONCELOS, L. S. B.; BEZERRA- NETO, E.; NASCIMENTO, C. W. A.; BARRETO, L. P. Desenvolvimento de plantas de coentro em função da força iônica da solução nutritiva.

Pesquisa Agropecuária Pernambucana, Bongi, v.19. n. 1, p. 11-19, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.12661/pap.2014.003.

XAVIER, J. F.; AZEVEDO, C. A. V.; AZEVEDO, M. R. Q. A.; SALES, J. C. R.; OLIVEIRA, N. C.; FERNANDES, J. D. Nutritive solutions salinized with sodium chloride in the cultivation of crisp lettuce in a hydroponic system. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 14, p. e515101420437, 2021. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.20437.

XIAO, Y.; SEO, Y.; LIN, Y.; LI, L.; MUHAMMAD, T.; MA, C.; LI, Y.; Electromagnetic fields for biofouling mitigation in reclaimed water distribution systems. **Water Research**, Oxford, v. 173, p. 1155 - 1562, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115562.

CAPÍTULO 2

CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA CULTURA DA ALFACE HIDROPÔNICA TRATADA COM PULSOS ELÉTRICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA[1]

2.1 RESUMO

O consumidor de hortaliça cada vez mais exigente, demanda seu fornecimento em quantidade e qualidade de alface o ano todo. Sistema como o hidropônico permite o controle de variáveis de desenvolvimento e da nutrição das plantas. Existem trabalhos e relatos que indicam que a exposição da água de irrigação a pulsos elétricos de baixa frequência gera efeitos positivos na produtividade, podendo ocasionar mudanças na absorção de nutrientes, pelo qual é preciso realizar estudos detalhados. Nese sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a concentração de nutrientes na alface hidropônica em casa de vegetação utilizando um sistema eletrônico anti-incrustacão. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizados 3x2, com quatro repetições. Os fatores avaliados foram frequência do uso do sistema eletrônico anti-incrustacão (constante, intermitente e sem uso) e dois níveis de solução nutritiva ao 100% e 80% da recomendada por Furlani em dois ciclos de produção. O uso constante de pulsos elétricos de baixa frequência apresenta diferenças na absorção de nutrientes em comparação com a produção convencional. A aplicação intermitente dos pulsos na solução 80 mostrou maior eficiência na absorção de N, P, K, Cu, e Zn por parte da cultura de alface hidropônica.

Palavras chave: anti-incrustacão, NFT, tecnologia, hortaliças.

NUTRIENT CONCENTRATION IN HYDROPONIC LETTUCE CULTURE TREATED WITH LOW FREQUENCY ELECTRICAL PULSES

2.2 ABSTRACT

The increasingly demanding vegetable consumer demands their supply in quantity and quality of lettuce all year round. System as hydroponic allows the control of plant development and nutrition variables. There are works and reports that indicate that exposure of irrigation water to low frequency electrical pulses generates positive effects on productivity and may cause changes in nutrient absorption, by which detailed studies are required. In such a sense, the present work aims to evaluate the concentration of nutrients in hydroponic lettuce in a vegetation house using an anti-innchustic electronic system. Fully randomized 3x2 design was

[1] Capítulo redigido de acordo com as normas do periódico **Revista Irriga** (Brazilian Journal of Irrigation and Drainage)

used with four repetitions. The factors evaluated were frequency of the use of the anti-inchrust electronic system (constant, intermittent and unused) and two levels of nutrient solution to 100% and 80% of the recommended by Furlani in two production cycles. The constant use of low frequency electrical pulses has differences in nutrient absorption compared to conventional production. Intermittent pulse application in solution 80 showed greater efficiency in the absorption of N, P, K, Cu, and Zn by the hydroponic lettuce culture.

Keywords: anti-inchrust, NFT, technology, vegetables.

2.3 INTRODUÇÃO

O aumento constante da população demanda maior produção de alimentos de forma sustentável. Os avances em técnicas de irrigação, manejo de pragas, doenças e fertilização hão contribuído no aumento da produtividade em culturas de interesse agronômico como as hortaliças (IEA, 2020).

A produção de hortaliças foliosas como a alface (*Lactuca sativa* L.) possuem destaque por ser das mais consumidas *in natura*, sendo cultivada geralmente por produtores de pequeno porte, possuindo importância econômica e social (Mitova *et al.*, 2017).

O consumidor de hortaliças demanda o ano todo seu fornecimento em quantidade e qualidade de culturas como alface (Martinez *et al.*, 2016). Técnicas como a produção hidropônica tem ganhado relevância com melhoras na produtividade, obtendo rendimentos iguais ou superiores à produção convencional, pese a requer maior complexidade no manejo, estes tipos de técnicas tense expandido perto dos grandes centros consumidores (Furlani *et al.*, 1999, 2009; Al-Ogaidi *et al.*, 2017; Al-Tawaha *et al.*, 2018).

A necessidade de aproveitar ao máximo o potencial genético das culturas, tem dado cabida a testar outras técnicas complementares que potencializem o desenvolvimento com menor custo de produção. Nesse sentido, existem trabalhos e relatos indicando benefício na produtividade das culturas ao ser tratadas com o sistema eletrônico anti-incrustacão a água da irrigação o qual emite pulsos elétricos de baixa frequência (Surendran *et al.*, 2016; Chibowski; Szczes, 2018; Olaya Tellez, *et al.*, 2023).

O tratamento da água de irrigação sem a aplicação de produtos químicos e expondo-a a impulsos elétricos de baixa frequência (3 – 32 khz) altera a cristalização do cálcio nas águas duras e faz que as partículas percam sua capacidade de se fixar na superfície dos sistemas de encanamento, além possivelmente de melhorar condições de solubilidade dos nutrientes na solução nutritiva (Mercier *et al.*, 2016; Piyadasa *et al.*, 2017, 2018).

O uso desta técnica também possivelmente ajuda a controlar a proliferação microbial e formação de algas nos sistemas, além de disponibilizar nutrientes que estavam em compostos insolúveis para ser aproveitados pelas raízes, podendo trazer benefícios na produtividade. Na literatura atualmente ainda carece de trabalhos que detalhem a produção de alface tratado com pulsos elétricos de baixa frequência (Piyadasa *et al.,* 2018; Xiao *et al.,* 2020).

Condições para o bom desenvolvimento da cultura da alface em temperatura abaixo de 25°C, com melhores resultados nas épocas frias do ano, quando a demanda é menor, daí a importância de novas técnicas de cultivo com maior eficiência no verão como a produção no sistema hidropônico em ambiente fechado, permitindo assim o controle das condições ambientais e de cultivo (Martinez *et al.*, 2016).

A composição ideal da solução nutritiva na produção hidropônica procura o equilíbrio de macro e micronutrientes disponíveis para a cultura, além ajuda o controle de fatores ligados ao desenvolvimento vegetal e sua interação com o ambiente, época de produção, estádio fenológico e cultivar utilizado (Furlani *et al.,* 1999; Soares *et al.,* 2020)

Vantagens da utilização do sistema hidropônico estão relacionadas ao controle detalhado das condições de desenvolvimento das plantas, permitindo monitorar os fatores que mais influenciam ao longo do crescimento. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a concentração de nutrientes na alface hidropônica em casa de vegetação utilizando um sistema eletrônico anti-incrustacão.

2.4 MATERIAL E METODOS

O experimento desenvolvido na área experimental do Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), no município de Botucatu-SP, localizado nas coordenadas 22º 51’ 03’’ de latitude Sul e 48º 25’ 37’’ longitude Oeste. Segundo a classificação Köppen, o clima é do tipo Cfa - clima temperado quente úmido, temperatura média do mês mais quente acima de 22°C, altitude média de 780 m e precipitação média anual de 945,15 mm (Cunha; Martins, 2009).

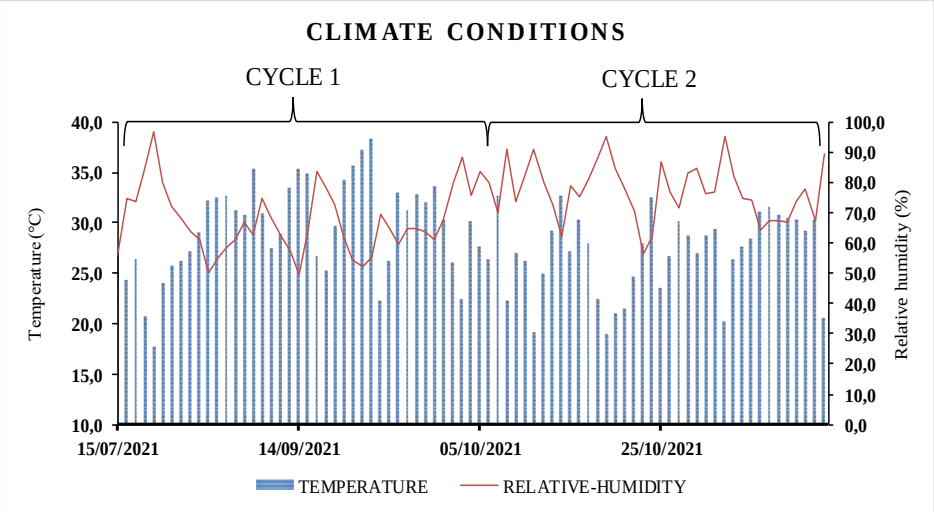
2.4.1 Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizados 3x2 com quatro repetições. Os fatores avaliados foram frequência do uso do sistema eletrônico anti-incrustacão (constante, intermitente e sem uso) e dois níveis de solução nutritiva ao 100% e 80% do recomendado por Furlani em dois ciclos de produção.

2.4.2 Sistema hidropônico

Sistema instalado em casa de vegetação de 24x7 metros de comprimento e largura com 3,8 metros na maior altura, recoberta com filme plástico de 150 micras. O controle da temperatura foi realizado mediante a abertura de duas janelas quando a temperatura interna superar os 25ºC e a luminosidade regulada com tela Aluminet 50%, instalada a 2 metros de altura sobre as bancadas do sistema hidropônico. A temperatura e a umidade relativa no interior da casa de vegetação são apresentadas na Figura 1.

Figura 1. Comportamento da umidade relativa e a temperatura ao longo do período do experimento. Botucatu - SP, 2021



Fonte: Autores (2023)

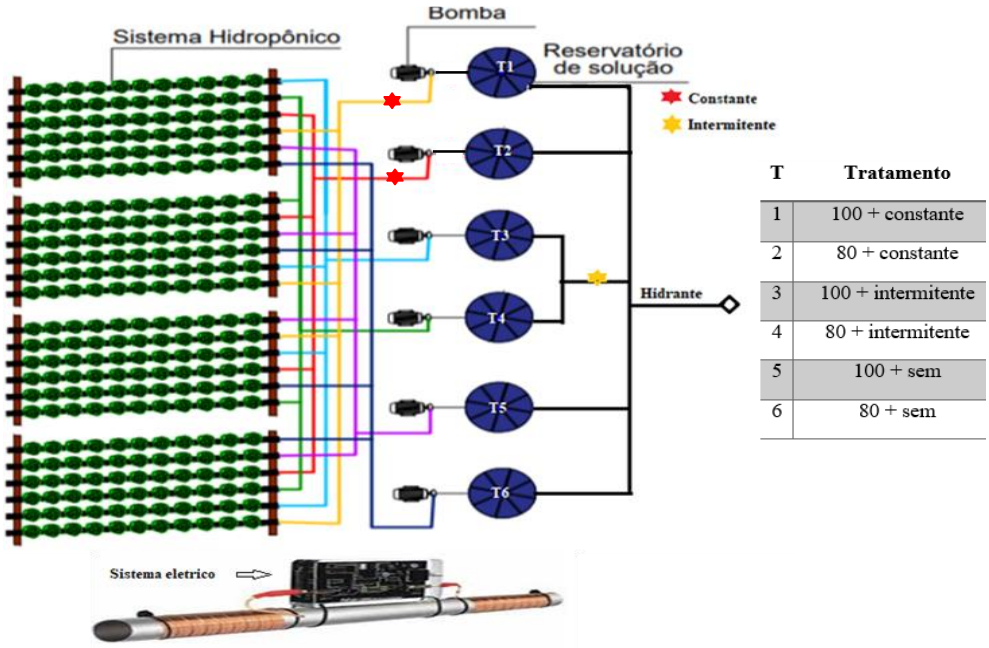
A técnica do fluxo laminar de nutriente (NFT) foi utilizada no sistema hidropônico (Figura 2) com quatro bancadas com 5% de inclinação, cuja altura inicia em 1,10 m e termina em 0,8 m, possuem 1,2 m de largura e espaçamento de 0,70 m, cada uma está composta por seis perfis em PVC de 6 m (tratamentos), com espaçamento de 0,20 m e 24 aberturas de 0,05 m de diâmetro para o transplante das mudas.

A solução nutritiva foi armazenada em reservatórios de 500 litros para cada tratamento com retorno individualizado por meio do sistema de irrigação. O bombeamento da solução nutritiva foi com auxílio de moto bomba periférica de 0,5 cv FERRARI para cada reservatório. Utilizou-se um timer eletromecânico programado para permanecer ligado a cada 15 minutos, das 6:00 às 18:00 horas e de 15 minutos a cada hora das 18:00 às 6:00 com vazão entre 1,5 a 2,0 l/min.

A solução nutritiva utilizada foi baseada na recomendação de Furlani *et al.* (1999) que possui 187 N; 72 P; 220 K; 143 Ca; 38 Mg; 52 S; 0,45 B; 0,45 Cu; 1,81 Fe; 0,45 Mn; 0,18 Zn e 0,09 Mo, em dosagens ao 80% e 100% nos tratamentos. Agora em diante chamada solução

80 e 100. Quando a temperatura superou os 25°C as soluções foram diluídas em 20%, mantendo as proporções.

Figura 2. Croqui do desenho do sistema hidropônico utilizado no desenvolvimento da cultura de alface. Botucatu – SP, 2021



T	Tratamento
1	100 + constante
2	80 + constante
3	100 + intermitente
4	80 + intermitente
5	100 + sem
6	80 + sem

✡ Instalação do sistema eletrônico anti-incrustacão. **Fonte**: Olaya Tellez *et al.* (2023)

Os tratamentos da solução nutritiva com o sistema eletrônico anti-incrustacão foi constante e intermitente, o constante manteve exposição ao sistema o tempo todo ao longo do ciclo da cultura e o intermitente manteve a exposição só no período do enchimento dos reservatórios em cada troca da solução nutritiva semanalmente. Os demais tratamentos não tiveram exposição e mantiveram as mesmas concertações da solução nutritiva.

O desenvolvimento inicial das mudas de alface ocorreu em espuma fenólica em ambiente protegido por 30 dias, quando apresentaram de 5 a 7 folhas e uniformidade foram transplantadas ao sistema hidropônico.

2.4.3 Avaliações

Em cada ciclo aos 24 dias após transplantio (DAT) foram coletadas 4 plantas por tratamento devidamente identificadas e processadas no Laboratório do Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP. Cada planta foi lavada três vezes individualmente com água destilada e secadas numa centrifuga manual de alimentos com a finalidade de eliminar resíduos e impurezas na superfície das folhas.

O material foi alocado em sacos individuais de papel e secado em estufa de circulação de ar forçada, a temperatura de 65°C, até atingir peso constante, aproximadamente após 72 horas. Posteriormente a massa seca foi triturada em moinho do tipo Willey e levada no laboratório do departamento de solos e recursos ambientais – FCA/UNESP - Botucatu-SP, para a determinação de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, conforme a metodologia de Malavolta *et al.* (1997).

2.4.4 Analises estatística

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade de Anderson-Darling e homocedasticidade (homogeneidade das variâncias) pelo teste de Hartley e análise de variância, com níveis de significância de 5% de probabilidade de erro. Quando significativas, as médias foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de significância, utilizando-se o programa estatístico R (versão 4.1.2). Os gráficos foram produzidos no programa SigmaPlot (versão 14.0).

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.5.1 Concentração de Nutrientes

Os nutrientes Cálcio, Boro e Manganésio responderam isoladamente aos fatores de tratamento e dose respectivamente, já os nutrientes de Nitrogênio, Fosforo, Potássio, Enxofre, Cobre e Zinco apresentaram diferenças na interação de tratamento vezes solução e o Magnésio e Ferro não tiveram diferenças e os valores médios da concentração de macro e micronutrientes sobre o efeito de pulsos elétricos de baixa frequência com duas soluções nutritivas na produção de alface hidropônica (Tabela 1).

A frequência constante do uso de pulsos elétricos de baixa frequência teve menor concentração de potássio, manganês, igual à intermitente no nitrogênio, enxofre e superior no cobre. O fosforo, cálcio, magnésio, boro, ferro e zinco não tiveram diferenças na exposição aos tratamentos na produção de alface hidropônica.

O uso de soluções nutritivas na produção de alface em sistema NFT apresentou diferenças em favor da solução 80 em relação à reportada por Furlani *et al.* (1999) nos nutrientes de fosforo, potássio, cálcio, manganês e zinco, já para a solução 100 só foi constatado maior concentração no boro.

Tabela 1. Resumo da análise de variância e valores médios e desvio padrão da concentração de macro e micronutrientes na cultura da alface tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico

Fonte de variação		N	P	K	Ca	Mg	S
		Quadrado médio (p < 0,05)					
Trat. (freq.)		0,002	0,30	0,003	0,176	0,09	0,049
Solução		0,96	0,01	0,004	0,02	0,14	0,684
Trat. x Solução		0,004	0,01	0,002	0,211	0,75	0,023
Freq.	Const.	37,66a	5,71	54,18b	11,67	3,47	2,79ab
	Interm.	37,07a	5,97	72,19a	10,97	3,2	2,45b
	Sem	35,73b	5,76	75,43a	10,71	3,15	2,88a
Solução	80	36,83±1.4	6,01±0.4a	75,06±19.4a	11,64±0.7a	3,18±0.3	2,68±0.4
	100	36,81±2.3	5,62±0.4b	59,48±5.3b	10,59±1.2b	3,36±0.3	2,73±0.3

		B	Cu	Fe	Mn	Zn
		Quadrado médio (p < 0,05)				
Trat. (freq.)		0,16	0,02	0,24	0,011	0,018
Solução		0,003	0,56	0,62	0,009	0,001
Trat. x Solução		0,36	0,002	0,33	0,12	0,0006
Freq.	Const.	30,45	11,72a	106,93	51,67b	55,15
	Interm.	29,19	9,53b	110,41	62,69a	64,18
	Sem	26,75	9,43b	122,2	65,48a	65,44
Solução	80	26,14±3.6b	10,43±1.5	115,02±20.1	65,02±13.3a	68,85±12.6a
	100	31,45±4.4a	10,03±3.2	111,33±22.4	54,87±5.1b	54,33±5.8b

Solução: % da formulação de Furlani *et al.*, 1999, letras diferentes tem diferenças estatísticas

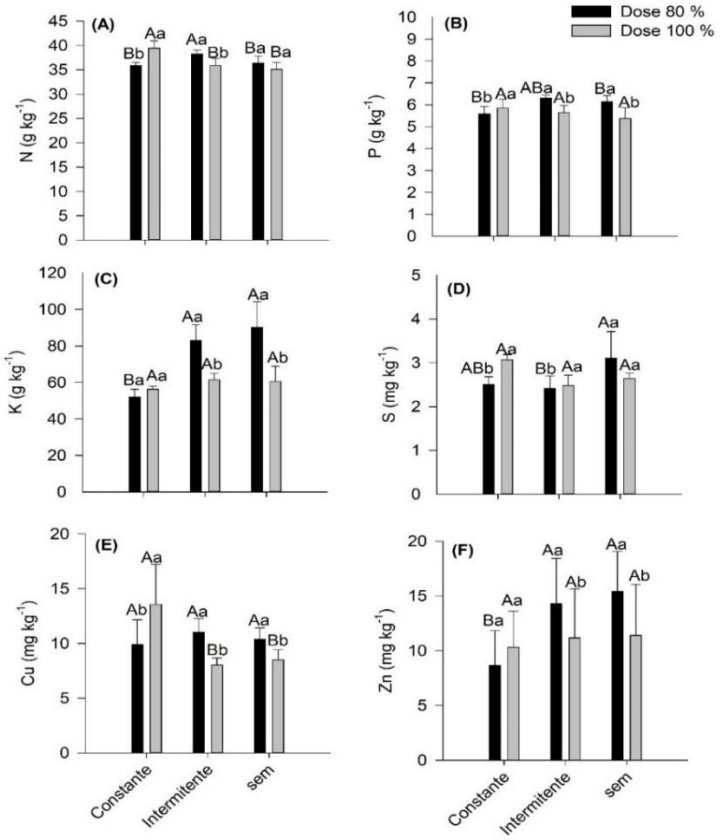
O uso constante de pulsos elétricos de baixa frequência sobre a produção de alface hidropônica mostrou menor concentração de nutrientes se comparada com seu uso de forma intermitente ou sem o uso da tecnologia. Segundo Fontana *et al.* (2018) os sistemas de produção utilizados na produção de alface podem influenciar no seu desenvolvimento com mais ou menos expressividade da fertilização dado que fatores externos como o ambiente, cultivar e tratos agronômicos influenciam na produtividade.

O comportamento da concentração dos macronutrientes e alguns micronutrientes na cultura de alface nos diferentes tratamentos utilizando pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico se apresentam na Figura 3.

A concentração de nitrogênio (Figura 3A) na frequência intermitente teve incremento na média de 8,4% em relação à constante e sem uso na solução 80, já para a 100 a frequência constante apresentou aumento de 10,3% em relação aos outros tratamentos. Diferenças entre os

níveis de solução nutritiva foram constatadas a favor da frequência intermitente em 6,3% na solução 80.

Figura 3. Valores médios das variáveis nutricionais na interação solução vezes frequência de exposição a pulsos de baixa frequência em alface hidropônica



Letras maiúsculas se referem às diferenças estatísticas entre tratamentos (constante, intermitente e sem) de um mesmo gráfico e minúsculas às diferenças entre um mesmo tratamento. **Fonte:** Autores, (2023)

O fosforo (Figura 3B) na solução 100 não teve diferenças entre tratamento, já na solução 80 a frequência intermitente evidenciou aumento na média de 6,8% em comparação sem uso e constante. Diferenças entre os níveis de solução nutritiva foram encontradas na solução 80 a favor da frequência intermitente e sem uso de pulsos elétricos de baixa frequência de 9,6% e 13%, respectivamente.

Estes resultados mostram que a exposição de diferentes doses de nutrientes na solução nutritiva de forma intermitente revê diferenças na absorção de N e P na alface hidropônica submetida a pulsos elétricos de baixa frequência com solução 80. Segundo Taiz *et al.* (2017) o N e P são dos nutrientes mais requeridos no desenvolvimento das plantas. Abobatta, (2019) e Putti *et al.* (2023) reportam melhora na eficiência da absorção de nutrientes utilizando magnetismo e eletromagnetismo, tecnologias similares à utilizada no presente estudo.

O Martinez *et al.* (2016) encontraram concentrações de N e P superiores na cultura hidropônica. Uso de tecnologias similares aos pulsos de baixa frequência como o magnetismo e eletromagnetismo podem modificar propriedades como a tensão superficial da água e sua solubilidade beneficiando a absorção de nutrientes pelas raízes e assim incrementado sua concentração na parte aérea (Wang *et al.*, 2018; Pradela *et al.*, 2018; Al-Tawaha *et al.*, 2018; Lemos *et al.*, 2021; Putti *et al.*, 2023).

O potássio e zinco (Figura 3C e F) na frequência constante exibiu redução na média de 39,7% e 46% em relação ao sem uso e intermitente para os nutrientes na solução 80, respectivamente. A solução 100 não teve diferenças entre tratamentos. Redução média da concentração de K e Zn na solução 80 foi corroborada na ordem de 23% e 31,5% para intermitente e sem uso em comparação com à 100.

O enxofre (Figura 3D) na solução 80 sem uso apresentou aumento na média de 23% em relação aos demais tratamentos, já na 100 a frequência intermitente evidenciou diminuição de 19,2% si comparado com a constante e sem uso. Os níveis de solução nutritiva tiveram maior concentração na 80 sem uso de pulsos elétricos de baixa frequência.

O cobre (Figura 3E) na frequência constante teve redução na média de 14,2% em relação ao intermitente e sem uso na solução 80, a frequência constante proporcionou aumento de 46% em relação aos outros tratamentos. Diferenças entre os níveis de solução nutritiva foram encontradas a favor da frequência intermitente e sem uso de 36% e 30% na 80, respectivamente.

A exposição da cultura de alface hidropônica aos pulsos elétricos de baixa frequência mostrou mudanças na absorção de K, Zn, S e Cu. O uso intermitente teve aumento na concentração de K, Cu e Zn com menor concentração da solução o que reduz a necessidade de fertilização, beneficiando o consumidor final, como sugerido por Putti *et al.* (2023) em estudos realizados em alface irrigada e contrário ao reportado por Lemos *et al.* (2021) que observaram redução na absorção de nutrientes quando utilizado de forma constate o sistema magnético.

Efeitos positivos no desenvolvimento das plantas associados ao uso de magnetismo e eletromagnetismo podem ser causados por mudanças na absorção de nutriente no sistema hidropônico (Martinez *et al.*, 2016; Al-Ogaidi *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2019; Abobatta, 2019). O uso de pulsos elétricos de baixa frequência melhora a solubilidade de compostos como $CaCO_3$ e Fe que podem ser disponibilizados para as plantas (Piyadasa *et al.*, 2017, 2018; Xiao *et al.*, 2020; Mendonça, 2022). Elementos como a Zn e o Cu tem influência na síntese de RNA e controle da transpiração das plantas (Taiz *et al.*, 2017).

2.6 CONCLUSÃO

O uso constante de pulsos elétricos não mostrou vantagem significativas na absorção de nutrientes se comparado com a produção convencional da alface hidropônica. A aplicação intermitente de pulsos elétricos de baixa frequência na solução 80 mostrou diferenças na absorção de N, P, K, Cu, e Zn por parte da cultura de alface hidropônica em sistema NFT. A resposta de outras culturas a esta tecnologia em diferentes condições edafoclimáticas precisa de mais investigações que avaliem a viabilidade técnica e econômica.

2.7 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

REFERÊNCIAS

ABOBATTA, W. F. Overview of Role of Magnetizing Treated Water in Agricultural Sector Development. **Advances in Agricultural Technology & Plant Sciences**, Hyderabad, v. 2. n. 1, p. 1-7, 2019.

AL-OGAIDI, A.A.; WAYAYOK, A.; ROWSHON, M.; ABDULLAH, A.F. The influence of magnetized water on soil water dynamics under drip irrigation systems. **Agricultural Water Management,** Amsterdam, v. 180, p. 70–77. 2017.

AL-TAWAHA, A. R.; AL-KARAKI, G.; AL-TAWAHA, A. R.; SIRAJUDDIN, S. N.; MAKHADMEH, I.; WAHAB, P. E. M.; YOUSSEF, R. A.; AL SULTAN, W.; MASSADEH, A. Effect of water flow rate on quantity and quality of lettuce (Lactuca sativa L.) in nutrient fi lm technique (NFT) under hydroponics conditions. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia, v. 24, n. 5, p. 793-800, 2018.

CHIBOWSKI, E.; SZCZES, A. Magnetic water treatment a review of the latest approaches. **Chemosphere**, Oxford, v. 203, p. 54-67, 2018.

CUNHA, A. R; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

FONTANA, L; ROSSI, C. A.; HUBINGER, S. Z.; FERREIRA, M. D.; SPOTO, M. H. F.; SALA, F. C.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Physicochemical characterization and sensory

evaluation of lettuce cultivated in three growing systems. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 020-026. 2018. DOI: 10.1590/S0102-053620180104

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, N**. Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1999.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA (IEA**). Estatísticas da Produção Paulista**. Alface. Disponível em: http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjetiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1. Aceso em: 18 de março 2022.

LEMOS, L. T. O.; DE DEUS, F. P.; DE ANDRADE JÚNIOR, V. C.; THEBALDI, M. S.; MESQUITA, M.; DE ALMEIDA, R. C. Development and production of iceberg lettuce irrigated with magnetically treated water. **Water S A**, Pretoria, v. 47, n. 4, p. 437-445, 2021. DOI: 10.17159/wsa/2021.v47.i4.3863

LIU, X.; ZHU, H.; WANG, L.; BI, S.; ZHANG, Z.; MENG, S.; ZHANG, Y.; WANG, H.; SONG, C.; MA, F. The effects of magnetic treatment on nitrogen absorption and distribution in seedlings of Populus × euramericana 'Neva' under NaCl stress. **Scientific Reports**, Crinan, v. 9, n. 10025, p. 1-14, 2019. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-45719-6.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: Princípios e Aplicações; **Potafos**, Ed.; Piracicaba, Brazil, p. 201. 1997

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

MENDONÇA, C. R. O. S. G. Tecnologia eletromagnética aplicada no controle de *meloidogyne javanica* em tomateiro. Dissertação (mestrado). **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano**. Programa de Pós-Graduação em Olericultura. Morrinhos, p. 90. 2022.

MERCIER, A.; BERTAUX, J.; LESOBRE, J.; GRAVOUIL, K.; VERDON, J.; IMBERT, C.; VALETTE, E.; HECHARD, Y. Characterization of biofilm formation in natural water subjected to low frequency electromagnetic fields. **Biofouling**, Chur, v. 32, n. 3, p. 287-299, 2016. DOI: https://doi.org/10.1080/08927014.2015.1137896.

MITOVA, I.; NENOVA, L.; STANCHEVA, I.; GENEVA, M.; HRISTOZKOVA, M.; MINCHEVA, J. Lettuce response to nitrogen fertilizers and root mycorrhization. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia, v. 23, n. 2, p. 260-264, 2017.

OLAYA TELLEZ, H.; LEROY, K. A.; MACHADO, L. T. S.; CAPUANI, S.; JACON, C. P. R. P.; VILLAS BÔAS, R. L. Desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa*) em hidropônia tratada com pulsos elétricos de baixa frequência1. **Irriga**, S. l., v. 28, n. 1, p. 148–163, 2023. DOI: 10.15809/irriga.2023v28n1p148-163.

PIYADASA, C.; RIDGWAY, H. F.; YEAGER, T. R.; STEWART, M. B.; PELEKANI, C.; GRAY, S. R.; ORBELL, J. D. The application of electromagnetic fields to the control of the scaling and biofouling of reverse osmosis membranes – a review. **Desalination**, Amsterdam, v. 418, p. 19-34, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.05.017.

PIYADASA, C.; YEAGER, T. R.; GRAY, S. R.; STEWART, M. B.; RIDGWAY, H. F.; PELEKANI, C.; ORBELL, J. D. Antimicrobial effects of pulsed electromagnetic fields from commercially available water treatment devices controlled studies under static and flow conditions. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, Oxford, v. 93, n. 3, p. 871-877, 2018.

PRADELA, V. A.; YOSHIDA, C. H. P.; SANTOS, R. C.; LAPAZ, A. M. Produção de mudas de alface em resposta ao uso de água tratada magneticamente. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas,** Tupã, v. 12, n. 3, p. 299–306, 2018.

PUTTI, F. F.; NOGUEIRA, B. B.; VACARO DE SOUZA, A.; FESTOZO VICENTE, E.; ZANETTI, W. A. L.; DE LUCCA SARTORI, D.; PIGATTO DE QUEIROZ BARCELOS, J. Productive and Physico-Chemical Parameters of Tomato Fruits Submitted to Fertigation Doses with Water Treated with Very Low-Frequency Electromagnetic Resonance Fields. **Plants**, s. l. v. 11, p, 1587. 2022.

PUTTI, F. F.; VICENTE, E. F.; CHAVES, P. P. N.; MANTOAN, L. P. B.; CREMASCO, C. P.; ARRUDA, B.; FORTI, J. C.; JUNIOR, J. F. S.; CAMPOS, M.; REIS, A. R. D. & GRABRIEL FILHO, L. R. A. Effect of Magnetic Water Treatment on the Growth, Nutritional Status, and Yield of Lettuce Plants with Irrigation Rate. **Horticulturae,** s. l, v 9, p. 504, 2023. DOI: 10.3390/horticulturae9040504

SOARES, R. H.; SILVA, Ê. F. F.; SILVA, G. F.; CRUZ, A. F. S.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; ROLIM, M. R. Salinity and flow rates of nutrient solution on cauliflower biometrics in NFT hydroponic system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 4, p. 258-265, 2020.

SURENDRAN, U.; SANDEEP, O.; JOSEPH, E. The impacts of magnetic treatment of irrigation water on plant, water and soil characteristics. **Agricultural Water Management.** Amsterdam, v. 178, p. 21–29, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

WANG Y, WEI H, LI Z. Effect of magnetic field on the physical properties of water. **Results in Physics**, v. 8, p. 262–267. 2018. DOI: 10.1016/j.rinp.2017.12.022

XIAO, Y.; SEO, Y.; LIN, Y.; LI, L.; MUHAMMAD, T.; MA, C.; LI, Y.; Electromagnetic fields for biofouling mitigation in reclaimed water distribution systems. **Water Research**, Oxford, v. 173, p. 1155 - 1562, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115562.

CAPÍTULO 3

VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS E PÓS-COLHEITA DA ALFACE HIDROPÔNICA TRATADA COM PULSOS ELÉTRICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA[1]

3.1 RESUMO

Hortaliças folhosas são destaque comercial graças à implementação de tecnologias que incrementam sua produtividade. Produtos que podem ser consumidos *in natura* como a alface ganham relevância comercial. Técnica de produção como a hidropônica gera bons resultados, mas, ainda pode ser aprimorada. Existem relatos que indicam que o tratamento da água de irrigação com pulsos elétricos de baixa frequência pode potencializar a produtividade das culturas, pelo qual gera a demanda para o desenvolvimento de estudos detalhados. Nese sentido, o objetivo do presente trabalho foi analisar o desenvolvimento das variáveis biométricas e de pós colheita da alface hidropônica com solução nutritiva tratada com pulsos elétricos de baixa frequência. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial com parcelas sub-subdivididas 3x2x3, com quatro repetições. Os fatores foram a frequência de aplicação dos pulsos elétricos (constante, intermitente e sem uso), dois concentrações de solução nutritiva e três ciclos de produção. O desenvolvimento e a pós colheita da alface submetida a pulsos elétricos de baixa frequência independentemente da solução nutritiva apresentou comportamento similar as plantas não tratadas, mostrando baixa influência da tecnologia sobre o desenvolvimento.

Palavras chave: Clorofila, perda de massa, tecnologia, inovação

BIOMETRIC AND POST-HARVEST VARIABLES OF HYDROPONIC LETTUCE TREATED WITH LOW-FREQUENCY ELECTRICAL PULSES

3.2 ABSTRACT

Leafy vegetables are commercial highlight thanks to the implementation of technologies that increase their productivity. Products that can be consumed fresh how lettuce gain commercial relevance. Production technique such as hydroponic generates good results, but can still be improved. There are reports that indicate that the treatment of irrigation water with low frequency electrical pulses can enhance the productivity of crops, by which it generates the demand for the development of detailed studies. In order, the objective of this work was to analyze the development of biometric and post-harvest variables of hydroponic lettuce with nutritious solution treated with low frequency electrical pulses. The entirely randomized design was used in a factorial scheme with 3x2x3 subsubdididids with four repetitions. The factors were the frequency of application of electrical pulses (constant, intermittent and unused), two concentrations of nutrient solution and three production cycles. Development and post-harvest of lettuce subjected to low frequency electrical pulses regardless of nutrient solution has similarly treated plants, showing low influence on development technology.

Keywords: Chlorophyll, mass loss, technology, innovation

[1] Capítulo redigido de acordo com as normas do periódico **Revista Irriga** (Brazilian Journal of Irrigation and Drainage)

3.3 INTRODUÇÃO

A tecnologia tem incrementado a produtividade agrícola garantindo seu fornecimento nas grandes metrópoles em países como o Brasil (Martinez *et al.,* 2016; IEA, 2020). Culturas folhosas como a alface ganham relevância comercial no Brasil e no mundo, sendo consumida em grande parte *in natura* e boa parte da produção é realizada por pequenos produtores tendo destaque econômico e social (Mitova *et al.,* 2017; Conab, 2020). Seu consumo traz benefícios para saúde a nível gastrointestinal e regulando o açúcar na sangre dado que contém baixo teor de gordura, calorias, sódio, sendo fonte de fibras, ferro, folato, vitamina C e vários outros compostos bioativos (Kim *et al.,* 2016).

A produção hidropônica tem conseguido alta produtividade com boa qualidade sanitária, chegando a superar a produção convencional (Al-Tawaha *et al.,* 2018). Dependendo do tipo de sistema hidropônico fatores como a vazão, solução nutritiva, densidade de plantio, temperatura da água e o clima podem gerar diferenças na qualidade de plantas de alface, além da exposição a temperatura fora da faixa de 15 a 25 °C estimulam precocemente o pendoamento (Magalhães *et al.,* 2010; Xavier *et al.,* 2021) e vazão acima de 4 litros por minuto geram estresse radicular em sistemas hidropônicos (Al-Tawaha *et al.,* 2018).

O sistema hidropônico, possui diferentes técnicas a serem implementados como, técnica de filme nutriente (NFT), técnica de fluxo profundo (DFT), técnica de flutuação dinâmica de raízes (DRFT) e cultura em substrato, entanto, o mais recomendado para cultivar folhosas é o NFT (Kaiser; Ernst, 2012; Koohakan *et al.,* 2008). Por precisar de pouco espaço a técnica hidropônica tem-se expandido ao redor dos centros urbanos chegando a reduzir até em um 70% a quantidade de água necessária para sua produção em comparação com o sistema convencional (Santos *et al.,* 2013; Al-Ogaidi *et al.,* 2017; Al-Tawaha *et al.,* 2018).

Constantemente são testadas novas técnicas que permitam expressar o potencial genético das culturas tanto no solo como no sistema hidropônico, implementando o reuso de água residuária (Leroy *et al.,* 2022), magnetismo, eletromagnetismo (Chibowski; Szczes, 2018; Putti *et al.,* 2023a, 2023b) até pulsos elétricos de baixa frequência na água da irrigação (Olaya Tellez, *et al.,* 2023). Existem relatos que sugerem controle microbial e redução na formação de algas (Mercier *et al.,* 2016), além de melhoras na produtividade ao utilizar o tratamento do sistema eletrônico anti-incrustacão, o qual consiste na aplicação de pulsos elétricos de baixa frequência (3-32 kHz) no fluxo da água, alterando o processo de cristalização do cálcio e outros compostos, diminuindo sua capacidade de fixar às superfícies e podendo ser aproveitados pelas plantas (Piyadasa *et al.,* 2017; 2018; Chibowski; Szczes, 2018; Xiao *et al.,* 2020).

Para verificar os impactos aplicação de pulsos elétricos de baixa frequência no desenvolvimento das culturas o sistema hidropônico em casa de vegetação apresenta ótimas caraterísticas, permitindo controlar as variáveis que interferem no desenvolvimento. O monitoramento das variáveis biométricas e da clorofila ao longo do ciclo vegetativo precisa ser detalhado ao igual que a vida de prateleira quando se trata de hortaliças folhosas para consumo *in natura* (Schvambach *et al.,* 2020).

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desenvolvimento das variáveis biométricas e pós-colheita da alface hidropônica tratada com pulsos elétricos de baixa frequência.

3.4 MATERIAL E METODOS

3.4.1 Localização da área experimental

O experimento desenvolvido na área experimental do Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - BR, coordenadas 22º 51’ 03’’ de latitude Sul e 48º 25’ 37’’ longitude Oeste. Segundo a classificação Köppen, o clima é do tipo Cfa - clima temperado quente (mesotérmico) úmido. Temperatura média do mês mais quente >25°C. Altitude média de 780 m. Precipitação pluviométrica anual média de 945,15 mm (Cunha; Martins, 2009).

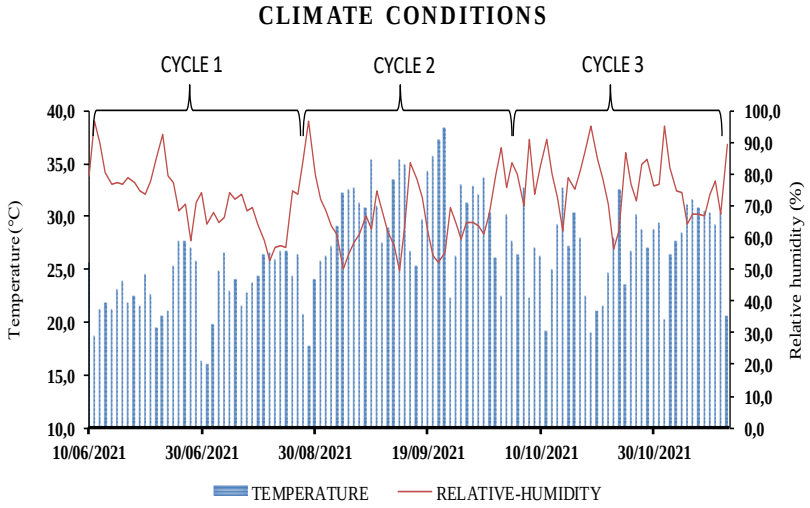
3.4.2 Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial com parcelas sub-subdivididas 3x2x3, com quatro repetições. Os fatores avaliados foram frequência do uso do sistema eletrônico anti-incrustacão (constante, intermitente e sem uso), dois concentrações de solução 100% e 80% da recomendação por Furlani e três ciclos de produção.

3.4.3 Sistema hidropônico

Casa de vegetação com 24 metros de comprimento e 7 metros de largura e 3,8 metros na parte mais alta. Cobertura plástica de 150 micras com 2 janelas superiores. A temperatura e a umidade relativa (UR%) ao interior da casa de vegetação foram monitoradas constantemente ao longo da pesquisa como se mostra na Figura 1.

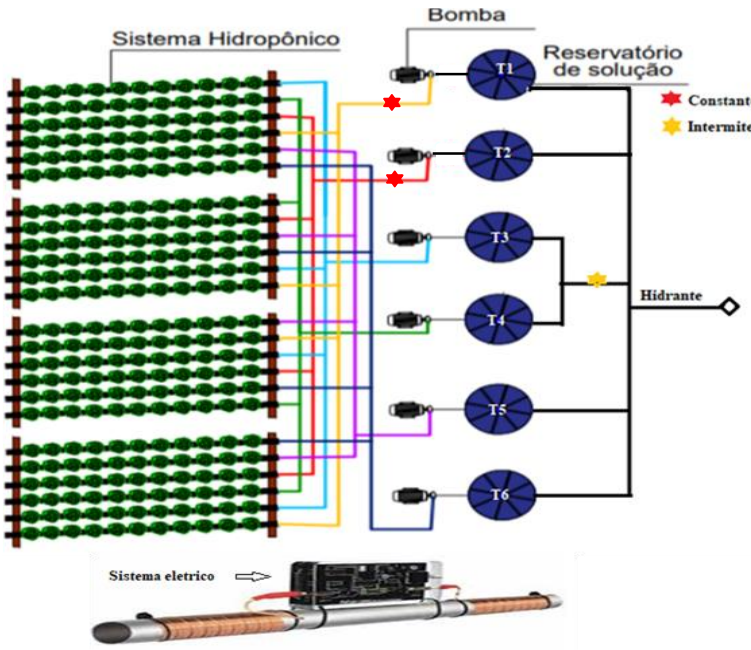
Figura 1. Comportamento da umidade relativa e a temperatura ao longo de três ciclos de experimento



Fonte: Olaya Tellez *et al.*, (2023)

O desenho do sistema hidropônico NFT possui quatro bancadas (repetição) com 5% de inclinação. Cada bancada tem 1,2 metros de largura espaçadas com 0,7 metros, seis perfis hidropônicos (tratamentos) de 6 metros de comprimento, espaçados em 0,2 metros. Cada perfil possui capacidade para 24 plantas (Figura 2).

Figura 2. Croqui do desenho do sistema hidropônico utilizado no desenvolvimento da cultura de alface



T	Tratamento
1	100 + constante
2	80 + constante
3	100 + intermitente
4	80 + intermitente
5	100 + sem
6	80 + sem

Instalação do sistema eletrônico anti-incrustacão. **Fonte**: Olaya Tellez *et al.* (2023)

A solução nutritiva utilizada em cada tratamento foi armazenada em reservatórios de 500 litros. A irrigação de cada perfil foi realizada por meio de tubulação de polipropileno de 25 mm. Cada tratamento tem seu retorno individual da solução nutritiva até seu respectivo reservatório. O sistema de bombeamento da solução nutritiva foi realizado com auxílio de moto bomba periférica de 0,5 cv FERRARI em cada reservatório, controlada por timer eletromecânico programado para ligar o sistema a cada 15 minutos, das 6:00 às 18:00 horas e de 15 minutos a cada hora das 18:00 às 6:00 com vazão entre 1,5 a 2,0 litros por minuto.

A solução nutritiva utilizada foi baseada na recomendação de Furlani *et al.* (1999) que possui 187 N; 72 P; 220 K; 143 Ca; 38 Mg; 52 S; 0,45 B; 0,45 Cu; 1,81 Fe; 0,45 Mn; 0,18 Zn e 0,09 Mo nas dosagens de 80% e 100%, chamadas de solução 80 e 100. Quando a temperatura superou os 25°C a solução foi diluída 20%, mantendo as proporções. A exposição da solução nutritiva ao sistema eletrônico anti-incrustacão ou pulsos elétricos de baixa frequência foi constante e intermitente. A constante manteve a exposição da água ao longo do ciclo da cultura o tempo todo e a intermitente teve a exposição da água de irrigação durante o enchimento dos reservatórios em cada troca de solução a cada 8 dias. Os demais tratamentos não tiveram exposição ao sistema e mantiveram as soluções nutritivas.

As mudas de alface foram desenvolvidas em espuma fenólica por 30 dias em condições protegidas e quando atingiram de 5 a 7 folhas verdadeiras foram selecionadas e transplantadas nos perfis hidropônicos.

3.4.4 Avaliações

Aos 0, 8, 16 e 24 dias após transplantio (DAT) foram coletadas 4 plantas por cada parcela. A coleta consistiu em deixar uma planta no início e uma no final de cada bancada mitigando o efeito bordadura e a colheita das quatro plantas em ordem de transplantio, alternando o extremo da bancada em cada nova coleta. O efeito bordadura foi mantido ao longo

dos ciclos.

O número de folhas foi determinado manualmente, a massa fresca da parte aérea foi mesurada mediante balança de precisão (0,01 g), a massa seca da parte aérea foi obtida após o material ser secado em estufa de circulação de ar forçada a 65°C, até atingir peso constante, aproximadamente após 72 horas e verificada em balança de precisão (0,01 g).

A clorofila foi medida no horário das 7 e 10 horas na folha com maior atividade fotossintética, foram implementadas duas tecnologias, a primeira foi o medidor eletrônico portátil de intensidade da cor verde das plantas (SPAD), modelo Digital SPAD 502 (Minolta Camera Co. Ltda). Calculada a média de quatro medições feitas em cada folha, duas no lado esquerdo e duas no lado direito do limbo foliar.

A segunda tecnologia foi o medidor portátil de clorofila CM1000 Chlorophyll meter (Spectrum Technologies, Inc.) calculando a média de quatro medições sobre a coroa de cada planta, localizando o laser sobre as folhas a 1 metro de distância entre a planta e o CM1000. Evitou-se regiões com nervuras secundárias.

As variáveis de sólidos solúveis, potencial de hidrogênio e acidez titulável foram determinados aos 0, 4 e 7 dias após a colheita.

Os sólidos solúveis (SS) foram medidos com o auxílio de um refratômetro digital ATAGO PR-101, com escala de medida de 0 a 45 ºBrix, com subdivisão em escala decimal (AOAC, 1992).

O potencial de hidrogênio (pH) foi calculado mediante potenciômetro digital modelo DMPH-2 Digimed com membrana de vidro, aferido com soluções tampões de pH 7 e 4, conforme a AOAC, (1992).

A acidez titulável (AT) foi calculada, diluindo-se 2,0 ml da seiva em 40 mL de água destilada. Em seguida, realizar a titulação com NaOH (0,02 N) até atingir pH 8,7 com auxílio de um titulador potenciométrico digital automático com membrana de vidro, Mettler DL12. Os resultados são expressos em ácido cítrico.

A perda de massa na pós-colheita foi monitorada em três plantas coletadas e embaladas em sacos plásticos após os 24 DAT por um período de 7 dias consecutivos, foram devidamente identificadas e pesadas todos os dias as 10 horas com auxílio de balança de precisão (0,01 g).

3.4.5 Analises estatística

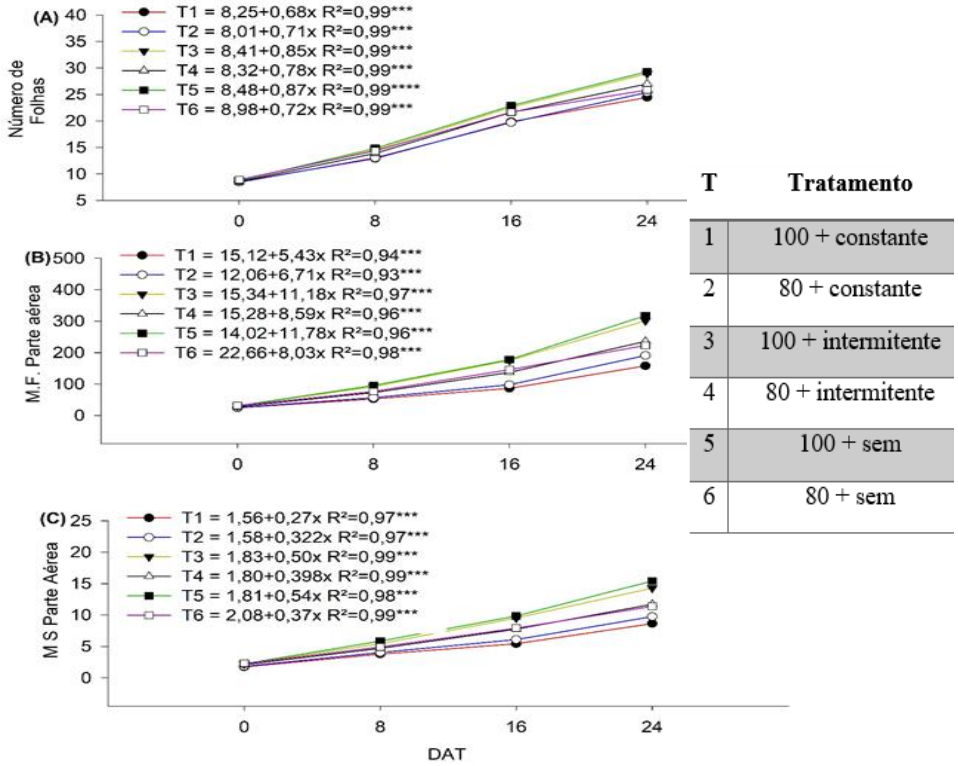
Dados submetidos aos testes de normalidade de Anderson-Darling e homocedasticidade (homogeneidade das variâncias) pelo teste de Hartley e análise de variância, com níveis de significância de 5% de probabilidade de erro. Quando significativas, as médias foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de significância e estudos de regressão, utilizando-se o software estatístico R (versão 4.1.2). Os gráficos foram produzidos no programa SigmaPlot (versão 14.0).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Analises biométricas

As variáveis número de folhas, massa fresca e seca da parte aérea de plantas tratadas com e sem pulsos elétricos de baixa frequência apresentou padrão de variação linear conforme a Figura 3 A, B e C, o valor R^2 para todos os tratamentos esteve ente 93 a 99% e o coeficiente linear foi significativo pelo teste Tukey, mostrando que o modelo se ajusta adequadamente aos dados.

Figura 3. Tendência do desenvolvimento das variáveis biométricas ao longo dos 24 dias após transplantio da cultura de alface tratada com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico



T	Tratamento
1	100 + constante
2	80 + constante
3	100 + intermitente
4	80 + intermitente
5	100 + sem
6	80 + sem

DAT: dias após transplantio; **Fonte**: Autores, (2023)

O número de folhas teve incremento constante ao longo do ciclo aos 24 DAT na solução 100 + frequência intermitente (T3) e 100 + sem frequência (T5). A massa fresca e seca da parte aérea apresentou ganho de massa com menor acumulo a partir dos 8 DAT, nas soluções 100 e 80 + frequência constante (T1 e T2), seguido de solução 80 + com e sem frequência intermitente (T4 e T6) e finalizando o solução 100 + com e sem frequência intermitente (T3 e T5) para as duas variáveis analisadas.

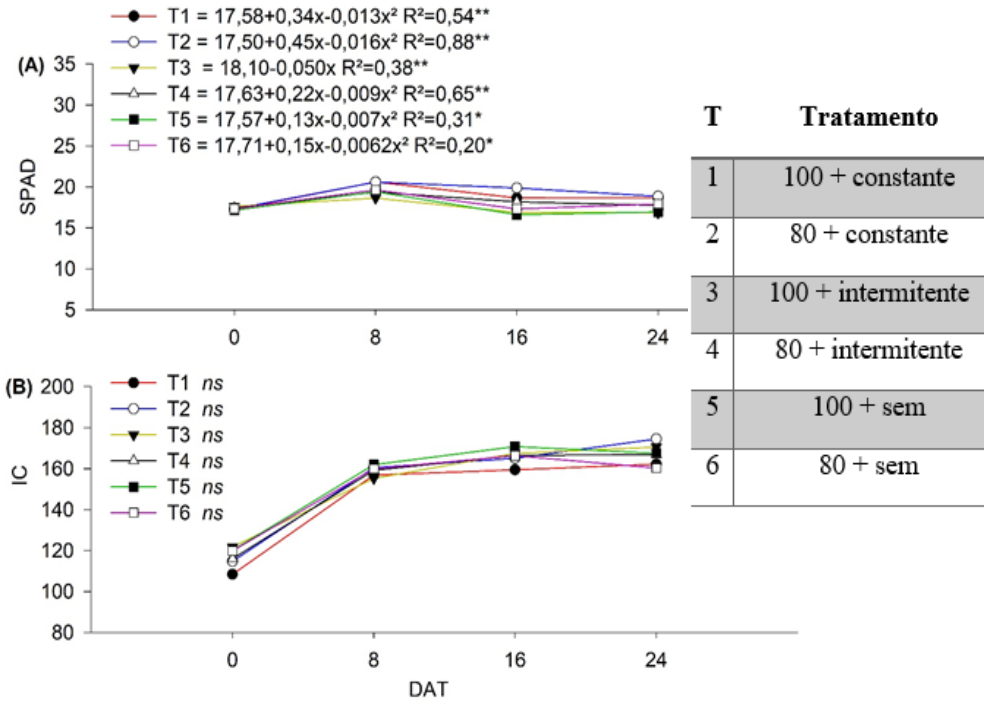
A solução 80 + com e sem frequência intermitente (T4 e T6) tiveram aumento de 7%, 27% e 23% em relação aos demais tratamentos para as variáveis de número de folhas, massa fresca e seca da parte aérea respectivamente. Os tratamentos com solução 100 mostraram maiores efeitos derivados de temperaturas elevadas, o que possivelmente gerou aumento da concentração de sais favorecendo distúrbios nutricionais (Xavier *et al.*, 2021).

Fatores como a condutividade elétrica acima de 2.5 dSm^{-1} gera desbalanceamento no ajuste osmótico e reduz o desenvolvimento das plantas (Xavier *et al.,* 2021). A presença de Cloro na solução nutritiva gera efeitos similares, obstruindo a absorção de Ca e K, impactando diretamente o acumulo de massa seca e fresca (Cova *et al.,* 2017).

Resultados superiores a o longo dos ciclos foram apresentados nos tratamentos com solução 80, mas, sem efeitos significativos com o uso dos pulsos elétricos de baixa frequência. Lima, (2021) obteve benefícios na cultura de feijão em solo utilizando sistema similar eletromagnético, tecnologia com certa similaridade. A implementação de soluções nutritivas menos concentradas que a recomendada por Furlani et al. (1999) tiveram adequado desempenho em *Coriandrum sativum* e *Artemisia absinthium* (Vasconcelos *et al.,* 2014; Luz *et al.,* 2018)

As variáveis SPAD de plantas tratadas com e sem pulsos elétricos de baixa frequência apresentou padrão de variação linear com R^2 de 38% para a solução 100 + frequência intermitente (T3), já os outros tratamentos apresentaram coeficiente de variação quadrático com R^2 entre 31 a 88%, o coeficiente significativo, mas, com baixa representatividade para solução 100 e 80 + sem frequência (T5 e T6), mostrando que o modelo não se ajusta adequadamente aos dados conforme a Figura 4 A. A variável índice de clorofila (IC) não apresentou diferenças significativas nem ajuste em nenhum modelo como se aprecia na Figura 4 B.

Figura 4. Tendência do comportamento da clorofila ao longo dos 24 dias após transplantio da cultura de alface tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico



T	Tratamento
1	100 + constante
2	80 + constante
3	100 + intermitente
4	80 + intermitente
5	100 + sem
6	80 + sem

IC: Índice de clorofila**; DAT:** dias após transplantio; **Fonte**: Autores, (2023)

O índice SPAD e IC tiveram incremento constante até os 8 DAT com melhor desempenho para a solução 80 + frequência constante (T2) e menor índice SPAD para solução 100 + sem frequência (T5). Dos 8 até 24 DAT o SPAD e o IC em todos os tratamentos permaneceram estáveis.

Ciriello *et al.* (2021) reportam na cultura de alface hidropônica valores máximos das 27 unidades SPAD as três semanas de cultivo e Aragão *et al.* (2020) obteve 26 unidades SPAD no

final do ciclo de cultivo aos 30 dias após transplantio, já por sua parte Silva *et al.* (2020) conseguiram de 14 a 16 unidades SPAD em alface submetidas a estrese salino. O monitoramento correto da clorofila com o índice SPAD e CM1000 tem alta correlação com o estado nutricional de nitrogênio nas plantas podendo ser usado no manejo agronômico (Mahajan *et al.*, 2014; Eshkabilov *et al.*, 2021).

A clorofila monitorada pelo SPAD e o CM1000 aumentaram proporcionalmente em todo o ciclo da cultura de alface. O potencial de hidrogênio e a acidez titulável responderam isoladamente aos fatores de ciclo e solução, respectivamente, como se aprecia na Tabela 1.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para as variáveis de °Brix, pH e acidez titulável da cultura de alface tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico

Fonte de variação	Freq.	Solução	Ciclo	Freq. X Solução	Freq. X Ciclo	Solução X Ciclo	Solução X Ciclo X Freq.
	Quadrado médio ($p < 0,05$)						
Brix	0,210	0,11	0,659	0,106	0,138	0,74	0,194
pH	0,133	0,01	0,632	0,14	0,637	0,152	0,174
Att	0,003	0,102	0,0001	0,833	0,82	0,172	0,14

Brix: °Brix; pH: Potencial de hidrogênio, Att: Acidez titulável. $p < 0,05$ apresentam diferenças entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Freq.: Frequência de uso dos pulsos elétricos.

Os valores médios das variáveis de pós-colheita de °Brix, potencial de hidrogênio e acidez titulável sobre o efeito de pulsos elétricos de baixa frequência com duas soluções nutritiva e dois ciclos de produção de alface hidropônica (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão das variáveis de pós-colheita da alface tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico

Fonte de variação		Brix	pH	Att
Freq.	Constante	2.72±0.6	6.09±0.45	0.14±0.05
	Intermitente	2.49±0.5	6±0.22	0.14±0.04
	sem	2.48±0.6	6.08±0.36	0.14±0.05
Solução	80	2.69±0.4	5.96±0.24b	0.15±0.05
	100	2.43±0.68	6.16±0.41a	0.13±0.04
Ciclo	2	2.53±0.49	6.04±0.2	0.1±0.02b
	3	2.6±0.65	6.08±0.46	0.18±0.03a

Médias seguidas de mesmas letras ou sem letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Brix: ° Brix; pH: Potencial de hidrogênio, Att: Acidez titulável. Freq.: Frequência de uso dos pulsos elétricos.

O pH apresentou maior concentração na solução 100 em ralação à 80 e a acidez titulável teve redução no ciclo 2 em relação ao 3 ao longo do período de pós-colheita. As diferenças encontradas estão em torno de 4% a favor da solução 100 e de 34% em favor do ciclo 2. O uso de pulsos elétricos de baixa frequência não teve impacto significativo nas variáveis analisadas.

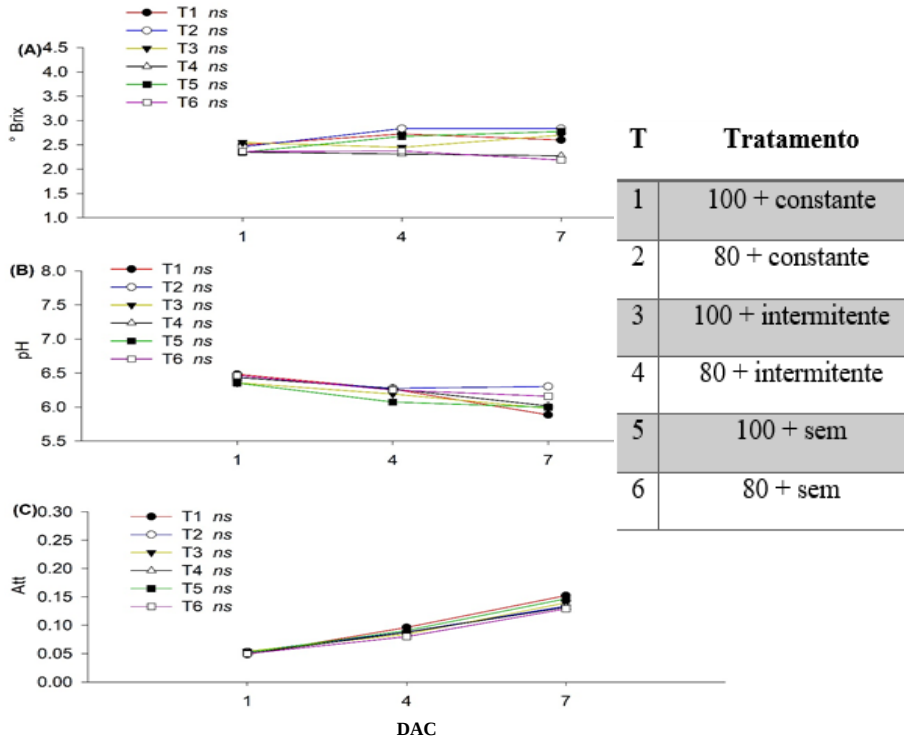
Segundo Silva *et al.* (2011) o total de teores de sólidos solúveis foram semelhantes no sistema convencional e superiores ao hidropônico. Já para Fontana *et al.* (2018) as variáveis de pH, °Brix e acidez titulável de alface cultivada em sistema convencional, hidropônico e

orgânico não apresentam diferenças significativas com valores ao redor de 5,9 e 2,4 e acidez titulável superior no sistema hidropônico. Valores similares foram encontrados no presente trabalho.

A utilização de diferentes sistemas de produção de alface influencia no tamanho, peso e a percepção de compra dos consumidores (Fontana *et al.*, 2018). Os sistemas convencional e hidropônico apresentam maior tempo de prateleira na pós-colheita (Silva *et al.*, 2011; Reis *et al.*, 2014). Lima, (2021) em estudos em feijão comum não encontrou resultados conclusivos no uso do eletromagnetismo.

O comportamento das variáveis de sólidos solúveis, pH e acidez titulável ao longo dos 7 dias de pós-colheita da alface para os diferentes tratamentos no sistema hidropônico se apresentam na Figura 5.

Figura 5: Tendência do desenvolvimento das variáveis ao longo dos 7 dias de pós-colheita da cultura de alface tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico



T	Tratamento
1	100 + constante
2	80 + constante
3	100 + intermitente
4	80 + intermitente
5	100 + sem
6	80 + sem

DAC: dias após colheita; **Fonte**: Autores, (2023)

Não foi constatado padrão de variação que se ajustasse significativamente ao comportamento das variáveis de sólidos solúveis, pH e acidez titulável ao longo de 7 dias de pós-colheita (Figura 5 A, B e C).

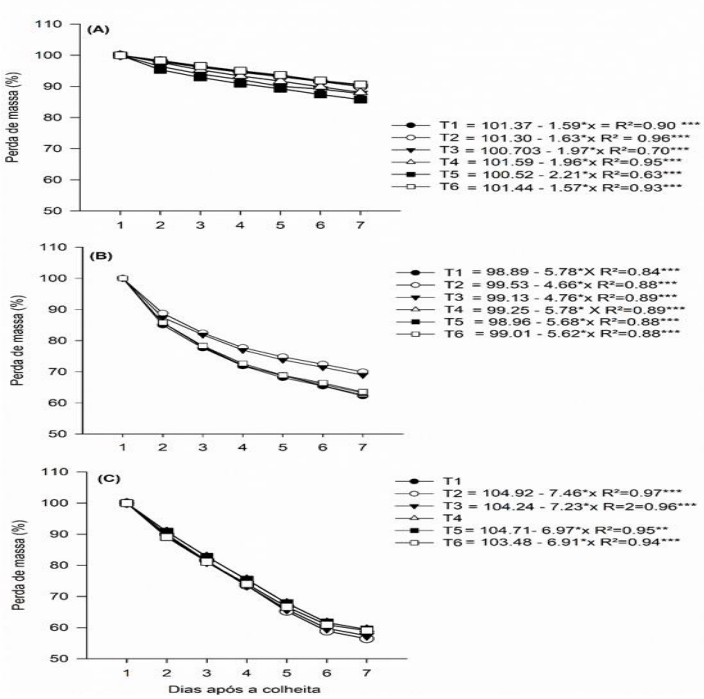
Os sólidos solúveis tiveram menor oscilação na pós-colheita com destaque para a solução 80 + frequência constante (T2). O pH mostrou redução generalizada a partir do primeiro dia de pós-colheita, a solução 100 + frequência intermitente (T3) foi a que mostrou maior redução. A acidez titulável das plantas teve tendência crescente do 1 ao 7 DAC, sendo inversamente proporcional ao pH.

Resultados simulares foram reportados por Reis *et al.* (2014) no comportamento dos sólidos solúveis, pH e acidez titulável na pós-colheita de alface em diferentes sistemas de cultivo. Segundo Fontana *et al.* (2018) os sistemas convencional e hidropônico têm melhor aceitação pelos consumidores e mostram valores similares aos encontrados no presente trabalho, evidenciando que o uso de pulsos elétricos de baixa frequência não alterou significativamente as variáveis analisadas na pós-colheita da alface.

O comportamento do potencial de hidrogênio está correlacionado ao consumo dos ácidos orgânicos no processo respiratório, assim, na pós-colheita da alface pode-se apresentar relação inversa entre o pH e acidez titulável, fatores como os tipos de embalagem e o ambiente de armazenagem estão correlacionados (Gomes *et al.*, 2021).

A perda de massa na alface ao longo de 7 dias de pós-colheita exibiu ajuste no padrão de variação linear decrescente para todos os ciclos conforme a Figura 6 e coeficiente de correlação R^2 significativo entre 63 e 96% para o ciclo um e de 88% e 95% para o clico dois e três, respectivamente.

Figura 6. Perda de massa ao longo de 7 dias de pós-colheita da cultura de alface tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência em sistema hidropônico



T	Tratamento
1	100 + constante
2	80 + constante
3	100 + intermitente
4	80 + intermitente
5	100 + sem
6	80 + sem

Fonte: Autores, (2023)

As condições ambientais influenciaram a perda de massa na ordem de 12, 35 e 40% nos ciclos um, dois e três, respectivamente, sendo maior em condições de temperatura elevada. Andrade, (2019) e Soares *et al.* (2020) reportam limitações no desenvolvimento da alface em temperaturas superiores a 25°C podendo reduzir a qualidade na pós-colheita diminuindo a vida de prateleira.

Resultados semelhantes aos encontrados no presente trabalho foram reportados por Fontana *et al.* (2018) ao constatarem que o uso de atmosfera modificada interfere na perda de massa fresca e mantem o teor relativo de água, melhorando a qualidade no armazenamento. Segundo Reis *et al.* (2014) o uso de embalagem proporciona menor gradiente de pressão de vapor entre a atmosfera interna e a superfície da planta aumentando a vida útil na pós-colheita.

A implementação de pulsos elétricos de baixa frequência de 3-32 kHz não mostrou ingerência na perda de massa nos ciclos um e três em todos os tratamentos, já no ciclo dois foi observado menor perda de massa na solução 80 + frequência constante (T2) e solução 100 + frequência intermitente (T3). Segundo Putti *et al.* (2015, 2018, 2023b) o uso de água tratada magneticamente e/ou eletromagnética gera efeitos positivos na produtividade em alface e cenoura, podendo refletir na qualidade da pós-colheita. Liu *et al.* (2019) reportam resultados positivos ao utilizar eletromagnetismo ao longo do desenvolvimento vegetal. Olaya Tellez *et al.* (2023) reportam resultados similares entre plantas de alface hidropônica tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência e sem tratamento.

3.6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento da alface hidropônica submetida a pulsos elétricos de baixa frequência independentemente da solução nutritiva apresentou o mesmo comportamento que as plantas não tratadas mostrando baixa influência da tecnologia implementada.

O uso de pulsos elétricos de baixa frequência não mostrou diferenças no pH, acidez titulável, °Brix e perda de massa na pós-colheita da alface hidropônica.

3.7 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

REFERÊNCIAS

AL-OGAIDI, A. A.; WAYAYOK, A.; ROWSHON, M.; ABDULLAH, A. F. The influence of magnetized water on soil water dynamics under drip irrigation systems. **Agricultural Water Management,** Amsterdam, v. 180, p. 70–77. 2017.

AL-TAWAHA, A. R.; AL-KARAKI, G.; AL-TAWAHA, A. R.; SIRAJUDDIN, S. N.; MAKHADMEH, I.; WAHAB, P. E. M.; YOUSSEF, R. A.; AL SULTAN, W.; MASSADEH, A. Effect of water flow rate on quantity and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in nutrient fi lm technique (NFT) under hydroponics conditions. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia, v.24, n. 5, p. 793-800, 2018.

ANDRADE, R. R. **Efeito da concentração da solução nutritiva em cultivares de alface em sistema hidropônico tipo NFT, em clima semiárido**. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 93p. 2019.

ARAGÃO, M. M.; OLIVEIRA, G. R. C.; NEVES, J. L.; ANJOS, D. N. Lettuce culture response due to different base saturation. **Revista PesquisAgro**, Confresa. v.3, n. 1, p. 94-101. 2020.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY – AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry. 11.ed. Washington, p. 1115. 1992.

CHIBOWSKI, E.; SZCZES, A. Magnetic water treatmentea review of the latest approaches. **Chemosphere**, Oxford, v. 203, p. 54-67, 2018.

CIRIELLO, M.; FORMISANO, L.; PANNICO, A.; EL-NAKHEL, C.; FASCELLA, G.; DURI, L. G.; CRISTOFANO, F.; GENTILE, B. R.; GIORDANO, M.; ROUPHAEL, Y.; FUSCO, G. M.; CARILLO, P. W. Nutrient Solution Deprivation as a Tool to Improve Hydroponics Sustainability: Yield, Physiological, and Qualitative Response of Lettuce. **Agronomy**, Madison. v. 11, p. 1469. 2021. DOI: 10.3390/agronomy11081469

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Boletim hortigranjeiro, Brasília, v, 6, n. 2, p. 72. 2020.

COVA, A. M. W.; FREITAS, F. T. O.; VIANA, P. C.; RAFAEL, M. R. S.; AZEVEDO NETO, A. D.; SOARES, T.M. Content of inorganic solutes in lettuce grown with brackish water in different hydroponic systems. **Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 21, n. 3, p. 150-155. 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p150-155

CUNHA, A. R; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v.14, n. 1, p. 1-11, 2009.

ESHKABILOV, S.; LEE, A.; SUN, X.; LEE, C. W.; SIMSEK, H. Hyperspectral imaging techniques f or rapid detection of nutrient content of hydroponically grown lettuce cultivars. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 181, 2021. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105968.

FONTANA, L; ROSSI, C. A.; HUBINGER, S. Z.; FERREIRA, M. D.; SPOTO, M. H. F.; SALA, F. C.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Physicochemical characterization and sensory evaluation of lettuce cultivated in three growing systems. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 020-026. 2018. DOI: 10.1590/S0102-053620180104

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, N. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, p 52, 1999.

GOMES, N. R.; PIERRE, B. S.; ALMEIDA, R. R. de.; MORGADO, C. M. A.; DE CAMPOS, A. J. Uso de diferentes embalagens e atmosferas modificadas no armazenamento pós-colheita de muricis in natura. **Brazilian Journal of Food Technology**. Campinas, v. 24, n. e2020110. 2021. DOI: 10.1590/1981-6723.11020

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA (IEA). **Alface.** São Paulo: IEA, 2020. Disponível em: http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjetiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1. Acceso em: 18 de março 2022.

KAISER, C.; ERNST, M. **Hydroponic Lettuce**. University of Kentucky College of agriculture, Food and Environment, Cooperative extension service. Kentucky. 2012.

KIM, M. J.; MOON, Y.; TOU, J. C.; MOU, B.; WATERLAND, N. L. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Journal of Food Composition and Analysis**. San Diego, v. 49, p. 19 – 34. 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.004.

KOOHAKAN, P.; JEANAKSORN, T.; NUNTAGIJ, I. Major diseases of lettuce grown by commercial nutrient fi lm technique in Thailand. **Current Applied Science and Technology**, [s. l.]. v. 8, n. 2, p. 56-56. 2008.

LEROY, K. A.; MACHADO, L. T.; TÉLLEZ, H. O.; SANCHÉZ-ROMÁN, R. M. Crescimento e produção da alface mimosa utilizando água residúaria tratada em filtros anaeróbios verticais1. **Irriga**, Botucatu, v. 27, n. 4, p. 856–868, 2022. DOI: 10.15809/irriga.2022v27n4p856-868.

LIMA, B. S. **A influência do eletromagnetismo no desenvolvimento do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*).** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em gestão Ambiental) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. Tapes, p. 28. 2021.

LIU, X.; ZHU, H.; WANG, L.; BI, S; ZHANG, Z.; MENG, S.; ZHANG, Y.; WANG, H.; SONG, C.; MA, F. The effects of magnetic treatment on nitrogen absorption and distribution in seedlings of *Populus* × *euramericana* 'Neva' under NaCl stress. **Scientific Reports**, Crinan, v. 9, n.10025, p. 1-14, 2019. DOI: 1 0.1038/s41598-019-45719- 6.

LUZ, J. M. Q.; OLIVEIRA, R. C. de; AGUILAR, A. S.; SANTOS, T. N. Cultivo de *Artemisia absinthium* L. sob concentrações de solução nutritiva em hidroponia. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 10, n.1, p. 117-128, 2018. DOI: 10.18406/2316-1817v10n220181082

MAGALHÃES, A. G.; MENEZES, D.; RESENDE, L. V.; BEZERRA NETO, E. Desempenho de cultivares de alface em cultivo hidropônico sob dois níveis de condutividade elétrica. **Revista Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n.3, p. 316-320, 2010. DOI: 10.1590/S0102-05362010000300013.

MAHAJAN, G. R.; PANDEY, R. N.; KUMAR, V.; DATTA, S. C.; SAHOO, R. N.; PARSAD, R. Development of Critical Values for the Leaf Color Chart, SPAD and Fieldscout CM 1000 for Fixed Time Adjustable Nitrogen Management in Aromatic Hybrid Rice (*Oryza sativa* L.). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.45, n, 14, 2014. DOI: 10.1080/00103624.2014.909832

MERCIER, A.; BERTAUX, J.; LESOBRE, J.; GRAVOUIL, K.; VERDON, J.; IMBERT, C.; VALETTE, E.; HECHARD, Y. Characterization of biofilm formation in natural water subjected to low frequency electromagnetic fields. **Biofouling**, Chur, v. 32, n. 3, p. 287-299, 2016. DOI: 10.1080/08927014.2015.1137896

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

MITOVA, I.; NENOVA, L.; STANCHEVA, I.; GENEVA, M.; HRISTOZKOVA, M.; MINCHEVA, J. Lettuce response to nitrogen fertilizers and root mycorrhization. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia, v. 23, n.2, p. 260-264, 2017.

OLAYA TELLEZ, H.; LEROY, K. A.; MACHADO, L. T. S.; CAPUANI, S.; JACON, C. P. R. P.; VILLAS BÔAS, R. L. Desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa*) em hidropônia tratada com pulsos elétricos de baixa frequência1. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n. 1, p. 148–163, 2023. DOI: 10.15809/irriga.2023v28n1p148-163.

PIYADASA, C.; RIDGWAY, H. F.; YEAGER, T. R.; STEWART, M. B.; PELEKANI, C.; GRAY, S. R.; ORBELL, J. D. The application of electromagnetic fields to the control of the scaling and biofouling of reverse osmosis membranes – a review. **Desalination**, Amsterdam, v. 418, p. 19-34, 2017. DOI: 10.1016/j.desal.2017.05.017.

PIYADASA, C.; YEAGER, T. R.; GRAY, S.R.; STEWART, M.B.; RIDGWAY, H.F.; PELEKANI, C.; ORBELL, J. D. Antimicrobial effects of pulsed electromagnetic fields from commercially available water treatment devicese controlled studies under static and flow conditions. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology.** Oxford, v. 93, n.3, p. 871-877, 2018

PUTTI, F. F.; DE QUEIROZ BARCELOS, J. P.; GOES, B. C.; ALVES, R. F.; NETO, M. M.; DA SILVA, A. O.; FILHO, L. R. A. G.; ZANETTI, W. A. L.; DE SOUZA, A. V. Effects of water deficit on growth and productivity in tomato crops irrigated with water treated with very low-frequency electromagnetic resonance fields. **Plants,** S. l., v.12, p. 3721. 2023a, DOI: https:// doi.org/10.3390/plants12213721

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; SILVA JUNIOR, J. F. Magnetically treated water for irrigation: effects on production and efficiency of water use in carrot (*Daucus carota* L.) crop. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**. Tunja, v. 12, n. 2, p. 447-455. 2018. DOI: 10.17584/rcch.2018v12i2.7560

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; KLAR, A. E; SILVA JUNIOR, J. F; CREMASCO, C. P; LUDWIG, E. R. Response of lettuce crop to magnetically treated irrigation water and different irrigation depths. **African Journal of Agricultural Research, [s. l.],** v.10, n. 22, p. 2300- 2308. 2015. DOI: 10.5897/AJAR2015.9616

PUTTI, F. F.; VICENTE, E. F.; CHAVES, P. P. N.; MANTOAN, L. P. B.; CREMASCO, C. P.; ARRUDA, B.; FORTI, J. C.; JUNIOR, J. F. S.; CAMPOS, M.; REIS, A. R. Effect of magnetic water treatment on the growth, nutritional status, and yield of lettuce plants with irrigation rate. **Horticulturae**, [s. l.], v. 9, p. 504. 2023b, DOI: https://doi.org/10.3390/horticulturae9040504

REIS, H. F.; MELO, C. M.; MELO, E. P.; SILVA, R. A.; SCALON, S. P. Q. Conservação pós-colheita de alface crespa, de cultivo orgânico e convencional, sob atmosfera modificada. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v. 32, p; 303-309. 2014. DOI: 10.1590/S0102-05362014000300011

SANTOS, J. D.; LOPES DA SILVA, A. L.; DA LUZ COSTA, J.; SCHEIDT, G. N.; NOVAK, A. C.; SYDNEY, E. B.; SOCCOL, C. R. Developmentof a vinasse nutritive solution for hydroponics. **Journal of Environmental Management**, London, v. 114, p. 8-12, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.045

SCHVAMBACH, M. I.; ANDRIOLLI, B. V.; SOUZA, P. F. DE; OLIVEIRA, J. L. B.; PESCADOR, R. Conservação de alface crespa em diferentes condições de armazenamento pós-colheita. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 67, n. 4. 2020. DOI: 10.1590/0034-737X202067040002

SILVA, C. B.; SILVA, J. C.; BRANDÃO JUNIOR, W. Q.; DAMASCENO, F. A.; BARBOSA JÚNIOR, M. R.; SANTOS, M. C. L. Teor de clorofila, carotenóides e índice spad na alface (*Lactuca sativa*) em função de lâminas de irrigação e níveis salinos. **Ciência Agrícola,** Rio Largo, v. 18, n. 3, p. 19-22. 2020. DOI: 10.28998/rca.v18i3.9468

SILVA, E. M. N. P. C.; 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**, Brasília, v. 29, p. 242-245, 2011.

SOARES, R. H.; SILVA, Ê. F. de F.; SILVA, G. F.; CRUZ, A. F. da S.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; ROLIM, M. R. Salinity and flow rates of nutrient solution on cauliflower biometrics in NFT hydroponic system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 24, n.4, p. 258-265, 2020

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M. MURPHY, A**. Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 a ed. Porto Alegre. Artmed, p.858. 2017.

VASCONCELOS, L. S. B.; NETO, E. G.; NASCIMENTO, C. W. A.; BARRETO, L. P. Desenvolvimento de plantas de coentro em função da força iônica da solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife, v. 19, n. 1, p. 11-19, 2014. DOI: 10.12661/pap.2014.003

XAVIER, J. de F.; AZEVEDO, C. A. V. de; AZEVEDO, M. R. de Q. A.; SALES, J. C. R. de; OLIVEIRA, N. C. de; FERNANDES, J. D. Nutritive solutions salinized with sodium chloride in the cultivation of crisp lettuce in a hydroponic system. **Research, Society and Development**. Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 14, p. e515101420437, 2021. DOI 10.33448/rsd-v10i14.20437.

XIAO, Y.; SEO, Y.; LIN, Y.; LI, L.; MUHAMMAD, T.; MA, C.; LI, Y.; Electromagnetic fields for biofouling mitigation in reclaimed water distribution systems, **Water Research,** Oxford, v. 173, p. 1155-1562, 2020. DOI: 10.1016/j.watres.2020.115562.

CAPÍTULO 4

Efeitos na produção de alface hidropônica com tratamento magnético e eletromagnético na solução nutritiva[1]

Effects on hydroponic lettuce production with magnetic and electromagnetic treatment on nutrient solution

4.1 RESUMO - A produção de hortaliças vem aumentando impulsada pelos consumidores que demandam produtos saudáveis e de fácil acesso, onde técnicas como a hidropônica ganham importância por obter resultados similares à produção convencional em solo, reduzindo até em 70% o consumo de água e conseguindo controlar os fatores ambientais no desenvolvimento das culturas. Neste sentido, tem-se como objetivo avaliar os efeitos na produção de alface hidropônica submetida a tratamento magnético e eletromagnético na solução nutritiva. Utilizou-se o delineamento inteiramente ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram a exposição da solução nutritiva ao tratamento magnético, eletromagnético e sem a exposição (controle) ao longo de quatro períodos de monitoramento 7, 14, 21 e 28 dias após transplante, com quatro repetições. O uso de magnetismo e eletromagnetismo na solução nutritiva proporciona melhora no desenvolvimento, produtividade e incidência de algas, tendo o magnetismo com bons resultados nas variáveis biométricas, já a concentração de nutrientes não teve diferenças ao longo do desenvolvimento da cultura de alface hidropônica. Este estudo mostra uma alternativa tecnológica que traz benefícios na produtividade vegetal com aumento da tolerância ao estresse e menor consumo de nutrientes.

Palavras chave: *Lactuca sativa*. Sustentabilidade. Nutrientes. Desenvolvimento.

[1] Capítulo redigido de acordo com as normas do periódico **Revista Ciência Agronômica** (RCA)

4.2 ABSTRACT - Production of vegetables has been increasing driving by consumers who demand healthy and easily accessible products, where techniques such as hydroponic gain importance by gaining results similar to conventional soil production, reducing up to 70% water consumption and being able to control environmental factors by controlling factors by in the development of cultures. In this sense, it aims to evaluate the effects on the production of hydroponic lettuce submitted to magnetic and electromagnetic treatment on nutrient solution. The design was used entirely at random, with four repetitions. The treatments were exposure of the nutrient, electromagnetic and exposure (control) nourishing solution over four monitoring periods 7, 14, 21 and 28 days after transplantation, with four repetitions. The use of magnetism and electromagnetism in nutrient solution provides improvement in the development, productivity and incidence of algae, with magnetism with good results in biometric variables, while nutrient concentration did not have differences through the development of hydroponic lettuce culture. This study shows a technological alternative that has benefits in plant productivity with increased stress tolerance and lower nutrient consumption.

Keywords: *Lactuca sativa*. Sustainability. Nutrients. Development.

4.3 INTRODUÇÃO

O sistema hidropônico consegue produtividades igual ou superior ao convencional, reduzindo o consumo de água e área (Al-Ogaidi *et al.,* 2017; Al-Tawaha *et al.,* 2018; Santos *et al.,* 2013). A técnica de filme nutriente (NFT) e a mais utilizada no cultivo de folhosas (Kaiser; Ernst, 2012). Outros cultivos também podem ser desenvolvidos como tomate, pepino, morango, além de consórcios entre espécies (Edaroyati *et al.,* 2017; Resh, 2013).

Com a finalidade de expressar todo o potencial genético das culturas, são testadas técnicas que forneçam ganhos de produtividade, desde o reuso de agua residuária (Leroy *et al.,* 2022)

até tratamentos com pulsos elétricos de baixa frequência (Olaya Tellez *et al.,* 2023), magnetismo e eletromagnetismo (Chibowski; Szczes, 2018; Putti *et al.,* 2023a).

Neste contexto, tecnologias chamadas de ecologicamente corretas ganham força na procura da sustentabilidade agrícola e ambiental (Yu; Wu, 2018). Expor a água a campos magnéticos gera alterações nos parâmetros físicos e químicos (Putti *et al.,* 2022). Benefícios que podem ser aproveitados no tratamento de sementes até o desenvolvimento de plantas, associado possivelmente ao aumento da hidratação de íons, melhorado o aproveitamento de nutrientes (Khaskhoussy *et al.,* 2023; Liu *et al.,* 2019; Putti *et al.,* 2023b).

Segundo Mghaiouini *et al.* (2021) encontraram que os efeitos persistem até 15 horas após a indução do campo na água com equipamentos similares aos nossos. Tais efeitos podem estar relacionados ao momento dipolar das moléculas de água e ao teor de oxigênio, formando pequenos grupos de moléculas impactando a solubilidade (Esmaeilnezhad *et al.,* 2017; Liu *et al.,* 2019).

As moléculas de água polarizadas por um campo magnético tendem a se organizarem numa mesma direção na medida da redução dos íons e as ligações de hidrogênio intra-cluster e inter-cluster (Chibowski; Szczes, 2018; Gaafar *et al.,* 2015). Estes tratamentos podem interferir no aumento de parâmetros como pH, condutividade elétrica (CE), difusão e permeabilidade, além reduzem a viscosidade e tensão superficial em relação à água não tratada (Putti *et al.,* 2024; Szczes; Chibowski; Rze´Znik, 2020; Zhao *et al.,* 2021).

Segundo Mghaiouini *et al.* (2021) os efeitos dos tratamentos magnético e eletromagnético geram mudanças no magnético com flutuação do campo registrado de Bavg = 0,0155 mT para Bavg = 0,01175 mT entre a água magnética e sem tratamento. Diversos estudos procuram compreender os benefícios destes tratamentos (Chibowski; Szczes, 2018; Sarraf *et al.,* 2020). Tem sido respostado redução dos efeitos do estresse salino em trigo (Selim *et al.,* 2019), uso

eficiente da água em alface (Putti *et al.*, 2015), melhora na produção de berinjela (Souza *et al.*, 2019), e na germinação em tomate (Yusuf *et al.*, 2019) e trigo (Massah *et al.*, 2019).

Aumentos das forças magnéticas reduzem possíveis danos celulares, taxa de transporte de elétrons e conteúdo de macroelementos ocasionados por estresse hídrico e salino em cevada (Ercan *et al.*, 2022) e tomate (Putti *et al.*, 2024) e promovem o crescimento de mudas e raízes no arroz (Zhou *et al.*, 2022). Na atualidade estes efeitos são pouco explorados (Zhang *et al.*, 2022).

Tense reportado mudanças no desenvolvimento, produtividade, absorção de nutrientes em plantas e incidências de algas quando utilizado água tratada (Gosselin *et al.*, 2018; Mercier *et al.*, 2016; Putti *et al.*, 2018, 2022, 2023b). Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo quantificar os efeitos na produção de alface hidropônica com tratamento magnético e eletromagnético na solução nutritiva.

4.4 MATERIAL E METODOS

4.4.1 Localização da área experimental

Conduziu-se o experimento com alface var. Mimosa na área experimental do Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Botucatu-SP, coordenadas 22º 51’ 03’’ de latitude Sul com 48º 25’ 37’’ longitude Oeste. Segundo a classificação Köppen, a região detém clima do tipo Cfa (Clima subtropical úmido), temperatura média superior a 22°C no mês mais quente, altitude média de 780 m, pluviometria anual média 945,15 mm (Cunha; Martins, 2009).

4.4.2 Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento inteiramente ao acaso, com quatro repetições. Os fatores avaliados foram a exposição da solução nutritiva a três tratamentos com magnetismo, eletromagnetismo e controle (sem tratamento) e quatro períodos de monitoramento 7, 14, 21 e 28 dias após transplante (DAT), com quatro plantas de alface.

4.4.3 Sistema hidropônico

Utilizou-se casa de vegetação de 24x7 m e 3,8 m de altura com cobertura de filme plástico de 150 micras. O controle da temperatura e luminosidade foi realizado mediante a abertura de dos lanternins quando a termômetro alcançava os 25ºC e cobertura com Tela Aluminet 50%, respectivamente. O sistema hidropônico utilizado foi em NFT com 5% de inclinação, considerou-se o efeito bordadura ao longo de todo o ensaio, utilizando-se como parcela útil as 20 plantas centrais em cada tratamento.

Faram utilizados reservatórios de 500 litros para armazenar a solução nutritiva utilizada nos tratamentos, previamente mensurados. O retorno da solução nutritiva dos canais de cultivo para seu respectivo reservatório foi por gravidade no final do perfil hidropônico. O sistema de bombeamento consta de uma moto bomba periférica de 0,5 cv FERRARI por tratamento, controlada mediante timer eletromecânico programado para irrigar de 15 em 15 minutos, das 6:00 às 18:00 horas e 5 minutos a cada hora das 18:00 às 6:00 com vazão entre 1,5e 2,0 l/min.

A solução nutritiva empregada foi fundamentada na recomendação de Furlani *et al.* (1999) que está constituída por 187 N; 72 P; 220 K; 143 Ca; 38 Mg; 52 S; 0,45 B; 0,45 Cu; 1,81 Fe; 0,45 Mn; 0,18 Zn e 0,09 Mo.

A exposição da solução nutritiva aos diferentes tratamentos se realizo da seguinte forma: A) Magnetismo (ATM); utilizou-se o equipamento da Sylocymol, com capacidade de magnetizar 5 $m^3\ h^{-1}$. O equipamento foi colocado em posição vertical no meio do reservatório, mantendo o campo magnético durante todo o experimento. B) Eletromagnetismo (ATE); empelou-se o equipamento AQUA4D que consiste em um painel eletrônico pré-programado para gerar sinais eletromagnéticos, o equipamento é acoplado à tubulação entre o reservatório e o sistema hidropônico por onde passa a solução nutritiva que recebe os sinais antes mencionados cada vez que é ligado o sistema. C) Convencional; preparo da solução nutritiva sem nenhum tratamento adicional.

As mudas de alface utilizadas foram germinadas em bandejas plásticas em ambiente protegido por um período de 30 dias. Quando as plantas apresentaram de 4 a 6 folhas verdadeiras, faram selecionadas por tamanho uniforme e transferidas ao sistema hidropônico para início do período de avaliação.

4.4.4 Avaliações

Aos 7, 14, 21 e 28 dias após transplantio (DAT) foram coletadas quatro plantas em ordem por cada tratamento, devidamente identificadas e colocadas em bandejas plásticas. A cada nova colheita foi alternando o extremo da bancada. Ao logo do ensaio foi mitigado o efeito bordadura com uma fileira de plantas no final da área de colheita.

Foi avaliada o número de folhas manualmente, a massa fresca da parte aérea e raiz com auxílio de balança de precisão (0,01 g), a massa seca da parte aérea e raiz obtida após o material ser secado em estufa de circulação de ar forçada a 65°C, até atingir peso constante, aproximadamente após 72 horas, com auxílio de balança de precisão (0,01 g).

O índice SPAD foi medido no horário das 7 às 10 horas na folha com maior atividade fotossintética, utilizou-se o medidor eletrônico portátil de intensidade da cor verde das plantas (SPAD), modelo Digital SPAD 502 (Minolta Camera Co. Ltda). Calculou-se a média de quatro medições em cada folha, duas no lado esquerdo e duas no lado direito do limbo foliar.

Aos 28 dias após transplantio (DAT) foram coletadas 4 plantas por cada tratamento devidamente identificadas e transportadas até o Laboratório do Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP. Posteriormente foram divididas em parte aérea e raiz, as folas foram lavadas três vezes individualmente com água destilada e secadas numa centrifuga manual de alimentos com a finalidade de eliminar resíduos e impurezas na superfície das folhas.

O material foi alocado em sacos individuais de papel e secado em estufa de circulação de ar forçada, a temperatura de 65°C, até atingir peso constante, aproximadamente após 72 horas. Posteriormente a massa seca foi triturada em moinho do tipo Willey e levada no laboratório do departamento de solos e recursos ambientais – FCA/UNESP - Botucatu-SP, para a determinação de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, conforme a metodologia de Malavolta; Vitti; Oliveira, (1997).

Em cada coleta foi monitorado a presencia ou ausência de algas sob superfície das raízes das plantas. Ao longo do ciclo foi realizado seguimento das condições climáticas dentro da casa de vegetação, junto com o controle de pH e CE diariamente com auxílio do kit de medidores portáteis HORIBA LAQUAtwin calibrados previamente.

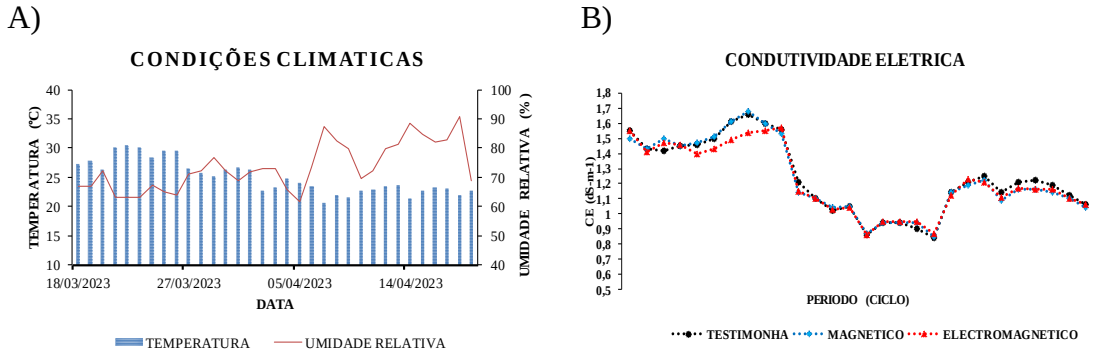
4.4.5 Analises estatística

Dados submetidos aos testes de normalidade de Anderson-Darling e homocedasticidade (homogeneidade das variâncias) pelo teste de Hartley e análise de variância, com níveis de significância de 5% de probabilidade de erro. Quando significativas, as médias foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de significância e estudos de regressão, utilizou-se o programa estatístico R (versão 4.1.2). Os gráficos foram produzidos no programa SigmaPlot (versão 14.0).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados climáticos foram monitorados através de um medidor portátil de umidade e temperatura, com auxílio de um termômetro instalados no interior da casa de vegetação. Na Figura 1A pode-se observar os valores da temperatura e umidade relativa e na Figura 1B visualiza-se o comportamento da condutividade elétrica, já o pH se manteve estável na faixa de 5,8 a 6,3 durante o período de condução do experimento.

Figura 1. Monitoramento ao longo do experimento: A) Condições climáticas (umidade relativa e temperatura). B) Condutividade elétrica da solução nutritiva

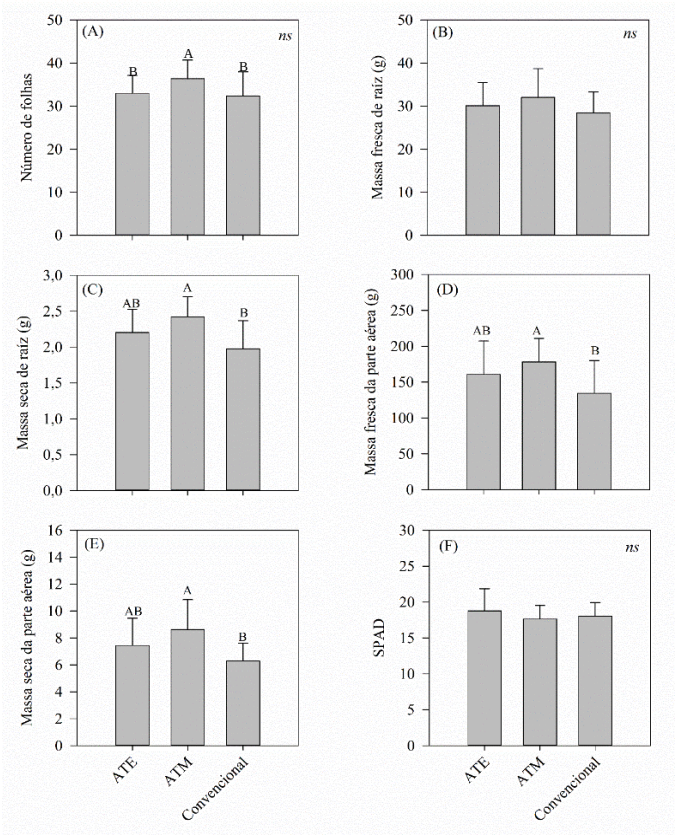


A média da temperatura e umidade relativa observadas ao longo do experimento foram de 24,91ºC e 73,43%, respectivamente. Sabe-se que temperatura acima de 25ºC podem causar mudanças no crescimento das plantas e os ambientes protegidos são propensos a ter aumento no seu interior pelo qual é recomendado instalar sombrite (Neves *et al.*, 2016). O seguimento da CE permitiu realizar medidas corretivas para reduzir o estresse nas plantas devido aos períodos de altas temperaturas e seu estado de desenvolvimento.

As variáveis número de folhas, massa seca de raiz e massa fresca e seca da parte aérea das plantas de alface hidropônica apresentaram diferenças significativas para ATM, ATE e convencional, respectivamente, já a massa fresca de raiz e SPAD no tiveram diferenças entre os tratamentos e o convencional (Figura 2).

O número de folhas (Figura 2A) obteve diferenças na ordem de 17% em ATM e 7% no uso de ATE em relação ao convencional ao longo de todo o ciclo de cultivo. Já a massa seca de raiz (Figura 2C) e massa fresca e seca da parte aérea (Figura 1D e E) exibiram aumento de massa em relação ao tratamento convencional em favor de ATM na ordem de 21, 26 e 30% e de 10, 18 e 24% para ATE nas variáveis analisadas respectivamente, evidenciando que o uso de ATM obteve resultados superiores a ATE.

Figura 2. Resposta das variáveis biométricas na cultura de alface hidropônica submetida a tratamento magnético, eletromagnético e convencional na solução nutritiva. Distinta letra maiúscula apresenta diferenças estatísticas e letras iguais ou ausência de diferença entre tratamentos. As barras de erro indicam o desvio padrão da média das repetições. ATM: Solução nutritiva tratada magneticamente. ATE: Solução nutritiva tratada eletromagneticamente. Convencional: Solução nutritiva sem tratamento



Os resultados mostram aumento do desenvolvimento no tratamento ATM. Estudos apontam que o ATM e ATE tem a capacidade de alterar o metabolismo hídrico e mineral das plantas, diminuindo os efeitos causados pelo estresse em ambientes adversos, otimizando a absorção de água e nutrientes, elevando os níveis de clorofila e promovendo a atividade da nitrato redutase (Khaskhoussy et al., 2023; Liu *et al.*, 2019; Zhou *et al.*, 2022), o que poderia, consequentemente, afetar no crescimento e desenvolvimento. Putti *et al.* (2018, 2023a,) reporta aumento das variáveis biométricas como número de folhas, massa fresca, seca e aumento no comprimento radicular nas culturas de alface e cenoura ao ser tratadas com ATM e ATE. Resultados similares foram encontrados neste estudo.

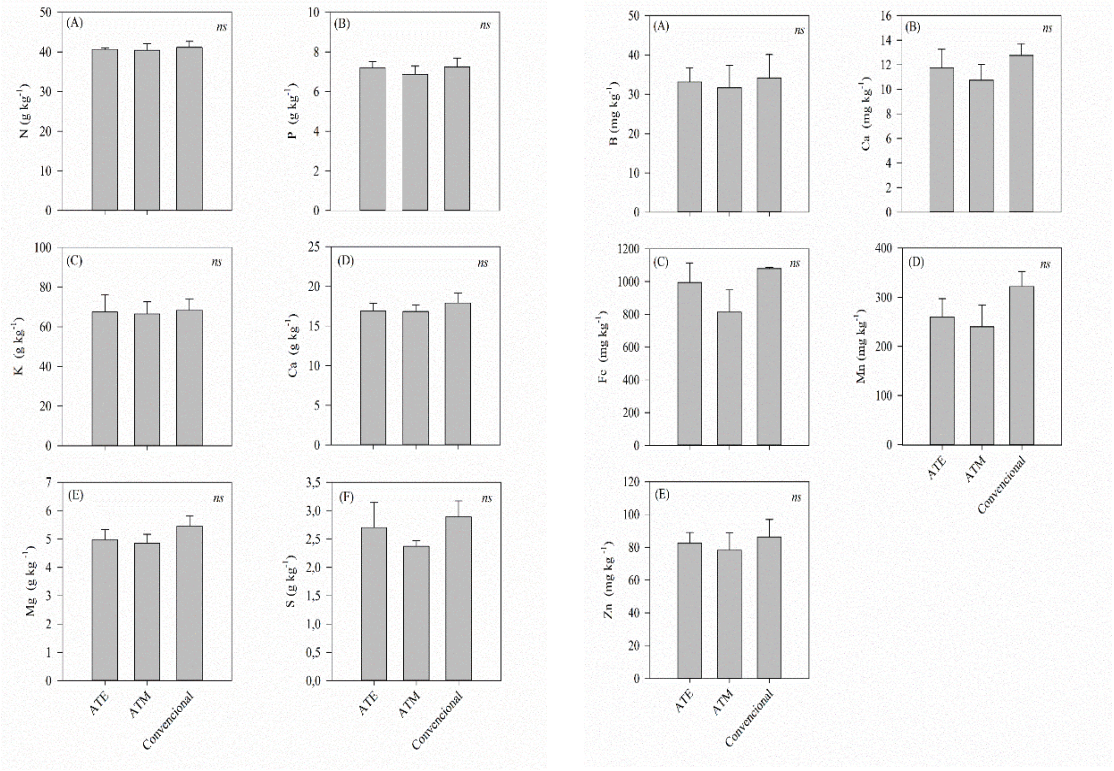
Segundo Khaskhoussy *et al.* (2023) e Chibowski; Szczes, (2018), a melhora observada nas variáveis biométricas das plantas pode ser atribuída aos efeitos positivos de um campo magnético modificando as condições de desenvolvimento vegetativo. Presume-se que o tratamento ATM e ATE interferem na tensão superficial da água e solubilizam melhor os nutrientes da solução nutritiva. Portanto, isso pode favorecer o desenvolvimento das raízes e assim otimizar a absorção de nutrientes, atenuando efeitos das condições adversas de temperatura e condutividade elétrica. (Cui *et al.,* 2020; Liu *et al.,* 2019; Zhao *et al.,* 2021). Benefícios foram encontrados em trigo (Selim *et al.,* 2019) e berinjela (Souza *et al.,* 2019).

A concentração de macro e micronutrientes (Figura 3) não teve mudanças ao ser implementados os tratamentos ATM e ATE na solução nutritiva em comparação com a produção convencional de alface hidropônica. Dentro dos macronutrientes (Figura 3A) foi observado que todos os nutrientes a exceção de nitrogênio e potássio a pesar de não terem diferenças significativas o uso de ATM e ATE mostraram leve redução na concentração em relação ao convencional e nos micronutrientes (Figura 3B) é visualizado um comportamento similar com menor concentração para ATM em relação a ATE.

Os resultados apontam que as plantas de alface conseguiram adequado desenvolvimento com menor concentração de nutrientes nos tratamentos ATE e ATM. Putti *et al.* (2023b) encontraram aumento da concentração de N e P e teores iguais nos micronutrientes em plantas de alface. Desde o ponto de vista enzimático as plantas tratadas magneticamente podem apresentar rápida ativação enzimas e hormonal em seu crescimento, o que ocasiona uma melhora no transporte e mobilização de nutrientes (Maheshwari; Grewal, 2009; Putti et, al., 2024). Portanto, o tratamento ATE e ATM possivelmente contribuem com as alterações mencionadas na produção de fitohormônios, repercutindo num aumento do crescimento e desenvolvimento vegetal (Turker *et al.*, 2007).

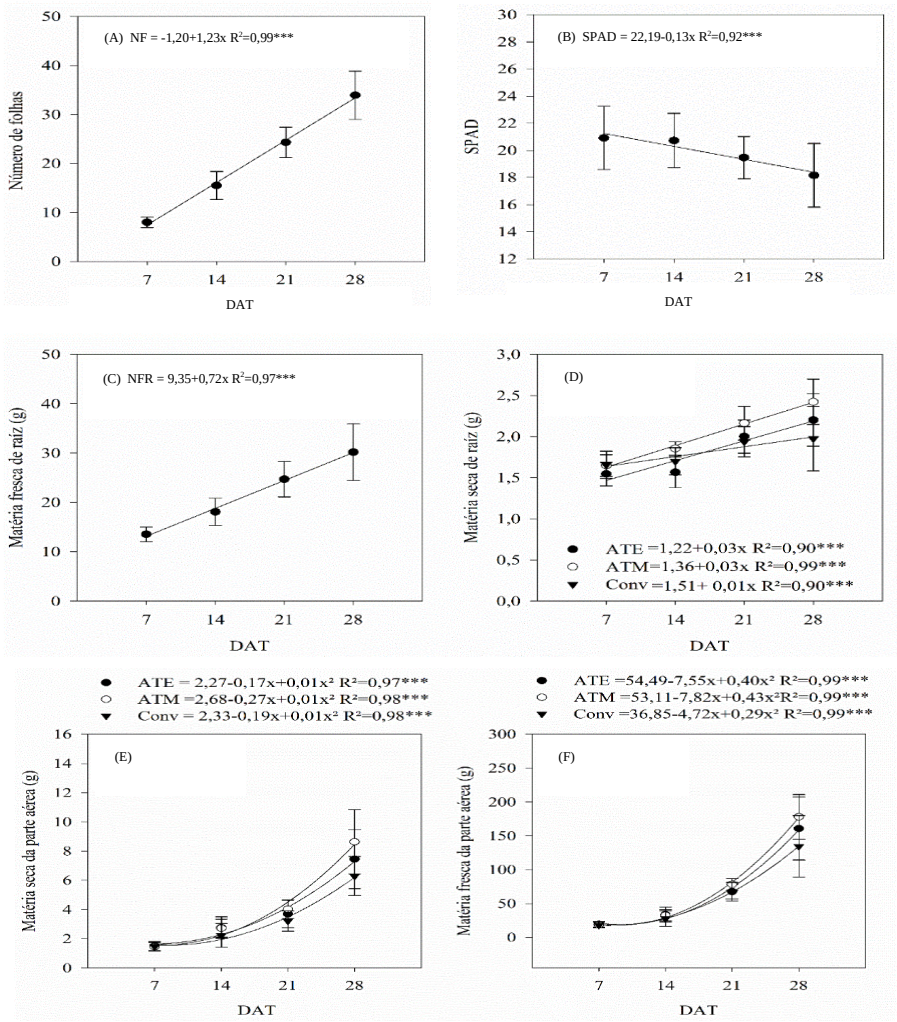
Figura 3. Concentração de macro e micronutrientes na cultura de alface hidropônica submetida a tratamento magnético, eletromagnético e convencional na solução nutritiva. Distinta letra maiúscula apresenta diferenças estatísticas e letras iguais ou ausência de diferença entre tratamentos. As barras de erro indicam o desvio padrão da média das repetições. ATM: Solução nutritiva tratada magneticamente. ATE: Solução nutritiva tratada eletromagneticamente. Convencional: Solução nutritiva sem tratamento

A) B)



As variáveis número de folhas, índice SPAD e massa fresca de raiz de todas as plantas analisadas independentemente dos tratamentos mostraram padrão de variação linear (Figura 4 A, B e C) com coeficiente de determinação (R^2) para as variaveis de 99, 92 e 97%, respectivamente. A materia seca de raiz (Figura 4 D) tambem evidenciou padrão de variação linear, mas, em todos os tratamento com R^2 de 90% para ATE e convencional e ATM com 99%. Já a materia seca e fresca da parte aerea (Figura 4 E e F) se ajustaram a padrão de variação quadratico com R^2 ao redor de 98% para todos os tratamentos, o padrães tanto linear como quadratico foram altamente significativo pelo teste Tukey, mostrando assim que os modelos se ajustam adequadamente aos dados.

Figura 4. Desenvolvimento do número de folhas, SPAD, massa fresca e seca de raiz e parte aérea ao longo do clico da cultura de alface hidropônica submetida a tratamento magnético, eletromagnético e convencional na solução nutritiva. Distinta letra maiúscula apresenta diferenças estatísticas e letras iguais ou ausência de diferença entre tratamentos. As barras de erro indicam o desvio padrão da média das repetições. ATM: Solução nutritiva tratada magneticamente. ATE: Solução nutritiva tratada eletromagneticamente. Convencional: Solução nutritiva sem tratamento; DAT: Dias após transplantio



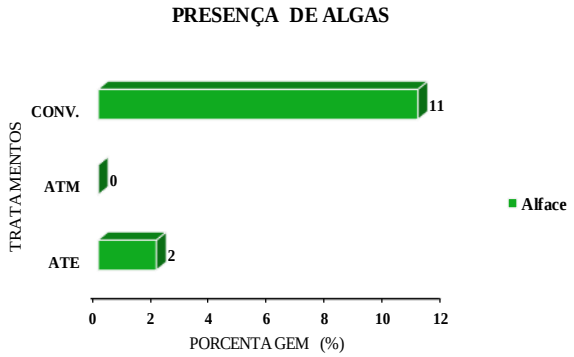
Os resultados mostram que o acumulo de massa teve mudanças nos tratamentos ATE e ATM em relação à produção convencional, podendo estar relacionados com mudanças moleculares na estrutura da água durante a magnetização da solução nutritiva. A exposição da água a campo magnético, aproxima as ligações de hidrogênio das moléculas, formando cadeias

fechadas aumentando a dissolução de minerais na água e sua disponibilidade para o desenvolvimento vegetal (Szczes; Chibowski; Rze´Znik, 2020; Zhao *et al.*, 2021).

Melhora no crescimento e na produtividade das plantas de tomate (Putti *et al.*, 2024) e alamo (Liu *et al.*, 2019) irrigadas com água magnética podem ser associadas à melhora no transporte de assimilados, reguladores de crescimento, hormonios, atividade enzimática, absorção de nutrientes e uso eficiente da água. Outros vantagem do uso da magnetismo é a redução dos efeitos adversos decorrente do estresse por alta temperatura e condutividade eletrica (Zhao *et al.*, 2021), repertutindo em melhor desenvolvimento da raiz e a parte aerea na cultura de alface.

No presente estudo também foi monitorado a presencia ou ausência de algas na superfície da raiz da alface encontrado que 2% das plantas foi constatado a presença no momento ao longo da colheita nos tratamentos de ATE e ATM frente a 11% no tratamento convencional (Figura 5).

Figura 5. Incidência de algas sobre a raiz da alface hidropônica. ATM: Solução nutritiva tratada magneticamente. ATE: Solução nutritiva tratada eletromagneticamente. Conv.: Solução nutritiva sem tratamento



Resultados que mostram redução na incidência de algas ao ser implementado tratamentos com ATE e ATM, podendo amortizar o trabalho na manutenção dos sistemas hidropônicos. Mercier *et al.* (2016) e Gosselin *et al.* (2018) reportaram mudanças no desenvolvimento de

biofilmes associados às incidências de algas na água tratada magneticamente e eletromagneticamente.

Além dos benéficos dos campos magnéticos e eletromagnéticos em diversas espécies vegetais como, tomate (Putti *et al.,* 2023a), algodão (Zhou *et al.,* 2022) e berinjela (Souza *et al.,* 2019), existem reportes de efeitos negativos nos parâmetros de crescimento em outras espécies de plantas (Turker *et al.,* 2007). Esses fatos controversos podem estar correlacionados com às condições operacionais, espécies vegetais, clima, bem como as caraterísticas das propriedades magnéticas e eletromagnéticas dos dispositivos utilizados como intensidade, tempo de exposição e tipo de ímã, dado que pode alterar a resposta das plantas, e mostra a necessidade de investigações com aplicação de diferentes intensidades de campo magnético (Khaskhoussy *et al.,* 2023).

Em síntese, na literatura tem se relatado as vantagens da aplicação de água tratada com campo magnético relacionadas com mudanças a nível bioquímico, o que pode repercutir nos resultados encontrados e relatados no presente ensaio, referentes ao maior crescimento de alface hidropônica tratada com sistema magnético e eletromagnético.

4.6 CONCLUSÕES

1. O uso de magnetismo e eletromagnetismo proporciona benefícios no desenvolvimento, produtividade e reduz a incidência de algas sobre a raiz da cultura da alface.
2. O tratamento magnético da solução nutritiva mostrou aumento das variáveis biométricas na produção de alface hidropônica.
3. A concentração de nutrientes não foi afetada pelo tratamento magnético e eletromagnético ao longo do desenvolvimento da cultura de alface.
4. Os resultados mostram uma alternativa tecnológica para beneficiar a produtividade de diferentes culturas com incremento da tolerância aos efeitos adversos do estresse e menor consumo de nutrientes.

4.7 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

REFERÊNCIAS

AL-OGAIDI, A. A.; WAYAYOK, A.; ROWSHON, M.; ABDULLAH, A. F. The influence of magnetized water on soil water dynamics under drip irrigation systems. **Agricultural Water Management,** Amsterdam, v. 180, p. 70–77. 2017.

AL-TAWAHA, A. R.; AL-KARAKI, G.; AL-TAWAHA, A. R.; SIRAJUDDIN, S. N.; MAKHADMEH, I.; WAHAB, P. E. M.; YOUSSEF, R. A.; AL SULTAN, W.; MASSADEH, A. Effect of water flow rate on quantity and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in nutrient fi lm technique (NFT) under hydroponics conditions. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia, v. 24, n. 5, p. 793-800, 2018.

CHIBOWSKI, E.; SZCZES, A. Magnetic Water Treatment–A Review of the Latest Approaches. **Chemosphere**, Oxford, v. 203, p. 54–67. 2018.

CUI, H.; LIU, X.; JING, R.; ZHANG, M.; WANG, L.; ZHENG, L.; KONG, L.; WANG, H.; MA, F. Irrigation with Magnetized Water Affects the Soil Microenvironment and Fruit Quality of Eggplants in a Covered Vegetable Production System in Shouguang City, China. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, S. l., v. 20, p. 2684 - 2697. 2020

CUNHA, A. R; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v.14, n. 1, p. 1-11, 2009.

EDAROYATI, M. P.; AISHAH, H. S.; AL-TAWAHA, A. M. Requirements for inserting intercropping in aquaponics system for sustainability in agricultural production system. **Agronomy Research**, Madison, v. 15, n.5, p.2048-2067. 2017.

ERCAN, I.; TOMBULOGLU, H.; ALQAHTANI, N.; ALOTAIBI, B.; BAMHREZ, M.; ALSHUMRANI, R.; OZCELIK, S.; KAYED, T.S. Magnetic Field Effects on the Magnetic Properties, Germination, Chlorophyll Fluorescence, and Nutrient Content of Barley (*Hordeum vulgare* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 170, p. 36–48. 2022.

ESMAEILNEZHAD, E.; CHOI, H. J.; SCHAFFIE, M.; GHOLIZADEH, M.; RANJBAR, M. Characteristics and Applications of Magnetized Water as a Green Technology. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 161, p. 908–921. 2017.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, N. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, p 52, 1999.

GAAFAR, M. M.; HUSSAIN, M. S.; ALI, K.; KHRAIBT, C.; SHANDI, N. R.; MOHAMED, S. K. Effect of Magnetic Water on Physical Properties of Different Kind of Water, and Studying Its Ability to Dissolving Kidney Stone. **Journal of Natural Sciences Research**, S. l., v. 5, p. 85–94. 2015.

GOSSELIN, F.; MATHIEU, L.; BLOCK, J. C.; CARTERET, C.; MUHR, H.; JORAND, F. P. A. Assessment of an anti-scale low-frequency electromagnetic field device on drinking water biofilms. **Biofouling**, Chur, v. 34, n. 9, p. 1020–1031. 2018. DOI: https://doi.org/10.1080/08927014.2018.1532998

KAISER, C.; ERNST, M. **Hydroponic Lettuce**. University of Kentucky College of agriculture, Food and Environment, Cooperative extension service. 2012.

KHASKHOUSSY, K.; BOUHLEL, M.; DAHMOUNI, M.; HACHICHA, M. Performance of different magnetic and electromagnetic water treatment devices on soil and two tomato cultivars. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 322, p. 112437. 2023.

LEROY, K. A.; MACHADO, L. T.; TÉLLEZ, H. O.; SANCHÉZ-ROMÁN, R. M. Crescimento e produção da alface mimosa utilizando água residúaria tratada em filtros anaeróbios verticais1. **Irriga**, Botucatu, v. 27, n. 4, p. 856–868, 2022. DOI: 10.15809/irriga.2022v27n4p856-868.

LIU, X.; ZHU, H.; MENG, S.; BI, S.; ZHANG, Y.; WANG, H.; SONG, C.; MA, F. The Effects of Magnetic Treatment of Irrigation Water on Seedling Growth, Photosynthetic Capacity and Nutrient Contents of Populus Euramericana 'Neva' under NaCl Stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, S. l., v. 41, p.11. 2019.

MAHESHWARI, B. L.; GREWAL, H. S. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, p. 1229–1236. 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: Princípios e Aplicações; **Potafos**, Ed.; Piracicaba, Brazil, p. 201. 1997

MASSAH, J.; DOUSTI, A.; KHAZAEI, J.; VAEZZADEH, M. Effects of Water Magnetic Treatment on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, p. 1283–1289. 2019.

MERCIER, A.; BERTAUX, J.; LESOBRE, J.; GRAVOUIL, K.; VERDON, J.; IMBERT, C.; VALETTE, E.; HECHARD, Y. Characterization of biofilm formation in natural water subjected to low frequency electromagnetic fields. **Biofouling**, v. 32, p. 287–299. 2016. DOI: 10.1080/08927014.2015.1137896

MGHAIOUINI, R.; SALAH, M.; MONKADE, M.; EL BOUARI, A. A New Knowledge of Water Magnetism Phenomenon. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 47, p. 1129–1136. 2021.

NEVES, J. F.; NODARI, I. E.; SEABRA JÚNIOR, S.; DIAS, L. D. E.; DA SILVA, L. B.; DALLACORT, R. Produção de cultivares de alface americana sob diferentes ambientes em condições tropicais. **Revista Agro@mbiente**, v. 10, n. 2, p. 130 - 136, 2016.

OLAYA TELLEZ, H.; LEROY, K. A.; MACHADO, L. T. S.; CAPUANI, S.; JACON, C. P. R. P.; VILLAS BÔAS, R. L. Desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa*) em hidropônia tratada com pulsos elétricos de baixa frequência1. **Irriga**, [S. l.], v. 28, n. 1, p. 148–163, 2023. DOI: 10.15809/irriga.2023v28n1p148-163.

PUTTI, F. F.; ARRUDA, B.; VICENTE, E. F.; CHAVES, P. P. N.; NOGUEIRA, B. B.; ZANETTI, W. A. L.; ONO, E. O.; REIS, A. R. Magnetic technology to reduce the effects of saline stress on tomato plants. **Environmental Technology & Innovation**, v. 33, p. 103544. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103544.

PUTTI, F. F.; De QUEIROZ BARCELOS, J. P.; GOES, B. C.; ALVES, R. F.; NETO, M. M.; DA SILVA, A. O.; FILHO, L. R. A. G.; ZANETTI, W. A. L.; DE SOUZA, A. V. Effects of Water Deficit on Growth and Productivity in Tomato Crops Irrigated with Water Treated with Very Low-Frequency Electromagnetic Resonance Fields. **Plants**, v.12, p. 3721. 2023a. DOI: https:// doi.org/10.3390/plants12213721

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; SILVA JUNIOR, J. F. Magnetically treated water for irrigation: effects on production and efficiency of water use in carrot (Daucus carota L.) crop. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v.12, n.2, p.447–455. 2018. DOI: https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7560

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; KLAR, A. E.; FERREIRA, J. D. S. J.; CREMASCO, C. P.; LUDWIG, R. Response of Lettuce Crop to Magnetically Treated Irrigation Water and Different Irrigation Depths. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, p. 2300–2308. 2015.

PUTTI, F. F.; NOGUEIRA, B. B.; VACARO DE SOUZA, A.; FESTOZO VICENTE, E.; ZANETTI, W. A. L.; DE LUCCA SARTORI, D.; PIGATTO DE QUEIROZ BARCELOS, J. Productive and Physico-Chemical Parameters of Tomato Fruits Submitted to Fertigation Doses with Water Treated with Very Low-Frequency Electromagnetic Resonance Fields. **Plants**, v. 11, p, 1587. 2022.

PUTTI, F. F.; VICENTE, E. F.; CHAVES, P. P. N.; MANTOAN, L. P. B.; CREMASCO, C. P.; ARRUDA, B.; FORTI, J. C.; JUNIOR, J. F. S.; CAMPOS, M.; REIS, A. R. Effect of Magnetic Water Treatment on the Growth, Nutritional Status, and Yield of Lettuce Plants with Irrigation Rate. **Horticulturae**, v. 9, p. 504. 2023b. DOI: https://doi.org/10.3390/horticulturae9040504

RESH, H. M. **Hydroponic food production**: a defi native guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. CRC Press. 2013.

SANTOS, J. D.; LOPES DA SILVA, A. L.; DA LUZ COSTA, J.; SCHEIDT, G. N.; NOVAK, A. C.; SYDNEY, E. B.; SOCCOL, C. R. Developmentof a vinasse nutritive solution for hydroponics. **Journal of Environmental Management**, v. 114, p. 8-12, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.045

SARRAF, M.; KATARIA, S.; TAIMOURYA, H.; SANTOS, L. O.; MENEGATTI, R. D.; JAIN, M.; IHTISHAM, M.; LIU, S. Magnetic Field (MF) Applications in Plants: An Overview. **Plants**, v. 9, p. 1139. 2020.

SELIM, D. A. F. H.; NASSAR, R. M. A.; BOGHDADY, M. S.; BONFILL, M. Physiological and Anatomical Studies of Two Wheat Cultivars Irrigated with Magnetic Water under Drought Stress conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 135, p. 480–488. 2019.

SOUZA, Á. H. C.; REZENDE, R.; SERON, C. C.; LORENZONI, M. Z.; NASCIMETO, J. M. R.; LOZANO, C. Z; NALIN, D.; SOUZA, D. T.; GONÇALVES, A. C. A.; SAATH, R. Evaluation of the Growth and the Yield of Eggplant Crop Under Different Irrigation Depths and Magnetic Treatment of Water. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 35. 2019.

SUN, Y.; WANG, J.; WANG, Q. D.; WANG, C. Responses of the Growth Characteristics of Spinach to Different Moisture Contents in Soil under Irrigation with Magnetoelectric Water. **Agronomy**, v. 13, n. 3, p. 657. 2023.

SZCZES, A.; CHIBOWSKI, E.; RZE´ZNIK, E. Magnetic Field Effect on Water Surface Tension in Aspect of Glass and Mica Wettability. **Colloids Interfaces**, v. 4, p.37. 2020.

TURKER, M.; TEMIRCI, C.; BATTAL, P.; EREZ, M. **The effects of an artificial and static magnetic field on plant growth, chlorophyll and phytohormone levels in maize and sunflower plants**. In Phyton-Annales Rei Botanicae; Verlag Ferdinand Berger and Soehne GmbH: Vinea, Australia, 2007.

YU, J.; WU, J. The Sustainability of Agricultural Development in China: The Agriculture–Environment Nexus. **Sustainability**, v. 10, p. 1776. 2018.

YUSUF, K. O.; SAKARIYAH, S. A.; BAIYERI, M. R. Influence of Magnetized Water and Seed on Yield and Uptake of Heavy Metals of Tomato. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 11, n. 122–129. 2019.

ZHANG, J.; WANG, Q.; WEI, K.; GUO, Y.; MU, W.; SUN, Y. Magnetic Water Treatment: An Eco-Friendly Irrigation Alternative to Alleviate Salt Stress of Brackish Water in Seed

Germination and Early Seedling Growth of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Plants**, v. 11, p. 1397. 2022.

ZHAO, G.; MU, Y.; WANG, Y.; WANG, L. Response of Winter-Wheat Grain Yield and Water-Use Efficiency to Irrigation with Activated Water on Guanzhong Plain in China. **Irrigation Science**, v. 39, p. 263–276. 2021.

ZHOU, B.; LIANG, C.; CHEN, X.; YE, S.; PENG, Y.; YANG, L.; DUAN, M.; WANG, X. Magnetically-Treated Brackish Water Affects Soil Water-Salt Distribution and the Growth of Cotton with Film Mulch Drip Irrigation in Xinjiang, China. **Agricultural Water Management**, v. 263, p. 107487. 2022.

CAPÍTULO 5

Tratamento magnético e eletromagnético da solução nutritiva na produção de rúcula hidropônica[1]

5.1 RESUMO

A técnica de cultivos hidropônicos tem relevância na produção de hortaliças por seus bons resultados, uso eficiente dos recursos e controle do desenvolvimento das plantas. Neste sentido, o objetivo foi quantificar os efeitos na produção de rúcula hidropônica com tratamento magnético e eletromagnético na solução nutritiva. Os tratamentos foram a exposição da solução nutritiva a magnetismo, eletromagnetismo e produção convencional (controle) ao longo de quatro períodos de monitoramento 7, 14, 21 e 28 dias após transplante, com quatro repetições. Utilizou-se o delineamento inteiramente ao acaso. O uso do tratamento magnético proporciona ganhos no desenvolvimento, produtividade e reduz a presença de algas na raiz, já o eletromagnetismo mostrou aumento de concentração de magnésio, manganês e ferro no desenvolvimento da cultura de rúcula hidropônica. Este estudo apresenta uma alternativa tecnológica na produção de cultura de rúcula ajudando a mitigar os efeitos do estresse abiótico.

Palavras chave: *Eruca sativa*; sustentabilidade; nutrientes; desenvolvimento

Magnetic and electromagnetic treatment of nutrient solution in the production of hydroponic arugula

5.2 ABSTRACT

The technique of hydroponic crops has relevance in the production of vegetables for their good results, efficient use of resources and control of plant development. In this sense, the objective was to quantify the effects on the production of hydroponic arugula with magnetic and

[1] Capítulo redigido de acordo com as normas do periódico **Pesquisa Agropecuária Tropical** (PAT)

electromagnetic treatment on nutrient solution. The treatments were exposure of the nutrient solution to magnetism, electromagnetism and conventional production (control) over four monitoring periods 7, 14, 21 and 28 days after transplantation, with four repetitions. The design was used entirely at random. The use of magnetic treatment provides gains in development, productivity and reduces the presence of algae at the root, while electromagnetism has shown increased concentration of magnesium, manganese and iron in the development of hydroponic arugula culture. This study presents a technological alternative in the production of arugula culture helping to mitigate the effects of abiotic stress.

Keywords: *Eruca sativa*; sustainability; nutrients; development

5.3 INTRODUÇÃO

A demanda por alimentos de qualidade tem beneficiado culturas foliosas como a rúcula (*Eruca sativa* Miller) que pode ser produzida em diferentes ambientes e consumidas *in natura* ao redor do mundo, requerendo seu fornecimento constantemente (Silva *et al.* 2022). Estimasse que no Brasil sejam cultivados mais de 6 mil hectares ao ano, as hortaliças contribuem na geração de renda para os produtores (Jardina *et al.* 2017, Pinheiro *et al.* 2021). A rúcula por ser uma planta medicinal com propriedades digestivas, diuréticas, estimulantes, laxativas, anti-inflamatórias, fonte de vitamina C e ferro tem aumentado sua demanda (Porto *et al.* 2013).

Técnicas como a hidropônica ganham relevância ao alcançar boas produtividades, reduzir as áreas de produção, consumo de água em até 70% e as labores agronômicas, conseguindo rendimentos iguais ou superiores à produção convencional em solo, vantagens que tem expandido sua implementação inclusive em centros urbanos (Al-Tawaha *et al.* 2018, Jardina *et al.* 2017).

Este tipo de tecnologias estão alinhados com os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) propostas pelas Nações Unidas, agenda 2030, como o objetivo 2 relacionado com acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura

sustentável ao proporcionar mecanismos de produção agrícola que garantam alimentos de forma sustentável, também se relaciona com o objetivo 5 de alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas, ao permitir o acesso de mulheres ao trabalho agrícola de forma mais digna e saudável dentro de suas comunidades, a sua vez faz uso eficiente da agua que está relacionado com o objetivo 6 e assegura padrões de produção e de consumo sustentáveis (objetivo 12) ao reduzir a necessidade de área de produção, recursos e agrotóxicos (Nações Unidas 2024).

A técnica do filme nutriente (NFT) é a mais recomendada no cultivo de folhosas como alface e rúcula (Jardina *et al.* 2017). Na procura de obter o máximo potencial genético das culturas, vem se desenvolvendo outras técnicas que potencializem a produtividade com menor custos como a exposição a pulsos elétricos de baixa frequência, magnetismo e eletromagnetismo da água da irrigação (Dastorani *et al.* 2022, Tellez *et al.* 2023, Putti *et al.* 2023a).

Putti *et al.* (2022) e Khaskhoussy *et al.* (2023) relatam que expor a água de irrigação a campos magnéticos, podendo gerar alterações nos parâmetros físicos e químicos da água trazendo benefícios no desenvolvimento vegetal. Benefícios do magnetismo e eletromagnetismo são reportados na germinação de sementes, crescimento, desenvolvimento de espécies vegetais e redução dos efeitos adversos do estresse salino e hídrico, efeitos atribuídos possivelmente a alterações bioquímicas que permitem o melhor aproveitamento dos nutrientes e absorção da água pela raiz (Dastorani *et al.* 2022, Liu *et al.* 2019, Putti *et al.* 2023b).

Outros efeitos podem estar relacionados ao momento dipolar das moléculas de água e teor de oxigênio, formando pequenos grupos de moléculas de água, influenciando caraterísticas como solubilidade e taxa de reação (Esmaeilnezhad *et al.* 2017, Khoshravesh *et al.* 2011). Os efeitos do tratamento da água com campos magnéticos e eletromagnéticos podem persistir até 15 horas após a exposição (Mghaiouini *et al.* 2021). As moléculas de água polarizadas pelo

campo magnético tendem a se organizarem na mesma direção na medida que ocorre a redução dos íons e as ligações de hidrogênio intra-cluster e inter-cluster (Chibowski & Szczes 2018, Gaafar *et al.* 2015).

Mghaiouini *et al.* (2021) reporta que o tratamento magnético e/ou eletromagnético gera mudanças no magnético com flutuação do campo de Bmax = 0,023 mT e Bmin = 0,008 mT, tendo Bavg = 0,0155 mT na água magnética, enquanto na água não tratada os valores foram de Bmax = 0,0185 mT e Bmin = 0,005 mT, com Bavg = 0,01175 mT. Mudanças que podem gerar aumento do pH, condutividade elétrica (CE), difusão, permeabilidade, além de diminui a viscosidade e tensão superficial, aumentando assim a fluidez e permeabilidade se comparada com à água não tratada (Szczes *et al.* 2020, Zhao *et al.* 2021).

Chibowski & Szczes (2018) e Sarraf *et al.* (2020) realizaram estudos tentando compreender os potenciais benefícios causados pelo uso da água tratada com campos magnéticos. Lemos *et al.* (2021) menciona maior eficiente no uso da água na produção agrícola, benefícios na germinação de trigo (Massah *et al.* 2019) e no desenvolvimento do trigo (Selim *et al.* 2019), berinjela (Souza *et al.* 2019) e girassol (Dastorani *et al.* 2022).

Consumidores cada vez mais exigentes direcionam as pesquisas para tecnologias ecologicamente corretas alinhadas com os ODS como o magnetismo e eletromagnetismo procurando entender sua interação no sistema solo-água-planta, dado que é um campo pouco explorado (Yu & Wu 2018, Zhang *et al.* 2022). Exposição ao campo magnético na cultura de cevada diminuíram possíveis danos celulares, fluorescência da clorofila e conteúdo de Ca, Mg, P e K derivados do estresse salino e hídrico (Ercan *et al.* 2022). Estudos nas culturas de alface (Lemos *et al.* 2021, Putti *et al.* 2023b), cevada (Ercan *et al.* 2022), algodão (Zhang *et al.* 2022) e trigo (Massah *et al.* 2019) mostram ganhos no desenvolvimento, produtividade, absorção de nutrientes, até formação de biofilmes (Gosselin *et al.* 2018).

Aproveitando as vantagens que o sistema hidropônico em casa de vegetação proporciona no controle dos fatores que interferem no desenvolvimento das culturas, o presente trabalho tem como objetivo quantificar os efeitos do tratamento magnético e eletromagnético da solução nutritiva na produção de rúcula hidropônica.

5.4 MATERIAL E METODOS

Conduziu-se o ensaio com Rúcula var. Antonela na área experimental do Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Botucatu-SP, coordenadas 22º 51’ 03’’ Sul com 48º 25’ 37’’ Oeste. Clima do tipo Cfa (Clima subtropical úmido) segundo a classificação Köppen. Temperatura média superior a 22°C no mês mais quente, altitude média de 780 m e pluviometria anual média 945,15 mm (Cunha & Martins 2009).

Utilizou-se o delineamento inteiramente ao acaso 3x4, com quatro repetições. Os fatores avaliados foram a exposição da solução nutritiva a três tratamentos (magnetismo, eletromagnetismo e convencional) e quatro períodos de monitoramento 7, 14, 21 e 28 dias após transplante (DAT), as repetições consistem em quatro maços de rúcula. O sistema hidropônico em casa de vegetação com controle da temperatura e luminosidade mediante a abertura de dos lanternins quando ultrapassar os 25ºC e cobertura com Tela Aluminet 50%. Sistema de filme nutriente (NFT) com 5% de inclinação e capacidade para 24 maços por cada linha.

A solução nutritiva foi armazenada em reservatórios de 500 litros por tratamento, acionados por moto bomba periférica de 0,5 cv FERRARI individuais, controlada mediante timer eletromecânico programado para acionar a irrigação de 15 em 15 minutos, no horário das 6:00 às 18:00 horas e 5 minutos a cada hora das 18:00 às 6:00 horas, a vazão esteve entre 1,5 a 2,0 litros por minuto. A solução nutritiva usada foi baseada na recomendação de Furlani *et al.* (1999). A solução foi trocada semanalmente e foram feitos controles de pH e CE diariamente.

Os tratamentos na cultura de rúcula foram: A) Magnetismo (ATM); utilizou-se o equipamento Sylocymol (Timol Group, Uberlândia-MG, Brasil), com capacidade de magnetizar $5m^3\ h^{-1}$. O equipamento foi instalado em posição vertical no meio do reservatório o tempo todo, mantendo assim o campo magnético sobre a solução nutritiva ao longo do ensaio. B) Eletromagnetismo (ATE); empelou-se o equipamento AQUA4D que consiste num painel eletrônico pré-programado para ativar os sinais eletromagnéticos, o aparelho foi instalado na tubulação entre o reservatório e o sistema hidropônico, assim, a solução nutritiva recebe os sinais emitidos cada vez que é acionado o sistema. C) Convencional; preparo da solução nutritiva sem nenhum tratamento adicional.

As mudas de rúcula utilizadas foram produzidas em bandejas de germinação plásticas em maços de 5 a 10 sementes em ambiente protegido por um período de 20 dias. Quando as plantas apresentaram de 3 a 5 folhas verdadeiras e uniformidade dentro do mesmo maço, foram selecionados e transferidos ao sistema hidropônico. Após 6 dias do transplantio foram feitos labores de raleou dos maços, deixando 6 plantas por unidade experimental.

Aos 7, 14, 21 e 28 dias após transplantio (DAT) foram coletados quatro maços por cada tratamento, devidamente identificados. Foi mantido uma fileira de maços no início e no final de cada bancada mitigando o efeito bordadura, posteriormente procedeu-se à colheita dos maços na ordem de plantio, alternando o extremo da bancada a cada nova coleta.

Em cada coleta foram avaliadas o número de folhas manualmente, a massa fresca da parte aérea e raiz numa balança de precisão (0,01 g), a massa seca da parte aérea e raiz foi mesurada após o material ser secado em estufa de circulação de ar forçada a 65°C, até atingir peso constante e mesurada em balança de precisão (0,01 g).

Em cada colheita foi monitorada a clorofila entre 7 e 10 horas na folha com maior atividade fotossintética plenamente desenvolvida com auxílio do medidor eletrônico portátil de intensidade da cor verde das plantas (SPAD), modelo Digital SPAD 502 (Minolta Camera Co.

Ltda), foi coletado a média de quatro medições na folha de rúcula, duas no lado esquerdo e duas no lado direito do limbo foliar.

Aos 28 dias após transplantio (DAT) foram coletados 4 maços de plantas por cada tratamento previamente identificados e transportados em bandejas plásticas até o Laboratório do Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente da FCA – UNESP e divididos em parte aérea e raiz, a parte aérea foi lavada três vezes com água destilada individualmente e secada com auxílio de centrifuga manual de alimentos.

O material foi alocado em sacos individuais de papel e secado em estufa de circulação de ar forçada, a temperatura de 65°C, até atingir peso constante. A massa seca foi triturada com moinho do tipo Willey e processada no laboratório do departamento de solos e recursos ambientais de FCA – UNESP para determinar a concentração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, conforme a metodologia de Malavolta *et al.* (1997).

Foi monitorado a presencia ou ausência de algas nas raízes de todos os maços de rúcula em cada colheita e durante o ciclo foi realizado a seguimento das condições climáticas dentro da casa de vegetação. O pH e CE foi medida e corrigida diariamente, se tiver necessidade, com auxílio do kit de medidores portáteis HORIBA LAQUAtwin calibrados previamente.

Dados submetidos aos testes de normalidade de Anderson-Darling e homocedasticidade (homogeneidade das variâncias) pelo teste de Hartley e análise de variância, com níveis de significância de 5% de probabilidade de erro. Quando significativas, as médias foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de significância e estudos de regressão, foi utilizado software estatístico R (versão 4.1.2) e com programa SigmaPlot (versão 14.0) foram realizados os gráficos.

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi monitorado as variáveis climáticas com auxílio de medidor portátil de umidade e temperatura, além da instalação de termômetro no interior da casa de vegetação ao lado da área de produção da rúcula. O comportamento da temperatura e umidade relativa (Figura 1A) e condutividade elétrica (Figura 1B) mostram variações maiores no início do ciclo de cultivo os quais foram ajustados, já o comportamento do pH esteve na faixa ideal de 5,8 a 6,3 durante a condução do experimento. O sistema hidropônico teve um coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) > 95%.

A) B)

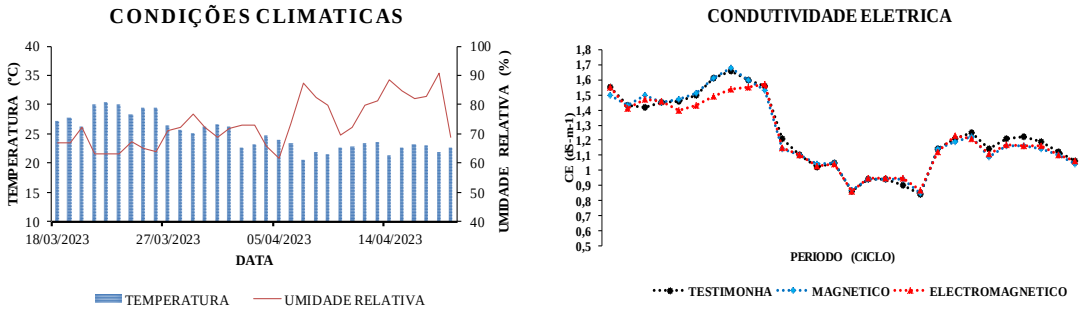


Figura 1. Monitoramento ao longo do experimento: A) Condições climáticas (umidade relativa e temperatura), B) Condutividade elétrica da solução nutritiva. Botucatu - SP, 2021.

As médias de temperatura e umidade relativa observadas foram de 24,85ºC e 73,3%, respectivamente, durante o desenvolvimento do ensaio. Segundo Filgueira (2013) a temperatura e luminosidade podem chegar a ser fatores limitantes dado que existem cultivares com diferente grau de adaptação a variações bruscas de temperatura muito baixas ou acima de 30ºC. Para reduzir estes efeitos em ambientes protegidos é recomendado a instalação de sombrite (Neves *et al.* (2016). O seguimento da CE permitiu tomar medidas corretivas e mantê-la abaixo de 2.5 mS cm^{-1} diminuindo o estresse nas plantas principalmente em dias de altas temperaturas (Jardina *et al.* 2017). A qualidade organoléptica da rúcula é afetada pelas condições ambientais como o sabor picante (Di Gioia *et al.* 2018, Matev *et al.* 2018).

As variáveis massa seca de raiz, massa fresca e seca da parte aérea das plantas de rúcula hidropônica apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos de ATM, ATE e convencional, já o número de folhas, massa fresca de raiz e SPAD no mostraram resposta diferente entre tratamentos (Figura 2).

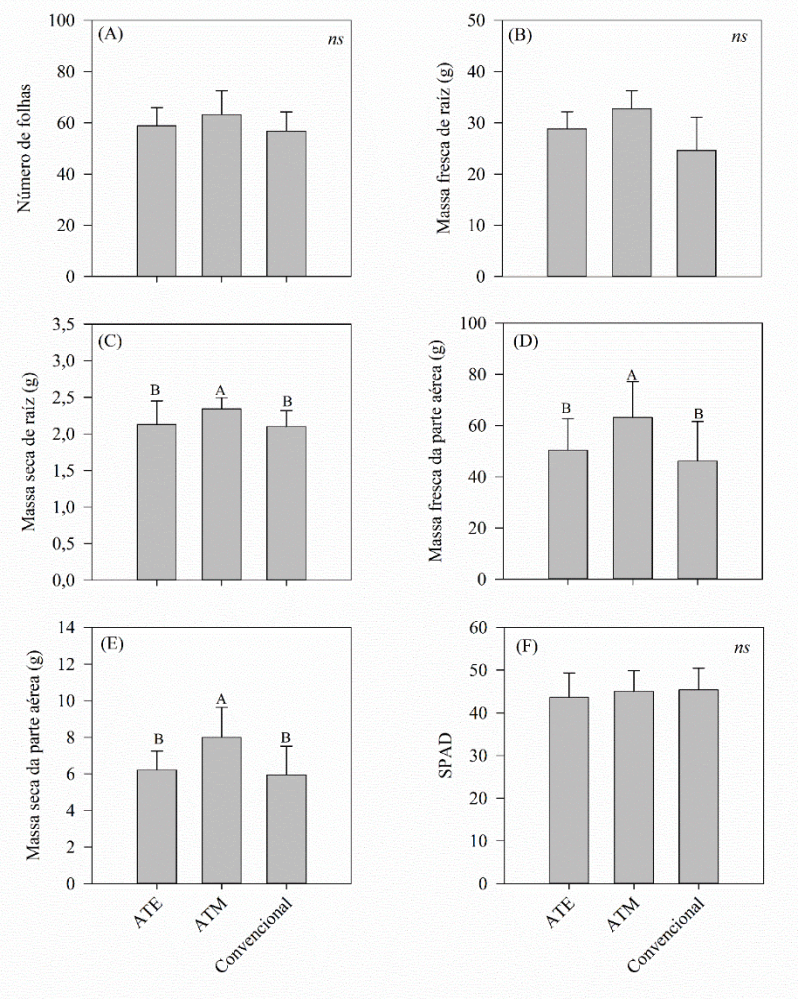


Figura 2. Resposta das variáveis biométricas na cultura de rúcula hidropônica. Distinta letra maiúscula apresenta diferenças estatísticas entre tratamentos e letras iguais ou ausência de diferença estatística (ns). ATM: Magnetismo, ATE: Eletromagnetismo, Convencional: Solução nutritiva.

A massa seca de raiz (Figura 2C) teve ganhos na ordem de 20,8% para ATM e 5% no uso de ATE em comparação ao tratamento convencional, já a massa fresca e seca da parte aérea (Figura 2D e E) no desenvolvimento da cultura de rúcula exibiram ganhos de massa para ATM na ordem de 36 e 25%, respectivamente, e de 6% para ATE na massa fresca da parte aérea em

relação ao convencional, além de igualdade entre ATE e convencional na variável massa seca da parte aérea, evidenciando que o uso de ATM apresentou resultados diferenciados no acumulo de massa.

Estes resultados revelam ganhos no desenvolvimento das plantas de rúcula no tratamento com ATM. Diferentes pesquisas reportam que tratamentos similares ao ATM e ATE podem influenciar o metabolismo hídrico e mineral das plantas (Liu *et al.* 2019), ajudando a reduzir os efeitos gerados pelo estresse em ambientes adversos, otimizando a absorção de água e nutrientes, elevando os níveis de clorofila e assim promovendo a atividade do nitrato redutase (Khaskhoussy *et al.* 2023, Zhou *et al.* 2022). Na rúcula a absorção adequada de ferro melhora a produção de hormônios de crescimento, regulando o desenvolvimento radicular e acumulo de massa fresca da parte aérea das plantas (Liang *et al.* 2018).

Abade (2021) observou que maior intensidade de luz, favorece a produção de foto assimilados e massa seca. Mudanças na tensão superficial da água, amento da solubilidade dos nutrientes favorecem o desenvolvimento de raízes e absorção de nutrientes podem ser atribuídos ao uso do ATM e ATE, além de reduzir os efeitos causados pelo estresse por temperatura e CE (Dastorani *et al.* 2022, Khaskhoussy *et al.* 2023, Liu *et al.* 2019, Zhao *et al.* 2021). Alterações nas variáveis biométricas foram reportadas em tomate e alface (Putti *et al.* 2023a, 2023b), trigo (Selim *et al.* 2019), berinjela (Souza *et al.* 2019) e girassol (Dastorani *et al.* 2022).

O número de folhas (Figura 3 A e B) independentemente dos tratamentos mostrou padrão de variação linear com coeficiente de determinação (R^2) de 99%, além de evidenciar diferenças no desenvolvimento em favor do ATM na ordem de 16% frente a ATE e 19% contra convencional. As unidades SPAD (Figura 3C) teve de variação quadrática com R^2 de 96, 95 e 86% para ATM, ATE e convencional, respectivamente, com valor máximo de 50,35 unidades SPAD aos 20 DAT na produção convencional, mas, finalizando o ciclo sem diferenças aos

outros tratamentos. O padrão tanto linear como quadráticos se ajustaram adequadamente aos dados.

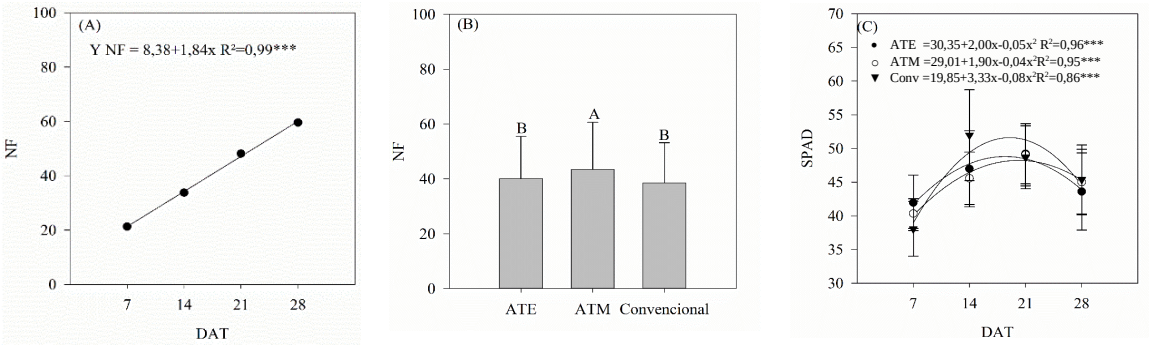


Figura 3. Desenvolvimento do número de folhas e SPAD ao longo do ciclo da cultura de rúcula hidropônica. ATM: Magnetismo, ATE: Eletromagnetismo, Convencional: Solução nutritiva, DAT: Dias após transplantio.

A rúcula por ser destinada ao consumo *in natura* precisa ser produzida dentro das condições requeridas para manter suas caraterísticas organoléticas dado que as plantas respondem ao ambiente onde são inseridas (Di Gioia *et al.* 2018, Matev *et al.* 2018). Labores agronômicos e densidade populacional de plantas interfere em variáveis como o número de folhas que competem diretamente por luz (Sousa Filho *et al.* 2021). Sistemas de produção como o NFT permitem distribuir melhor o espaço mantendo a qualidade das plantas por maço (Pinheiro *et al.* 2021). Fatores externos como o ATM mostrou ganhos nas variáveis biométricas, podendo estar relacionados com mudanças moleculares na estrutura da água causada pela exposição ao campo magnético na solução nutritiva (Szczes *et al.* 2020).

A massa seca de raiz (Figura 4A) evidenciou padrão de variação lineal em todos os tratamentos com R^2 de 99%, obtendo maior acumulo de massa no ATM aos 28 DAT com 2,28g e um crescimento médio de 7% a cada 7 dias. A massa seca e fresca da parte aérea (Figura 4B e C) se ajustaram a padrão de variação linear com R^2 ao redor de 98% para todos os tratamentos, com valores máximos em ATM aos 28 DAT de 7,61g e 63,12 g, respetivamente. A massa seca da parte aérea teve crescimento médio de 26% para ATE e 33 % para ATM a cada 7 dias. Os padrões quadrático e linear mostraram ajuste na explicação dos dados.

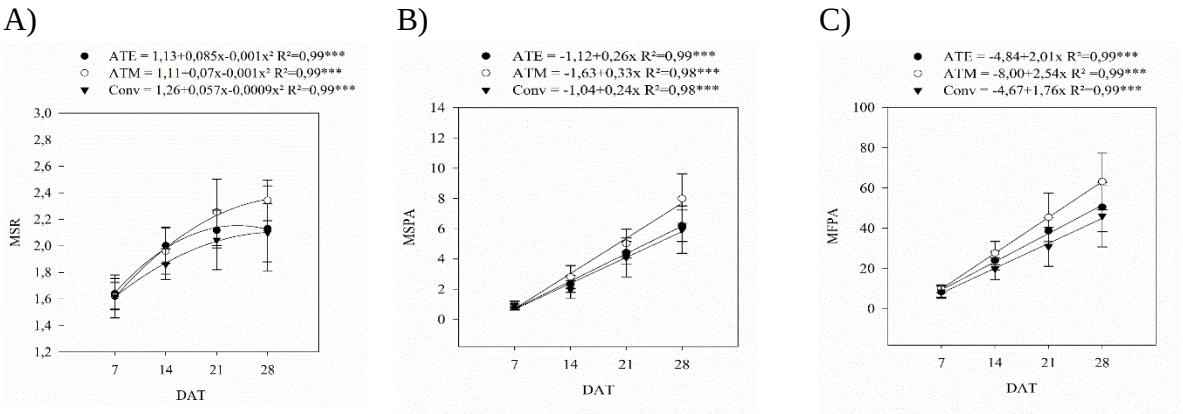


Figura 4. Desenvolvimento da massa seca de raiz e massa fresca e seca da parte aérea ao longo do clico da cultura de rúcula hidropônica. MSR: Massa seca da raiz, MSPA: Massa seca da parte aérea, MFPA: Massa fresca da parte aérea, ATM: Magnetismo, ATE: Eletromagnetismo, Convencional: Solução nutritiva, DAT: Dias após transplantio.

Segundo Pang & Deng (2008) a ser exposta a água a um campo magnético, promove a aproximação das ligações de hidrogênio das moléculas facilitando a formação de cadeias fechadas de ligações de hidrogênio, assim, promove a condução da 'corrente elétrica molecular' devido à ação da força de Lorentz do campo magnético. Produto dessas interações magnéticas, ocorre redução da tensão superficial e aumento da dissolução minerais da água, conseguindo melhorar a absorção dos nutrientes e acumular massa por parte dos vegetal (Szczes *et al.* 2020, Zhao *et al.* 2021).

Gioia (2019) relata que concentrações baixas de ferro estão diretamente correlacionadas com menor acúmulo de massa seca na rúcula e Carvalho (2021) relata que oscilações fortes nas condições ambientais gera respostas diferentes nas plantas de rúcula. Técnicas como a utilização de água tratada magneticamente ou eletromagneticamente podem diminuir os impactos ocasionados por condições de produção adversas no desenvolvimento vegetal. Putti *et al.* (2023a) e Dastorani *et al.* (2022) encontraram ganhos nas variáveis biométricas nas culturas de tomate e girassol irrigadas com água magnética em condições de estresse hídrico e salino associado possivelmente à melhora no transporte de assimilados, absorção de nutrientes e uso eficiente da água.

A concentração de macro nutrientes (Figura 5A) mostrou diferenças na concentração de magnésio em relação do ATE em comparação com ATM e convencional, por sua parte os micronutrientes (Figura 5B) evidenciaram também maior concentração para ATE no ferro e manganês na produção de rúcula hidropônica. Nos macronutrientes observa-se que o fosforo, potássio e no micronutriente zinco também se tem aumento da concentração a pesar de não terem diferenças significativas quando implementado o ATE, além é visualizado que a influência causada pelo ATM e similar à produção convencional da rúcula.

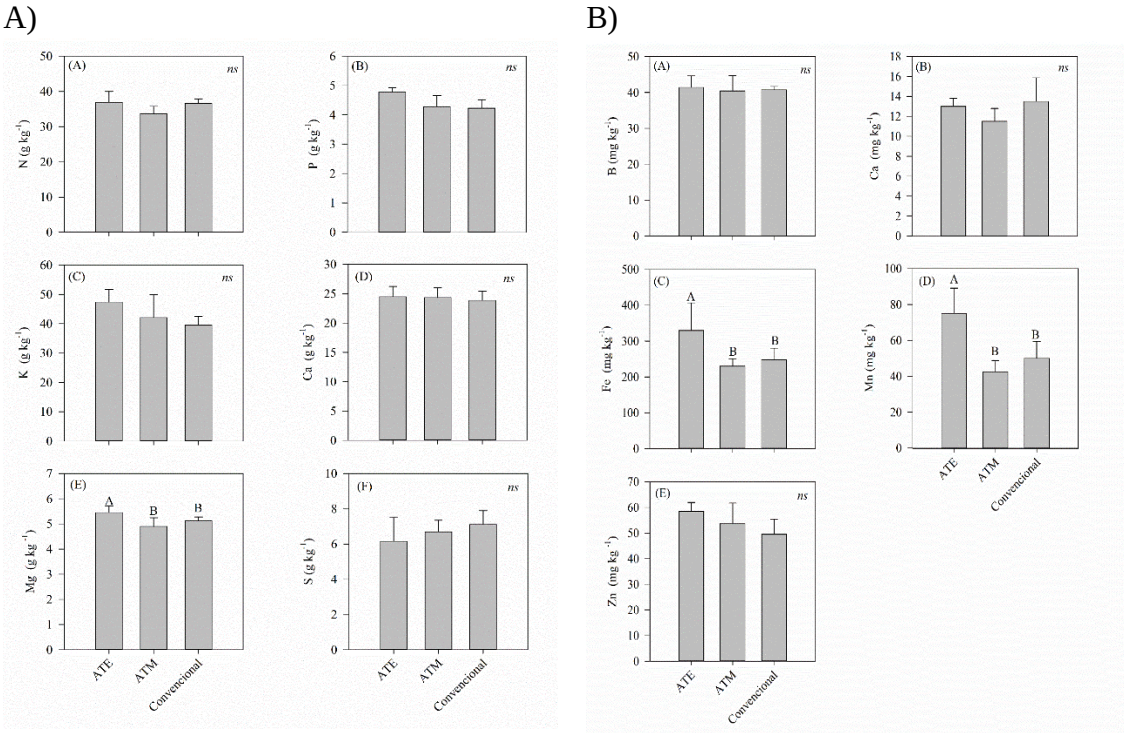


Figura 5. Concentração de macro e micronutrientes na cultura de rúcula hidropônica. ATM: Magnetismo, ATE: Eletromagnetismo, Convencional: Solução nutritiva.

A exposição ao tratamento ATE mostrou diferenças nos elementos nutrientes de magnésio, manganês e ferro que estão presentes em diversos processos fundamentais das plantas, como formação de clorofila que faz parte do processo da fotossíntese, ativador das enzimas de crescimento, sínteses de DNA e de hormônios, tornando-os vitais (Taiz *et al.* 2017). Este efeito pode indicar que as variáveis biométricas não estão diretamente correlacionadas com a concentração de nutrientes.

No entanto, é importante ressaltar que adequadas concentrações de nutrientes são fundamentais para manter as caraterísticas organolépticas desejadas nas folhosas. Alguns autores como Yuan *et al.* (2017) promovem o aumento das dosagens de ferro como estratégia para melhorar a qualidade nutricional da planta. Gioia (2019) relata menores produção de massas secas nas concentrações mais baixas de ferro. Os nutrientes mostram que as plantas de rúcula tiveram maior acumulo de Mg, Mn e Fe em ATE, mas, este fator não se transformou em ganhos nas variáveis biométricas de número de folhas, massa seca de raiz, massa fresca e seca da parte aérea onde o ATM apresentou diferenças.

No presente trabalho encontramos diferenças na concentração de no Fe e Mn e sem variação para N e P, resultados levemente diferentes aos reportados em alface por Putti *et al.* (2023b). Portanto, o aumento na concentração de nutrientes no ATE não influencio significativamente o desenvolvimento, que a sua vez, responde as condições em que as plantas estão inseridas (Di Gioia *et al.* 2018). Já o uso do ATM gerou aumento nas variáveis de interesse na rúcula, possivelmente pelo estimulo na produção de fitohormônios ligados ao desenvolvimento vegetal (Turker *et al.* 2007). Desde o ponto de vista enzimático as plantas tratadas magneticamente mostraram melhor resposta no crescimento, otimizando o uso de nutrientes (Maheshwari & Grewal 2009).

No presente estudo foi monitorado a presencia ou ausência de algas na raiz da rúcula (Figura 6) encontrado que 34 e 22% dos maços de plantas tiveram presença de algas em cada colheita nos tratamentos de ATE e ATM frente a 56% no tratamento convencional. Resultados que mostram redução na incidência de algas ao ser implementado tratamentos com ATE e ATM, podendo amortizar o trabalho na manutenção dos sistemas hidropônicos. Mercier *et al.* (2016) e Gosselin *et al.* (2018) reportaram mudanças no desenvolvimento de biofilmes associados a incidências de algas na água tratada magneticamente e eletromagneticamente.

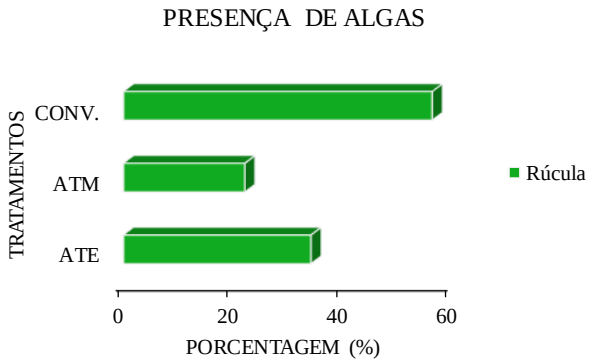


Figura 6. Presencia de algas nas raízes dos maços na rúcula. ATM: Magnetismo. ATE: Eletromagnetismo. CONV.: Convencional

Em síntese, têm-se relatado na literatura diversas vantagens da utilização da água tratada com campos magnéticos que geram alterações a nível bioquímico, gerando resultados positivos como os relatados no presente trabalho, referentes ao maior crescimento de rúcula hidropônica tratada com sistema magnético ATM.

5.6 CONCLUSÕES

1. A implementação do magnetismo proporciona na cultura da rúcula hidropônica ganhos no desenvolvimento, produtividade e reduz a presença de algas na raiz.

2. O uso de eletromagnetismo proporcionou aumento de concentração de magnésio, manganês e ferro o desenvolvimento da cultura de rúcula hidropônica.

3. Este estudo apresenta uma alternativa tecnológica para potencializar a produtividade na cultura de rúcula com maior tolerância aos efeitos de estresse.

REFERÊNCIAS

ABADE, M. T. R. Crescimento e desempenho agronômico de cultivares de rúcula sob pleno sol e sombreamento. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2021.

AL-TAWAHA, A. R.; AL-KARAKI, G.; AL-TAWAHA, A. R.; SIRAJUDDIN, S. N.; MAKHADMEH, I.; WAHAB, P. E. M.; YOUSSEF, R. A.; AL SULTAN, W.; MASSADEH, A. Effect of water flow rate on quantity and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in nutrient fi lm technique (NFT) under hydroponics conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science,* Sofia, v.24, n. 5, p. 793-800, 2018.

CARVALHO, A. C. Crescimento da rúcula hidropônica nas quatro estações do ano: efeito do espaçamento de plantio. (Dissertação mestrado) Programa De Pós-Graduação Em Fitotecnia. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. Porte Alegre, p. 30. 2021.

CHIBOWSKI, E.; SZCZES, A. Magnetic Water Treatment–A Review of the Latest Approaches. *Chemosphere,* Oxford, v. 203, p. 54–67. 2018.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. *Irriga*, Botucatu, v.14, n. 1, p. 1-11, 2009.

DASTORANI, M.; ALBAJI, M.; NASAB, S. B. Crop response and water productivity of sunflower (*Helianthus annuus* L.) drip-irrigated with magnetically treated and non-magnetically treated water with variable salinity. *Water S A,* Pretoria, v. 48, n. 1, p. 90-96. 2022. DOI: 10.17159/wsa/2022.v48.i1.3888.

DI GIOIA, F.; AVATO, P.; SERIO, F.; ARGENTIERI, M. P. Glucosinolate profile of *Eruca sativa, Diplotaxis tenuifolia* and *Diplotaxis erucoides* grown in soil and soilless systems. *Journal of Food Composition and Analysis*, Santa Cruz de Tenerife, v. 69, p. 197–204, 2018.

ERCAN, I.; TOMBULOGLU, H.; ALQAHTANI, N.; ALOTAIBI, B.; BAMHREZ, M.; ALSHUMRANI, R.; OZCELIK, S.; KAYED, T.S. Magnetic Field Effects on the Magnetic Properties, Germination, Chlorophyll Fluorescence, and Nutrient Content of Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, Paris, v. 170, p. 36–48. 2022.

ESMAEILNEZHAD, E.; CHOI, H. J.; SCHAFFIE, M.; GHOLIZADEH, M.; RANJBAR, M. Characteristics and Applications of Magnetized Water as a Green Technology. *Journal of Cleaner Production*, Amsterdam, v. 161, p. 908–921. 2017.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa-MG: UFV, 421 p. 2013.

GAAFAR, M. M.; HUSSAIN, M. S.; ALI, K.; KHRAIBT, C.; SHANDI, N. R.; MOHAMED, S. K. Effect of Magnetic Water on Physical Properties of Different Kind of Water, and Studying Its Ability to Dissolving Kidney Stone. *Journal of Natural Sciences Research*, S. l., v. 5, p. 85–94. 2015

GIOIA, F. D. Zinc and iron agronomic biofortification of brassicaceae microgreens. *Agronomy*, S. l., v. 9, n. 677, p. 1-20, 2019.

GOSSELIN, F.; MATHIEU, L.; BLOCK, J. C.; CARTERET, C.; MUHR, H.; JORAND, F. P. A. Assessment of an anti-scale low-frequency electromagnetic field device on drinking water biofilms. *Biofouling*, Chur, v. 34, n. 9, p. 1020–1031. 2018.

JARDINA, L. L.; CORDEIRO, C. A. M.; SILVA, M. C. C.; SANCHES, A. G.; ARAÚJO JÚNIOR, P. V. Desempenho produtivo e qualidade de cultivares de rúcula em sistema semi-hidropônico. *Revista de Agricultura Neotropical*, S. l., v. 4, n. 1, p. 78-82, 2017.

KHASKHOUSSY, K.; BOUHLEL, M.; DAHMOUNI, M.; HACHICHA, M. Performance of different magnetic and electromagnetic water treatment devices on soil and two tomato cultivars. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v. 322, p. 112437. 2023.

KHOSHRAVESH, M.; MOSTAFAZADEH-FARD, B.; MOUSAVI, S. F.; KIANI, A. R. Effects of Magnetized Water on the Distribution Pattern of Soil Water with Respect to Time in Trickle Irrigation. *Soil Use and Management*, Oxford, v. 27, p. 515–522. 2011.

LEMOS, L. T. O.; PONCIANO DE DEUS, F.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; THEBALDI, M. S.; ALMEIDA, M. R. C. Development and production of iceberg lettuce irrigated with magnetically treated water. *Water S A*, Pretoria, v. 47, n. 4, 2021.

LIANG, Y.; CHEN.; LIU, Q.; ZHANG, W.; DING, W. Exogenous application of iron enhances the formation of lateral roots and adventitious roots and induces the expression of iron-acquisition genes in *malus hupehensis*. *Journal of plant nutrition and soil science*, [S.I.], v. 181, p. 857-865, 2018.

LIU, X.; ZHU, H.; MENG, S.; BI, S.; ZHANG, Y.; WANG, H.; SONG, C.; MA, F. The Effects of Magnetic Treatment of Irrigation Water on Seedling Growth, Photosynthetic Capacity and Nutrient Contents of *Populus Euramericana* 'Neva' under NaCl Stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, S. l., v. 41, p.11. 2019.

UNITED NATIONS. *Transforming our world:* the 2030 agenda for sustainable development. 2024. Available at: https://sdgs.un.org/2030agenda. Access on: Abril. 05, 2024.

MAHESHWARI, B. L.; GREWAL, H. S. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 96, p. 1229–1236. 2009.

MASSAH, J.; DOUSTI, A.; KHAZAEI, J.; VAEZZADEH, M. Effects of Water Magnetic Treatment on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v. 42, p. 1283–1289. 2019.

MATEV, G.; DIMITROVA, P.; PETKOVA, N.; IVANOV, I.; MIHAYLOVA, D. Antioxidant activity and mineral content of rocket (*Eruca sativa*) plant from italian and bulgarian origins. Journal of Microbiology, *Biotechnology and Food Sciences*, Nitra, v. 8, n. 2, p. 756–759, 2018.

MERCIER, A.; BERTAUX, J.; LESOBRE, J.; GRAVOUIL, K.; VERDON, J.; IMBERT, C.; VALETTE, E.; HECHARD, Y. Characterization of biofilm formation in natural water subjected to low frequency electromagnetic fields. *Biofouling*, Chur, v. 32, p. 287–299. 2016.

MGHAIOUINI, R.; SALAH, M.; MONKADE, M.; EL BOUARI, A. A New Knowledge of Water Magnetism Phenomenon. *Arabian Journal for Science and Engineering*, Dhahran, v. 47, p. 1129–1136. 2021

NEVES, J. F.; NODARI, I. E.; SEABRA JÚNIOR, S.; DIAS, L. D. E.; DA SILVA, L. B.; DALLACORT, R. Produção de cultivares de alface americana sob diferentes ambientes em condições tropicais. *Revista Agro@mbiente*, Boa Vista, v. 10, n. 2, p. 130 - 136, 2016.

TELLEZ, H. O.; LEROY, K. A.; MACHADO, L. T. S.; CAPUANI, S.; JACON, C. P. R. P.; VILLAS BÔAS, R. L. Desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa*) em hidropônia tratada com pulsos elétricos de baixa frequência1. *Irriga*, Botucatu, v. 28, n. 1, p. 148–163, 2023.

PANG, X.; DENG, B. Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field. *Science China Physics, Mechanics & Astronomy*, Dordrecht, v. 51, p. 1621–1632. 2008.

PINHEIRO, W. D.; WIETH, A. R.; CARVALHO, A. C.; DA SILVA DUARTE, T.; DA SILVA, M. A. S. Densidade de plântulas e concentrações da solução nutritiva para rúcula hidropônica no período de primavera e verão. *Brazilian Journal of Development*, S. l., v. 7, n. 3, p. 23163-23176. 2021.

PORTO, R. DE A.; BONFIM-SILVA, E. M.; SOUZA, D. M. M.; CORDOVA, N. R.M.; POLIZEL, A. C.; SILVA, T. J.A. Adubação potássica em plantas de rúcula: produção e eficiência no uso da água. *Revista Agrombiente*, S. l., v. 7, n. 1, p. 28-35. 2013.

PUTTI, F. F.; De QUEIROZ BARCELOS, J. P.; GOES, B. C.; ALVES, R. F.; NETO, M. M.; DA SILVA, A. O.; FILHO, L. R. A. G.; ZANETTI, W. A. L.; DE SOUZA, A. V. Effects of Water Deficit on Growth and Productivity in Tomato Crops Irrigated with Water Treated with Very Low-Frequency Electromagnetic Resonance Fields. *Plants*, S. l., v. 12, p. 3721. 2023a.

PUTTI, F. F.; NOGUEIRA, B. B.; VACARO DE SOUZA, A.; FESTOZO VICENTE, E.; ZANETTI, W. A. L.; DE LUCCA SARTORI, D.; PIGATTO DE QUEIROZ BARCELOS, J.

Productive and Physico-Chemical Parameters of Tomato Fruits Submitted to Fertigation Doses with Water Treated with Very Low-Frequency Electromagnetic Resonance Fields. *Plants*, S. l., v. 11, p, 1587. 2022

PUTTI, F. F.; VICENTE, E. F.; CHAVES, P. P. N.; MANTOAN, L. P. B.; CREMASCO, C. P.; ARRUDA, B.; FORTI, J. C.; JUNIOR, J. F. S.; CAMPOS, M.; REIS, A. R. Effect of Magnetic Water Treatment on the Growth, Nutritional Status, and Yield of Lettuce Plants with Irrigation Rate. *Horticulturae*, S. l., v. 9, p. 504. 2023b.

SARRAF, M.; KATARIA, S.; TAIMOURYA, H.; SANTOS, L. O.; MENEGATTI, R. D.; JAIN, M.; IHTISHAM, M.; LIU, S. Magnetic Field (MF) Applications in Plants: An Overview. *Plants*, S. l., v. 9, p. 1139. 2020.

SELIM, D. A. F. H.; NASSAR, R. M. A.; BOGHDADY, M. S.; BONFILL, M. Physiological and Anatomical Studies of Two Wheat Cultivars Irrigated with Magnetic Water under Drought Stress conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, Paris, v. 135, p. 480–488. 2019.

SILVA, S. O., DA SILVA, U. J.; DA SILVA SOUZA, F.; DA SILVA, P. M.; FERREIRA, M. C. C.; DOS SANTOS, J. S.; OLIVEIRA, C. P. Cultivo de rúcula submetido a diferentes tipos de substratos. *Fórum Rondoniense de Pesquisa*, v.3, n. 8. 2022.

SOUSA FILHO, L. N. de; GANZO, B. S.; KREUTZFELD, L. Agronomic performance of arugula (*Eruca sativa* L.) in different soil cover managements. *Research, Society and Development*, S. l., v. 10, n. 2, p. e18610212176, 2021.

SOUZA, Á. H. C.; REZENDE, R.; SERON, C. C.; LORENZONI, M. Z.; NASCIMETO, J. M. R.; LOZANO, C. Z; NALIN, D.; SOUZA, D. T.; GONÇALVES, A. C. A.; SAATH, R. Evaluation of the Growth and the Yield of Eggplant Crop Under Different Irrigation Depths and Magnetic Treatment of Water. *Journal of Agricultural Science*, Wageningen, v. 11, p. 35. 2019.

SZCZES, A.; CHIBOWSKI, E.; RZE´ZNIK, E. Magnetic Field Effect on Water Surface Tension in Aspect of Glass and Mica Wettability. Colloids Interfaces, S. l., v. 4, p.37. 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. *Artmed Editora*, p. 858. 2017.

TURKER, M.; TEMIRCI, C.; BATTAL, P.; EREZ, M. The effects of an artificial and static magnetic field on plant growth, chlorophyll and phytohormone levels in maize and sunflower plants. In Phyton-Annales Rei Botanicae; Verlag Ferdinand Berger and Soehne GmbH: Vinea, Australia, 2007.

YU, J.; WU, J. The Sustainability of Agricultural Development in China: The Agriculture–Environment Nexus. *Sustainability*, S. l., v. 10, p. 1776. 2018.

YUAN, S.; LIU, L.; CHEN, M.; YANG, X.; ZHANG, Z.; WANG, H. Biofortification of Brassica napus L. and Brassica rapa L. with iron enhanced rock poder and its effects on selected antioxidante properties. *Journal of Agricultura and Food Chemistry*, Washington, v. 65, n. 37, p. 8160-8167, 2017.

ZHANG, J.; WANG, Q.; WEI, K.; GUO, Y.; MU, W.; SUN, Y. Magnetic Water Treatment: An Eco-Friendly Irrigation Alternative to Alleviate Salt Stress of Brackish Water in Seed Germination and Early Seedling Growth of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Plants*, S. l., v. 11, p. 1397. 2022.

ZHAO, G.; MU, Y.; WANG, Y.; WANG, L. Response of Winter-Wheat Grain Yield and Water-Use Efficiency to Irrigation with Activated Water on Guanzhong Plain in China. *Irrigation Science*, New York, v. 39, p. 263–276. 2021.

ZHOU, B.; LIANG, C.; CHEN, X.; YE, S.; PENG, Y.; YANG, L.; DUAN, M.; WANG, X. Magnetically-Treated Brackish Water Affects Soil Water-Salt Distribution and the Growth of Cotton with Film Mulch Drip Irrigation in Xinjiang, China. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 263, p. 107487. 2022.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo mostra diferentes alternativas tecnológicas na procura de aumentar a produtividades das culturas de alface e rúcula em sistema hidropônico pelo qual é recomendável em investigações futurar utilizar a mesma metodologia em culturas em solo e/ou substratos.

Os resultados mostram possível aumento da tolerância a situações de estresse por temperatura e hídricas pelo qual se devem realizar ensaios com essa finalidade.

Recomendo continuar com a pesquisa em culturas onde a parte aproveitável seja a raiz como batata, mandioca, cenoura entre outras.

O uso do magnetismo mostrou potencial trazendo benefícios no desenvolvimento das culturas podendo ser de fácil incorporação no tratamento da solução nutritiva e agua utilizada nos sistemas de irrigação.

REFERÊNCIAS

ABOBATTA, W. F. Overview of Role of Magnetizing Treated Water in Agricultural Sector Development. **Advances in Agricultural Technology & Plant Sciences**, Hyderabad, v. 2. n. 1, p. 1-7, 2019.

AL-OGAIDI, A.A.; WAYAYOK, A.; ROWSHON, M.; ABDULLAH, A.F. The influence of magnetized water on soil water dynamics under drip irrigation systems. **Agricultural Water Management,** Amsterdam, v. 180, p. 70–77. 2017.

AL-TAWAHA, A. R.; AL-KARAKI, G.; AL-TAWAHA, A. R.; SIRAJUDDIN, S. N.; MAKHADMEH, I.; WAHAB, P. E. M.; YOUSSEF, R. A.; AL SULTAN, W.; MASSADEH, A. Effect of water flow rate on quantity and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in nutrient fi lm technique (NFT) under hydroponics conditions**. Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia, v.24, n. 5, p. 793-800, 2018.

BARROS, J. D de S; PORDEUS, A. V. **Agricultura no Semiárido Brasileiro: Desafios e potencialidades na adoção de práticas agrícolas sustentáveis**. In: Congresso Internacional da Diversidade Do Semiárido, 1, 2016, Campina Grande, PB, Anais… 2016.

BEZERRA NETO, E. **Hidroponia**. In: Cadernos do Semiárido: Riquezas e oportunidades. Recife: EDUFRPE, 2017.

BEZERRA NETO; BARRETO. **As técnicas da hidropinia**. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, Recife, vols. 8 e 9, p.107-137, 2012.

BORÉM, A., MIRANDA, G. V., & FRITSCHE-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. Oficina de Textos. 8 edição. 2021.

CHIBOWSKI, E.; SZCZES, A. Magnetic water treatment a review of the latest approaches. **Chemosphere**, Oxford, v. 203, p. 54-67, 2018.

COMETTI, N. N; GALON, K; BREMENKAMP, D. M. Behavior of four cultivars of lettuce in hydroponic cultivation in tropical environment. **Revista eixo**, v. 8, n. 1, p 1-9, 2019

EDAROYATI, M. P.; AISHAH, H. S.; AL-TAWAHA, A. M. Requirements for inserting intercropping in aquaponics system for sustainability in agricultural production system. **Agronomy Research**, Madison, v. 15, n.5, p.2048-2067. 2017.

FELIPPE, L. C. V.; PEREIRA, C. O. Teor de nitrato em alfaces do tipo crespa (*Lactuca sativa*) provenientes de diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Processos Químicos.** v. 1, n. 1, p 46-58, 2020

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

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, N**. Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1999.

GAAFAR, M. M.; HUSSAIN, M. S.; ALI, K.; KHRAIBT, C.; SHANDI, N. R.; MOHAMED, S. K. Effect of Magnetic Water on Physical Properties of Different Kind of Water, and Studying Its Ability to Dissolving Kidney Stone. **Journal of Natural Sciences Research**, S. l., v. 5, p. 85–94. 2015.

GOSSELIN, F.; MATHIEU, L.; BLOCK, J. C.; CARTERET, C.; MUHR, H.; JORAND, F. Assessment of an anti-scale low-frequency electromagnetic field device on drinking water biofilms. **Biofouling**, Chur, v. 34, n. 9, p. 1020-1031, 2018.

GRAMASCO, G. A. P. **Fertirrigação: técnicas e práticas de manejo**. (Monografia Engenharia Agronômica). Centro de ciências agrárias. Universidade Federal de São Carlos, p. 36. 2021.

JARDINA, L. L.; CORDEIRO, C. A. M.; SILVA, M. C. C.; SANCHES, A. G.; ARAÚJO JÚNIOR, P. V. Desempenho produtivo e qualidade de cultivares de rúcula em sistema semi-hidropônico. **Revista de Agricultura Neotropical**, S. l., v. 4, n. 1, p. 78-82, 2017.

KAISER, C.; ERNST, M. **Hydroponic Lettuce**. University of Kentucky College of agriculture, Food and Environment, Cooperative extension service. 2012.

KHASKHOUSSY, K.; BOUHLEL, M.; DAHMOUNI, M.; HACHICHA, M. Performance of different magnetic and electromagnetic water treatment devices on soil and two tomato cultivars. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 322, p. 112437. 2023.

KIM, M. J.; MOON, Y.; TOU, J. C.; MOU, B.; WATERLAND, N. L. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Journal of Food Composition and Analysis**. San Diego, v. 49, p. 19 – 34. 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.004

LIU, X.; ZHU, H.; WANG, L.; BI, S.; ZHANG, Z.; MENG, S.; ZHANG, Y.; WANG, H.; SONG, C.; MA, F. The effects of magnetic treatment on nitrogen absorption and distribution in seedlings of *Populus* × *euramericana* ‘Neva’ under NaCl stress. **Scientific Reports**, Crinan, v. 9, n. 10025, p. 1-14, 2019. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-45719-6

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

MASSAH, J.; DOUSTI, A.; KHAZAEI, J.; VAEZZADEH, M. Effects of Water Magnetic Treatment on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 42, p. 1283–1289. 2019.

MELO, M. F. De; LANA, M. M.; SANTOS, F. F. DOS; MATOS, M. J. L. F.; TAVAREs, S. A. **Hortaliça:** como comprar, conservar e consumir rúcula. Embrapa Hortaliças (INFOTECA-E). 2026. https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/172696/1/RUCULA-CCCC-2017

MERCIER, A.; BERTAUX, J.; LESOBRE, J.; GRAVOUIL, K.; VERDON, J.; IMBERT, C.; VALETTE, E.; HECHARD, Y. Characterization of biofilm formation in natural

water subjected to low frequency electromagnetic fields. **Biofouling**, Chur, v. 32, n. 3, p. 287-299, 2016. DOI: https://doi.org/10.1080/08927014.2015.1137896.

MITOVA, I.; NENOVA, L.; STANCHEVA, I.; GENEVA, M.; HRISTOZKOVA, M.; MINCHEVA, J. Lettuce response to nitrogen fertilizers and root mycorrhization. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia, v. 23, n. 2, p. 260-264, 2017.

PANG, X.; DENG, B. Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field. **Science China Physics, Mechanics & Astronomy,** Dordrecht, v. 51, p. 1621–1632. 2008.

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.

PINHEIRO, W. D.; WIETH, A. R.; CARVALHO, A. C.; DA SILVA DUARTE, T.; DA SILVA, M. A. S. Densidade de plântulas e concentrações da solução nutritiva para rúcula hidropônica no período de primavera e verão. **Brazilian Journal of Development**, S. l., v. 7, n. 3, p. 23163-23176. 2021.

PIYADASA, C.; RIDGWAY, H. F.; YEAGER, T. R.; STEWART, M. B.; PELEKANI, C.; GRAY, S. R.; ORBELL, J. D. The application of electromagnetic fields to the control of the scaling and biofouling of reverse osmosis membranes – a review. **Desalination**, Amsterdam, v. 418, p. 19-34, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.05.017.

PORTO, R. DE A.; BONFIM-SILVA, E. M.; SOUZA, D. M. M.; CORDOVA, N. R.M.; POLIZEL, A. C.; SILVA, T. J.A. Adubação potássica em plantas de rúcula: produção e eficiência no uso da água. **Revista Agrombiente**, S. l., v. 7, n. 1, p. 28-35. 2013.

PUTTI, F. F.; ARRUDA, B.; VICENTE, E. F.; CHAVES, P. P. N.; NOGUEIRA, B. B.; ZANETTI, W. A. L.; ONO, E. O.; REIS, A. R. Magnetic technology to reduce the effects of saline stress on tomato plants. **Environmental Technology & Innovation**, v. 33, p. 103544. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103544.

PUTTI, F. F.; DE QUEIROZ BARCELOS, J. P.; GOES, B. C.; ALVES, R. F.; NETO, M. M.; DA SILVA, A. O.; FILHO, L. R. A. G.; ZANETTI, W. A. L.; DE SOUZA, A. V. Effects of water deficit on growth and productivity in tomato crops irrigated with water treated with very low-frequency electromagnetic resonance fields. **Plants,** S. l., v.12, p. 3721. 2023a, DOI: https:// doi.org/10.3390/plants12213721

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; SILVA JUNIOR, J. F. Magnetically treated water for irrigation: effects on production and efficiency of water use in carrot (*Daucus carota* L.) crop. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**. Tunja, v. 12, n. 2, p. 447-455. 2018. DOI: 10.17584/rcch.2018v12i2.7560

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; KLAR, A. E; SILVA JUNIOR, J. F; CREMASCO, C. P; LUDWIG, E. R. Response of lettuce crop to magnetically treated irrigation water and different irrigation depths. **African Journal of Agricultural Research,** S. l., v.10, n. 22, p. 2300- 2308. 2015. DOI: 10.5897/AJAR2015.9616

PUTTI, F. F.; VICENTE, E. F.; CHAVES, P. P. N.; MANTOAN, L. P. B.; CREMASCO, C. P.; ARRUDA, B.; FORTI, J. C.; JUNIOR, J. F. S.; CAMPOS, M.; REIS, A. R. Effect of magnetic water treatment on the growth, nutritional status, and yield of lettuce plants with irrigation rate. **Horticulturae**, S. l., v. 9, p. 504. 2023b, DOI: https://doi.org/10.3390/horticulturae9040504

RESH, H. M. Hydroponic food production: a defi native guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. **CRC Press**. 2013.

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

SANTOS, J. D.; LOPES DA SILVA, A. L.; DA LUZ COSTA, J.; SCHEIDT, G. N.; NOVAK, A. C.; SYDNEY, E. B.; SOCCOL, C. R. Developmentof a vinasse nutritive solution for hydroponics. **Journal of Environmental Management,** London, v. 114, p. 8-12, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.045

SARRAF, M.; KATARIA, S.; TAIMOURYA, H.; SANTOS, L. O.; MENEGATTI, R. D.; JAIN, M.; IHTISHAM, M.; LIU, S. Magnetic Field (MF) Applications in Plants: An Overview. **Plants**, S. l., v. 9, p. 1139. 2020.

SELIM, D. A. F. H.; NASSAR, R. M. A.; BOGHDADY, M. S.; BONFILL, M. Physiological and Anatomical Studies of Two Wheat Cultivars Irrigated with Magnetic Water under Drought Stress conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 135, p. 480–488. 2019.

SILVA, S. O., DA SILVA, U. J.; DA SILVA SOUZA, F.; DA SILVA, P. M.; FERREIRA, M. C. C.; DOS SANTOS, J. S.; OLIVEIRA, C. P. Cultivo de rúcula submetido a diferentes tipos de substratos. **Fórum Rondoniense de Pesquisa**, v.3, n. 8. 2022.

SOUSA, A. P. De.; NASCIMENTO. I. R.; CARLINE, J. V. G.; OLIVEIRA, L. B.; TELES, S. P.; PEREIRA, F. F.; MATOS NETO, J. F.; KAONRDÖRFER, D. B. Doses e fontes de zinco aplicado via foliar na qualidade de mudas de alface. **Revista Agrária Acadêmica.** S. l., v. 5, n. 2, p. 111 – 126. 2022. DOI: 10.32406/v5n2/2022/111-126/agrariacad

SOUZA, Á. H. C.; REZENDE, R.; SERON, C. C.; LORENZONI, M. Z.; NASCIMETO, J. M. R.; LOZANO, C. Z; NALIN, D.; SOUZA, D. T.; GONÇALVES, A. C. A.; SAATH, R. Evaluation of the Growth and the Yield of Eggplant Crop Under Different Irrigation Depths and Magnetic Treatment of Water. **Journal of Agricultural Science,** Wageningen, v. 11, p. 35. 2019.

SZCZES, A.; CHIBOWSKI, E.; RZE´ZNIK, E. Magnetic Field Effect on Water Surface Tension in Aspect of Glass and Mica Wettability. **Colloids Interfaces**, S. l., v. 4, p.37. 2020.

TZERAKIS, C; SAVVAS, D; SIGRIMIS, N; MAVROGLANNOPOULUS, G. Uptake of Mn and Zn by cucumber grown in closed hydroponic systems as influenced by the Mn and Zn concentrations in the supplied nutrient solution. **Hortscience,** S. l., v. 48, n. 3, p. 373–379, 2013.

XIAO, Y.; SEO, Y.; LIN, Y.; LI, L.; MUHAMMAD, T.; MA, C.; LI, Y.; Electromagnetic fields for biofouling mitigation in reclaimed water distribution systems. **Water Research**, Oxford, v. 173, p. 1155 - 1562, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115562.

YU, J.; WU, J. The Sustainability of Agricultural Development in China: The Agriculture–Environment Nexus. **Sustainability**, S. l., v. 10, p. 1776. 2018.

YUSUF, K. O.; SAKARIYAH, S. A.; BAIYERI, M. R. Influence of Magnetized Water and Seed on Yield and Uptake of Heavy Metals of Tomato. **Notulae Scientia Biologicae,** S. l., v. 11, n. 122–129. 2019.

ZHANG, J.; WANG, Q.; WEI, K.; GUO, Y.; MU, W.; SUN, Y. Magnetic Water Treatment: An Eco-Friendly Irrigation Alternative to Alleviate Salt Stress of Brackish Water in Seed Germination and Early Seedling Growth of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Plants**, S. l., v. 11, p. 1397. 2022.

ZHAO, G.; MU, Y.; WANG, Y.; WANG, L. Response of Winter-Wheat Grain Yield and Water-Use Efficiency to Irrigation with Activated Water on Guanzhong Plain in China. **Irrigation Science,** New York, v. 39, p. 263–276. 2021.

ZHOU, B.; LIANG, C.; CHEN, X.; YE, S.; PENG, Y.; YANG, L.; DUAN, M.; WANG, X. Magnetically-Treated Brackish Water Affects Soil Water-Salt Distribution and the Growth of Cotton with Film Mulch Drip Irrigation in Xinjiang, China. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 263, p. 107487. 2022.