

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

HAYVER OLAYA TELLEZ¹; SILVIA CAPUANI²; CAMILA PAULA ROSSETTO PESCATORI JACON³; FERNANDO FERRARI PUTTI⁴ E ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS⁵

Parte da tese de doutorado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem, Universidade Estadual Paulista, Campus Botucatu, Botucatu SP, Brasil.

¹ Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, nº 3780 –CEP 18610-034. Altos do Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, E-mail: hayver.olaya@unesp.br.

² Pesquisadora Autônoma. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, nº 3780 –CEP 18610-034. Altos do Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, E-mail: silviacapuani@yahoo.com.br

³ Pesquisadora Autônoma. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, nº 3780 –CEP 18610-034. Altos do Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, E-mail: capescatorij@gmail.com

⁴ Departamento de Engenharia de Biosistema. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP (Campus Tupã). Rua Domingos da Costa Lopes, 780 - Jd. Itaipu - CEP 17602-496. Tupã, SP, Brasil. E-mail: fernando.putti@unesp.br

⁵ Departamento de Solos e Recursos Ambientais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Avenida Universitária, nº 3780. Altos do Paraíso, CEP 18610-034, Botucatu, SP, Brasil. E-mail: roberto.lyra@unesp.br

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. Neste 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 randomizado, em esquema fatorial, com parcelas subdivididas 3 x 2 x 3, 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 ao das plantas não tratadas, mostrando baixa influência da tecnologia sobre o desenvolvimento.

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

TELLEZ, H. O.; CAPUANI, S.; JACON, C. P. R. P.; PUTTI, F. F.; VILLAS BÔAS, R. L.

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

2 ABSTRACT

Leafy vegetables are commercially important because of the implementation of technologies that increase their productivity. Products that can be consumed fresh to gain commercial importance. Production techniques such as hydroponic methods generate good results but can still be refined. Reports indicate that the treatment of irrigation water with low-frequency electrical pulses can increase the productivity of crops, increasing the demand for the development of detailed studies. In this sense, the objective of the present work was to analyze the development of biometric and postharvest variables of hydroponic lettuce with nutrient solution treated with low-frequency electrical pulses. An entirely randomized design with a factorial scheme was used, with $3 \times 2 \times 3$ subsubdivid installments and 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. The development and postharvest performance of lettuce subjected to low-frequency electrical pulses, regardless of the nutrient mixture, were similar to those of untreated plants, indicating a low influence on development technology.

Keywords: Chlorophyll, mass loss, technology, innovation.

3 INTRODUÇÃO

A tecnologia tem incrementado a produtividade agrícola, garantindo seu fornecimento nas grandes metrópoles em países populosos como o Brasil (MARTINEZ; MARTINS; FEIDEN, 2016; INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 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 sua 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 sangue, dado que contém baixo teor de gordura, calorias e sódio, sendo uma importante fonte de fibras, ferro, folato, vitamina C e vários outros compostos bioativos (KIM *et al.*, 2016).

A produção hidropônica tem permitido o alcance de altas produtividades 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 clima podem gerar diferenças na qualidade das 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 a técnica de filme nutriente (NFT), a técnica de fluxo profundo (DFT), a técnica de flutuação dinâmica de raízes (DRFT) e a cultura em substrato; no entanto, a técnica mais recomendada para o cultivo de folhosas é a NFT (KAISER; ERNST, 2012; KOOHAKAN; JEANAKSORN; NUNTAGIJ, 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 reúso 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 microbiano e redução na formação de algas (MERCIER *et al.*, 2016), além de melhoras na produtividade ao utilizar-se o tratamento do sistema eletrônico anti-incrustação, 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 se fixar às superfícies, podendo ser aproveitados pelas plantas (PIYADASA *et al.*, 2017, 2018; CHIBOWSKI; SZCZES, 2018; XIAO *et al.*, 2020).

O sistema hidropônico em casa de vegetação apresenta ótimas características para a avaliação dos impactos da aplicação de pulsos elétricos de baixa frequência no desenvolvimento das culturas, uma vez que permite a obtenção de um controle mais preciso sobre as variáveis que interferem no desenvolvimento das plantas.

Em estudos envolvendo hortaliças folhosas para consumo in natura, o monitoramento de variáveis biométricas e da clorofila ao longo do seu ciclo vegetativo precisa ser detalhado igual ao monitoramento conduzido durante sua "vida de prateleira". 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 teve o objetivo de avaliar, por meio do monitoramento de biométricas e de pós-colheita, o desenvolvimento da alface

cultivada em sistema hidropônico alimentado com água tratada com pulsos elétricos de baixa frequência.

4 MATERIAL E MÉTODOS

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 Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp), município de Botucatu-SP, localizado nas coordenadas 22° 51' 03" de latitude Sul e 48° 25' 37" de longitude Oeste. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cfa - clima temperado quente (mesotérmico) úmido, com a temperatura média do mês mais quente superior a 25°C e altitude média de 780 m. A precipitação pluviométrica anual média é de 945,15 mm (CUNHA; MARTINS, 2009).

4.2 Delineamento experimental

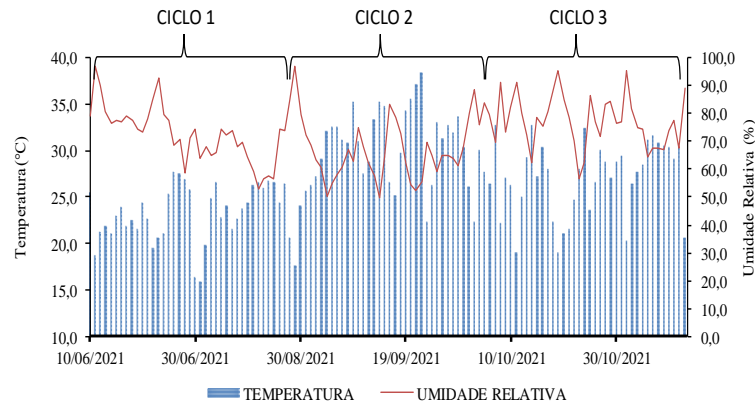
Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial com parcelas subdivididas 3 x 2 x 3, com quatro repetições. Os fatores avaliados foram: frequência do uso do sistema eletrônico anti-incrustação (constante, intermitente e sem uso), dois concentrações de solução 100% e 80% da recomendação por Furlani *et al.* (1999) e três ciclos de produção.

4.3 Sistema hidropônico

A casa de vegetação utilizada possui 24 metros de comprimento por 7 metros de largura, pé direito de 2,5 metros, com altura de 3,8 metros na parte mais alta. Cobertura plástica de 150 micras com duas janelas superiores. A temperatura e a umidade relativa (UR%) ao interior da casa de

vegetação foram monitoradas constantemente ao longo da pesquisa. Seus valores são apresentados na Figura 1.

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

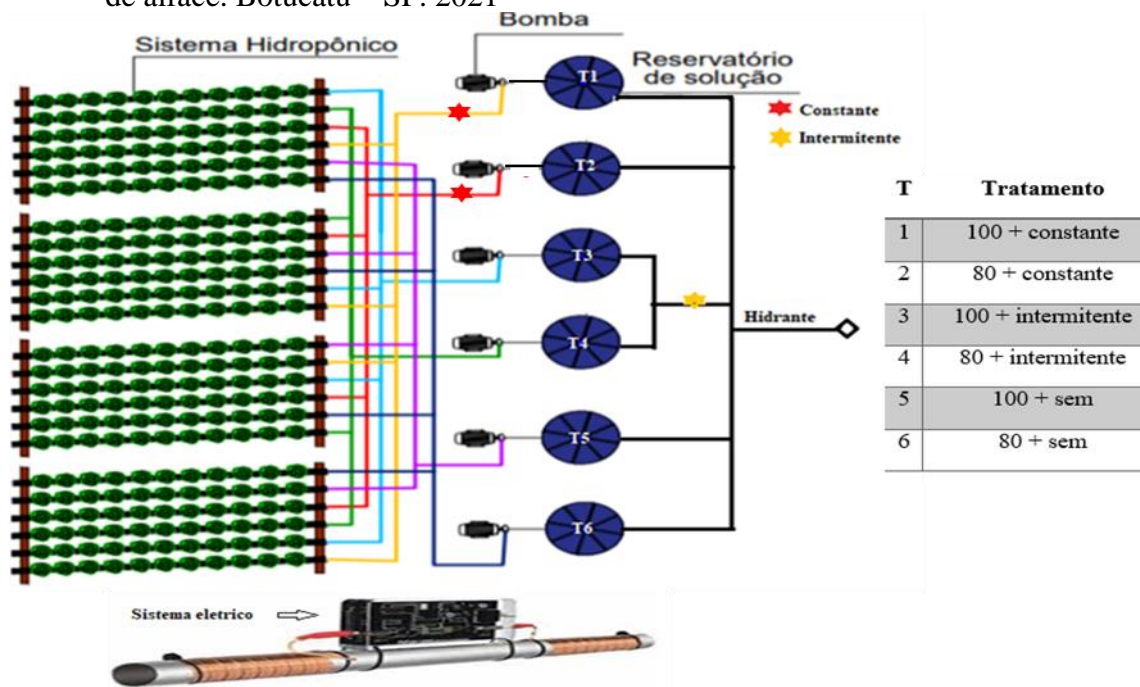


Fonte: Autores (2023)

O sistema hidropônico NFT possui quatro bancadas (repetição) com 5% de inclinação. Cada bancada tem 1,2 metros de largura, espaçadas em 0,7 metros, seis perfis hidropônicos (tratamentos) de 6 metros de

comprimento, espaçados em 0,2 metros. Cada perfil possui capacidade para 24 plantas. O esquema do sistema utilizado é apresentado na Figura 2.

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



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 teve seu retorno individual da solução nutritiva até seu respectivo reservatório. O sistema de bombeamento da solução nutritiva foi realizado com auxílio de motobomba periférica de 0,5 cv Ferrari em cada reservatório, controladas por timer eletromecânico programado para ligar o sistema a cada 15 minutos, das 6:00 às 18:00 horas, e por 15 minutos a cada hora, das 18:00 às 6:00 horas, com vazão variando 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 a partir de agora 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-incrustação 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 período do 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 ambiente protegido e quando atingirem de 5 a 7 folhas verdadeiras e tivessem foram selecionadas e transplantadas nos perfis hidropônicos.

4.4 Avaliações

Aos 0, 8, 16 e 24 dias após o transplante (DAT), foram coletadas 4 (quatro) plantas por cada parcela, sendo elas

devidamente identificadas. A fim de evitar o efeito bordadura, eliminou-se como opção de coleta, as plantas localizadas no início e no final de cada bancada. Dessa forma, procedeu-se com a colheita das quatro plantas seguintes em ordem de plantio, alternando o extremo da bancada a cada nova coleta.

O número de folhas foi determinado manualmente, a massa fresca da parte aérea foi determinada com auxílio de 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, com aferição em balança de precisão (0,01 g).

A clorofila foi medida entre as 7 e as 10 horas da manhã na folha com maior atividade fotossintética, empregando-se duas tecnologias diferentes. A primeira foi um medidor eletrônico portátil de intensidade da cor verde das plantas (SPAD), modelo Digital SPAD 502 (Minolta Camera Co. Ltda). Foram realizadas 4 (quatro) medições com o aparelho em cada folha, duas no lado esquerdo e duas no lado direito do limbo foliar, posteriormente, calculou-se a média dessas medições. A segunda foi um medidor portátil de clorofila CM1000 Chlorophyll meter (Spectrum Technologies, Inc.). Também foram feitas quatro medições, dessa vez sobre a coroa de cada planta, localizando-se os lasers sobre as folhas a 1 (um) metro de distância entre a planta e o aparelho, evitando-se regiões com nervuras secundárias. Em seguida, procedeu-se com o cálculo da média.

As variáveis sólidos solúveis, potencial hidrogeniônico e acidez titulável foram determinadas 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 ° Brix, com subdivisão em escala decimal (ASSOCIATION OF

OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY, 1992).

O potencial hidrogeniônico (pH) foi calculado mediante o uso de pHmetro digital modelo DMPH-2 Digimed com membrana de vidro, aferido com soluções tampões de pH 7 e 4, conforme a Association of Official Analytical Chemistry (1992).

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

A perda de massa na pós-colheita foi monitorada em 3 (três) plantas coletadas e colocadas em sacos plásticos, devidamente identificados, após os 24 DAT. Durante 7 (sete) dias consecutivos, elas foram pesadas sempre às 10 horas da manhã em uma balança de precisão (0,01 g).

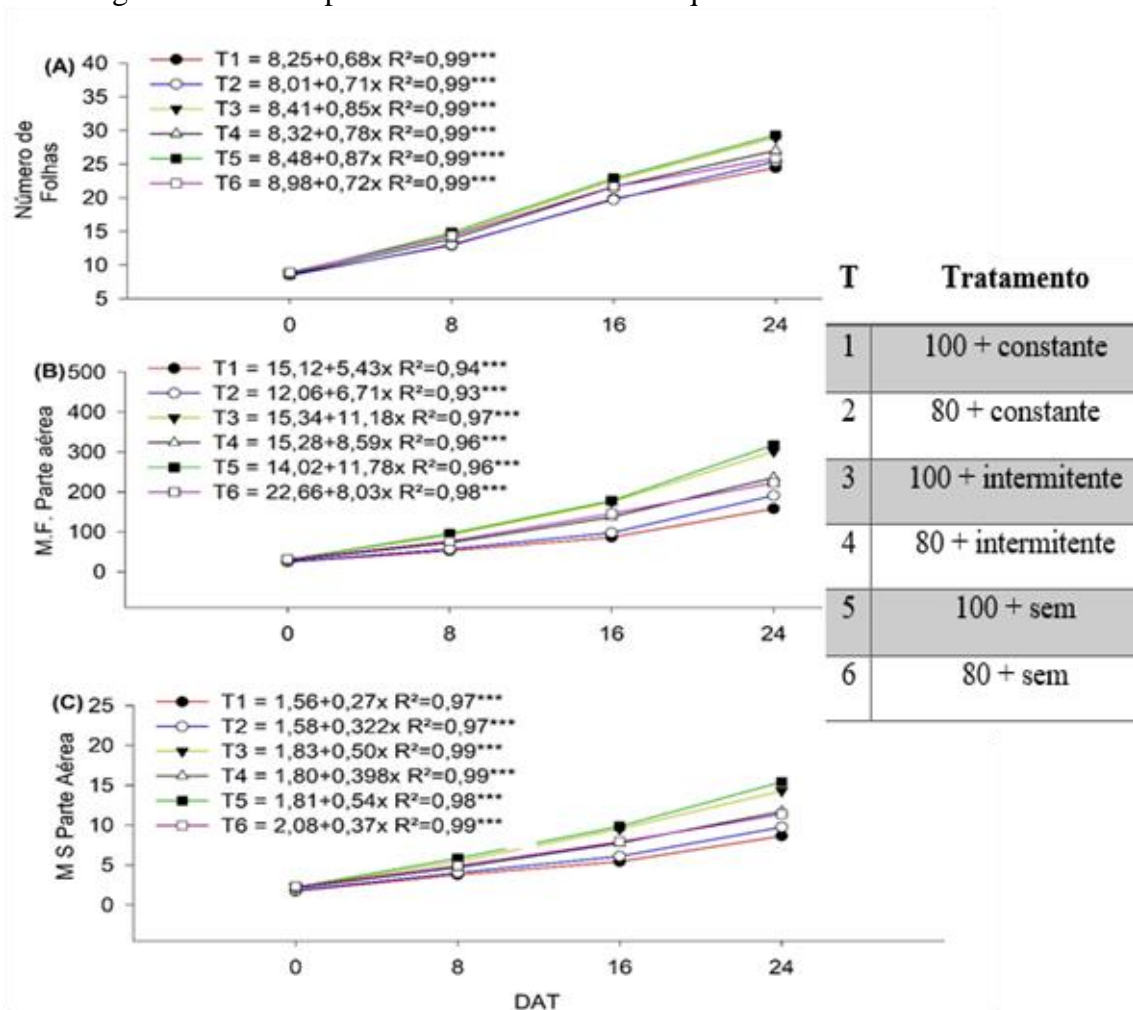
4.5 Análises estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Anderson-Darling, de homocedasticidade (homogeneidade das variâncias), 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 análises de regressão, utilizando-se o *software* estatístico R (versão 4.1.2). Os gráficos foram produzidos no programa SigmaPlot (versão 14.0).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis número de folhas, massa fresca e seca da parte aérea de plantas tratadas com e sem pulsos elétricos de baixa frequência apresentaram padrão de variação linear conforme a Figura 3, gráficos 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 o transplante (DAT) da cultura de alface em sistema hidropônico alimentado com água tratada com pulsos elétricos de baixa frequência



DAT: Dias após transplante; MF: Massa fresca; MS: Massa seca

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). As massas frescas e seca da parte aérea apresentaram ganho de massa com menor acúmulo a partir dos 8 DAT nas soluções 100 e 80 + frequência constante (T1 e T2), seguido da solução 80 + com e sem frequência intermitente (T4 e T6) e finalizando a solução 100 + com e sem frequência intermitente (T3 e T5).

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 número de folhas, massa fresca e massa 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 geram, desbalanceamento no ajuste osmótico, reduzindo o desenvolvimento das plantas (XAVIER *et al.*, 2021). Enquanto a presença de Cloro na solução nutritiva pode obstruir a absorção de Ca e K, impactando diretamente

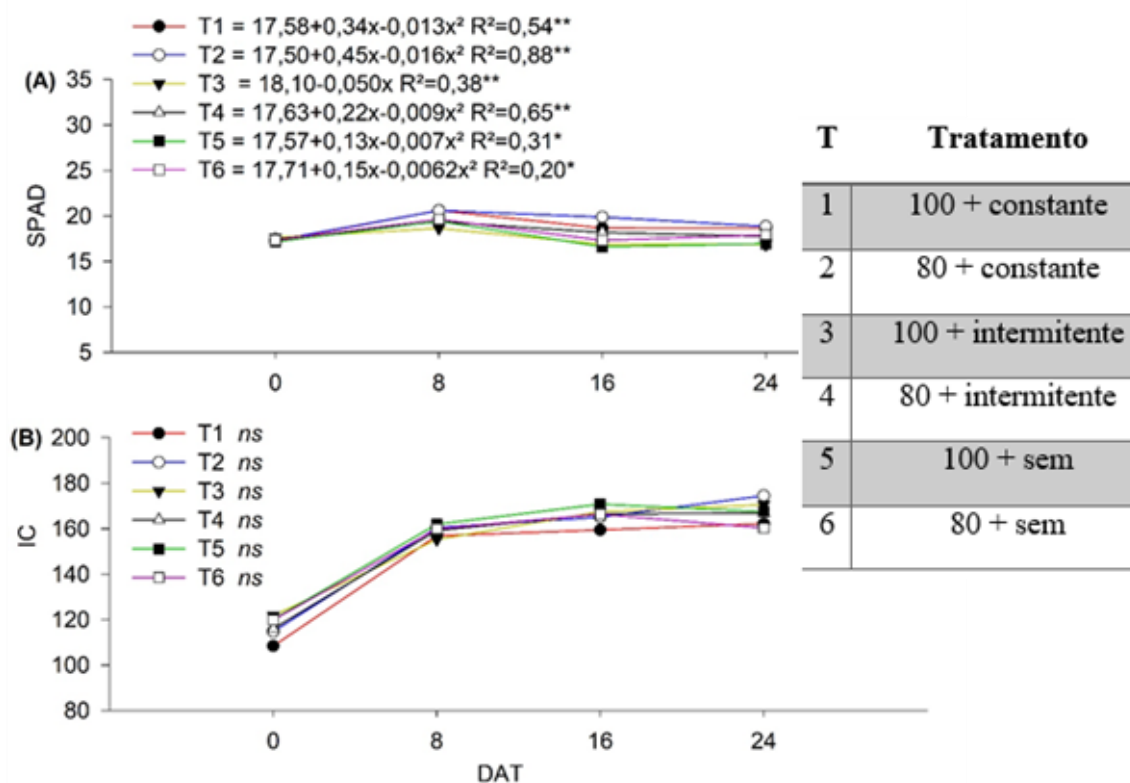
o acúmulo de massa seca e massa fresca (COVA *et al.*, 2017).

Resultados superiores ao longo dos ciclos foram observados 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).

Os resultados para as medições de clorofila via SPAD para as plantas de alface

cultivadas em sistema hidropônico alimentado com água tratada e não tratada por meio de pulsos elétricos de baixa frequência, se ajustaram a um modelo linear com R^2 de 38% na solução 100 + frequência intermitente (T3), enquanto nos demais tratamentos o modelo ajustado foi o quadrático, que apresentou coeficiente de variação quadrático com R^2 entre 31% e 88%. O coeficiente foi significativo, mas com baixa representatividade nas soluções 100 e 80 + sem frequência (T5 e T6, respectivamente), mostrando que o modelo não se ajustou adequadamente aos dados (Figura 4 A). Já as medições do índice de clorofila (IC), utilizando o CM1000, não apresentaram diferenças significativas nem ajuste a nenhum modelo (Figura 4 B).

Figura 4. Tendência da clorofila ao longo dos 24 DAT da alface cultivada em sistema hidropônico alimentado com água tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência



IC: Índice de clorofila; DAT: dias após o transplante; ns; não significativo

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 a solução 100 + sem frequência (T5). Dos 8 até os 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 de 27 unidades SPAD durante as três semanas de cultivo consideradas, ao passo que Aragão *et al.* (2020) obtiveram 26 unidades SPAD ao final do ciclo de cultivo aos 30 dias após o transplante. Já Silva *et al.*

(2020) conseguiram de 14 a 16 unidades SPAD em alface submetidas a estresse salino. O monitoramento correto da clorofila via SPAD e CM1000 tem alta correlação com o estado nutricional de nitrogênio nas plantas podendo ser usado no manejo agrônomo (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 hidrogeniônico e a acidez titulável responderam isoladamente aos fatores ciclo e solução, respectivamente, como se aprecia na Tabela 1.

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

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 hidrogeniônico; 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 °Brix, potencial de hidrogeniônico e acidez titulável sobre o efeito de pulsos elétricos de baixa frequência

com duas soluções nutritivas e dois ciclos de produção de alface hidropônica são apresentados na Tabela 2.

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

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
Dose	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 mesma letra ou sem letra nas colunas não diferem entre si; Brix: ° Brix; pH: Potencial de hidrogeniônico; Att: Acidez titulável; Freq.: Frequência de uso dos pulsos elétricos.

O pH apresentou maior concentração na solução 100 em relação à solução 80, enquanto a acidez titulável teve redução no ciclo 2 em relação ao 3 ao longo do período de pós-colheita. As diferenças encontradas ficaram 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 nessas variáveis (Tabela 2).

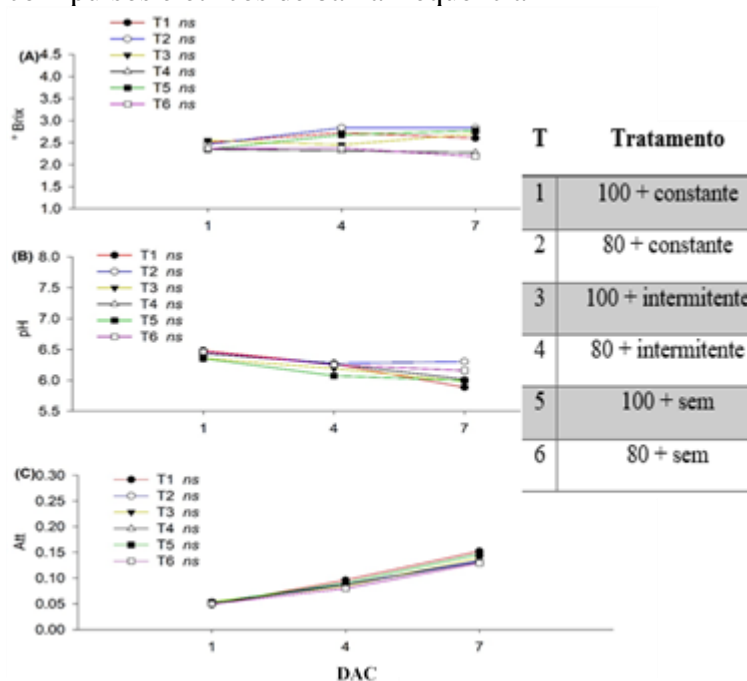
No trabalho desenvolvido por Silva *et al.* (2011), o total de teores de sólidos solúveis foi semelhante no sistema convencional e superior ao do sistema hidropônico. Já na pesquisa desenvolvida por Fontana *et al.* (2018), as variáveis pH, °Brix e acidez titulável para alface cultivada em sistema convencional, hidropônico e orgânico não apresentam diferenças significativas, proporcionando valores no

intervalo de 2,4 a 5,9 com 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 sólidos solúveis, pH e acidez titulável ao longo dos 7 dias de pós-colheita da alface para os diferentes tratamentos realizados no sistema hidropônico se apresentam na Figura 5.

Figura 5. Tendência do desenvolvimento das variáveis ao longo dos 7 dias de pós-colheita (DAC) da cultura de alface cultivada em sistema hidropônico alimentado com água tratada com pulsos elétricos de baixa frequência



DAC: dias após colheita; Att: acidez titulável

Fonte: Autores (2023)

Não foi constatado padrão de variação que se ajustasse significativamente ao comportamento das variáveis sólidos

solúveis, pH e acidez titulável ao longo de 7 dias de pós-colheita como se apresenta na Figura 5, gráficos A, B e C.

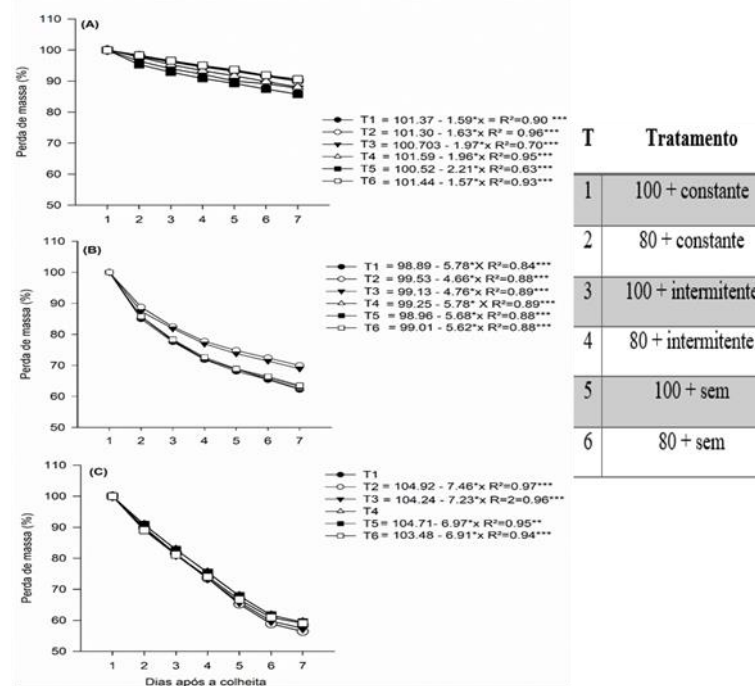
Os sólidos solúveis tiveram menor oscilação na pós-colheita, com destaque para a solução 80 + frequência constante (T2). O pH mostrou redução generalizada a partir do primeiro dia de pós-colheita, sendo que a solução 100 + frequência intermitente (T3) foi a que mostrou maior redução. A acidez titulável 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 hidrogeniônico esta correlacionado ao consumo dos ácidos orgânicos no processo respiratório, assim, na pós-colheita da alface, pode-se verificar uma relação inversa entre o pH e a 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 ao modelo linear com padrão de variação decrescente em todos os ciclos (Figura 6). Verifica-se que o coeficiente de correlação R^2 foi significativo, oscilando entre 63% e 96% no ciclo 1 e entre 88% e 95% nos ciclos 2 e 3.

Figura 6. Perda de massa ao longo de 7 dias de pós-colheita da alface cultivada em sistema hidropônico alimentado com água tratada com pulsos elétricos de baixa frequência



A. Ciclo 1; B: Ciclo 2; C: Ciclo 3

Fonte: Autores (2023)

As condições ambientais influenciaram a perda de massa na ordem de 12, 35 e 40% nos ciclos 1, 2 e 3, respectivamente, sendo maior em condições de temperatura elevada. Andrade (2019) e Soares *et al.* (2020) também reportam limitações no desenvolvimento da alface em temperaturas superiores a 25°C, influenciando a qualidade na pós-colheita e 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 mantém 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 1 e 3 em todos os tratamentos, já no ciclo 2 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 gera efeitos positivos na produtividade em alface e cenoura, podendo refletir na qualidade da pós-colheita. Liu *et al.* (2019) encontraram resultados positivos ao utilizar eletromagnetismo ao longo do desenvolvimento vegetal. Por outro lado, Olaya Tellez *et al.* (2023) reportaram resultados similares entre as plantas de alface hidropônica irrigada com água tratadas com pulsos elétricos de baixa frequência e as que não receberam tratamento.

6 CONCLUSÕES

O desenvolvimento da alface cultivada em sistema hidropônico alimentado com água tratada com 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 ocasionou diferenças no pH, acidez titulável, °Brix e perda de massa na pós-colheita da alface hidropônica.

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”.

8 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, n. 1, 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 film 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.
- 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. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 11. ed. Washington, DC: AOAC, 1992.
- CHIBOWSKI, E.; SZCZES, A. Magnetic water treatment a review of the latest approaches. **Chemosphere**, Oxford, v. 203, n. 1, p. 54-67, 2018.
- CONAB. Análise das Hortaliças. **Boletim hortigranjeiro**, Brasília, DF, v. 6, n. 2, p. 72, 2020.
- CIRIELLO, M.; FORMISANO, L.; PANNICO, A.; EL-NAKHEL, C.; FASCELLA, G.; DURÌ, 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, n. 8, p. 1469, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11081469>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/8/1469>. Acesso em: 22 jan. 2024.
- 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>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/fvPwyjbZqG7w5HGYFRMXkhs/?lang=en>. Acesso em: 20 fev. 2024.
- 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 for rapid detection of nutrient content of hydroponically grown lettuce cultivars. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 181, n. 1, p. 1-9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105968>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169920331732?via%3Dihub>. Acesso em: 08 jul. 2024.
- 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, DF, v. 36, n. 1, p. 20-26, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620180104>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/yS7KZfBYW Gn5kpKdSs4MJpb/?lang=en>. Acesso em: 16 nov. 2023.
- FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, N. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1999.

- GOMES, N. R.; PIERRE, B. S.; ALMEIDA, R. R.; MORGADO, C. M. A.; 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, p. 1-13, 2021.
- INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Estatística da Produção Paulista** - Alface. São Paulo: IEA, 2020. Disponível em: http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjetiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1. Acesso em: 18 mar. 2022.
- KAISER, C.; ERNST, M. **Hydroponic Lettuce**. Kentucky: University of Kentucky College of Agriculture, Food and Environment, 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, n. 1, p. 19-34, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157516300230?via%3Dihub>. Acesso em: 08 set. 2023.
- KOOHAKAN, P.; JEANAKSORN, T.; NUNTAGIJ, I. Major diseases of lettuce grown by commercial nutrient film technique in Thailand. **Current Applied Science and Technology**, West Bengal, 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 residuária tratada em filtros anaeróbios verticais. **Irriga**, Botucatu, v. 27, n. 4, p. 856-868, 2022. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2022v27n4p856-868>. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4506>. Acesso em: 11 nov. 2023.
- 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. 1, p. 1-14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45719-6>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-45719-6>. Acesso em: 06 dez. 2023.
- 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: <https://doi.org/10.18406/2316-1817v10n220181082>. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/1082>. Acesso em: 26 jul. 2024.
- 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, DF, v. 28, n. 3, p. 316-320, 2010.

- 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, p. 1877-1893, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2014.909832>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00103624.2014.909832>. Acesso em: 27 abr. 2023.
- MARTINEZ, D. G.; MARTINS, B. H. S.; FEIDEN, A. Valor nutricional do cultivo de alface hidropônico. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 481-489, 2016.
- 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>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08927014.2015.1137896>. Acesso em: 17 jun. 2023.
- 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 frequência. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n. 1, p. 148-163, 2023. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2023v28n1p148-163>. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4639>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- 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, n. 1, p. 19-34, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.05.017>. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.05.017>. Acesso em: 15 ago. 2024.
- 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.
- PUTTI, F. F.; QUEIROZ BARCELOS, J. P.; GOES, B. C.; ALVES, R. F.; MOLLO NETO, M.; SILVA, A. O.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; ZANETTI, W. A. L.; 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**, Basel, v. 12, n. 21, p. 3721, 2023a. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12213721>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37960077/>. Acesso em: 06 jan. 2024.

- 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: <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7560>. Disponível em: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/7560. Acesso em: 08 fev. 2024.
- 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**, Lagos, v. 10, n. 22, p. 2300-2308, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9616>. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/DA79F6853318>. Acesso em: 14 maio 2024.
- PUTTI, F. F.; VICENTE, E. F.; CHAVES, P. P. N.; MANTOAN, L. P. B.; CREMASCO, C. P.; ARRUDA, B.; FORTI, J. C.; SILVA JUNIOR, J. F.; CAMPOS, M.; REIS, A. R. Effect of magnetic water treatment on the growth, nutritional status, and yield of lettuce plants with irrigation rate. **Horticulturae**, Basel, v. 9, n. 4, p. 504, 2023b. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040504>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/9/4/504>. Acesso em: 03 fev. 2024.
- 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, DF, v. 32, n. 3, p. 303-309, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000300011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/GSmYLnVRTgW6sWgk8mpVW4F/?lang=pt>. Acesso em: 12 mar. 2024.
- SANTOS, J. D.; SILVA, A. L. L.; COSTA, J. L.; SCHEIDT, G. N.; NOVAK, A. C.; SYDNEY, E. B.; SOCCOL, C. R. Development of a vinasse nutritive solution for hydroponics. **Journal of Environmental Management**, London, v. 114, n. 1, p. 8-12, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.045>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479712005506?via%3Dihub>. Acesso em: 17 jun. 2024.
- SCHVAMBACH, M. I.; ANDRIOLLI, B. V.; SOUZA, P. F.; OLIVEIRA, J. L. B.; PESCADOR, R. Conservação de alface crespa em diferentes condições de armazenamento pós-colheita. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 67, n. 4, p. 247-250, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X202067040002>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/6XXWFTBYyYsRLBfB56kNmRG/?lang=en>. Acesso em: 12 jul. 2024.
- 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: <https://doi.org/10.28998/rca.v18i3.9468>. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/view/9468>. Acesso em: 26 fev. 2024.
- 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, DF, v. 29, n. 2, p. 242-245, 2011.

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.

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**, Recife, v. 19, n. 1, p. 11-19, 2014. DOI: <https://doi.org/10.12661/pap.2014.003>. Disponível em: <https://pap.emnuvens.com.br/pap/article/view/pap.2014.003>. Acesso em: 14 maio 2024.

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>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20437>. Acesso em: 15 mar. 2024.

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, article 115562, p. 1155-1562, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115562>. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115562>. Acesso em: 16 ago. 2024.