



## **Níveis de ferro no desenvolvimento de alface crespa em sistema hidropônico NFT**

### **Iron levels in the development of curly lettuce in an NFT hydroponic system**

## **Niveles de hierro en el desarrollo de lechuga crespa en sistema hidropónico NFT**

DOI: 10.55905/oelv22n3-133

Originals received: 02/16/2024

Acceptance for publication: 03/05/2024

#### **Alexandre da Trindade Lélis**

Graduando em Agronomia

Instituição: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará - campus Castanhal

Endereço: BR 316, Km 61, Castanhal - PA, CEP: 68740-970

E- mail: alexandre\_lelis18@hotmail.com

#### **Welliton de Lima Sena**

Doutor em Ciência Agrária

Instituição: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará - campus Castanhal

Endereço: BR 316, Km 61, Saudade, Castanhal - PA, CEP: 68740-970

E- mail: welliton.sena@ifpa.edu.br

#### **Nathany Braga Santos**

Graduando em Ciências Biológica

Instituição: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará - campus Belém

Endereço: Av. Alm. Barroso, 1155, Belém - PA, CEP: 66093-020

E- mail: braganathanys@gmail.com

#### **André Luiz Pereira da Silva**

Doutor em Agronomia

Instituição: Universidade do Estado do Amapá

Endereço: Av. Presidente Vargas, Macapá – AP, CEP: 68900-070

E- mail: andreengagronomo@gmail.com



**Tiago de Melo Sales**

Doutor em Entomologia

Instituição: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará - campus  
Castanhal

Endereço: BR 316, Km 61, Castanhal - PA, CEP: 68740-970

E- mail: tiago.sales@ifpa.edu.br

**Joaquim Alves de Lima Junior**

Doutor em Engenharia Agrícola

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia - campus Capanema

Endereço: Rua João Pessoa, Centro, Capanema – PA, CEP: 687000-030

E- mail: joaquim.junior@ufra.edu.br

**Maryjane Diniz de Araújo Gomes**

Doutora em Agronomia

Instituição: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará - campus  
Castanhal

Endereço: BR 316, Km 61, Castanhal - PA, CEP: 68740-970

E- mail: maryjane.gomes@ifpa.edu.br

**Félix Leis da Silva**

Doutor em Ciência Agrária

Instituição: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará - campus  
Castanhal

Endereço: BR 316, Km 61, Castanhal - PA, CEP: 68740-970

E- mail: felix.lelis@ifpa.edu.br

**RESUMO**

O Fe é um dos micronutrientes essenciais para o desenvolvimento e reprodução das plantas, participa diretamente de vários processos celulares, tais como: respiração, biossíntese de clorofila e fotossíntese, e serve como cofator para enzimas envolvidas na transferência de elétrons ou oxigênio. Baseado nesse contexto, o presente estudo objetivou avaliar os efeitos de diferentes níveis do micronutriente ferro em solução nutritiva sobre o crescimento e morfologia da alface crespa (cv. Jade) em sistema hidropônico. Realizado em casa de vegetação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - Campus Castanhal, o experimento utilizou quatro doses de ferro (5g, 10g, 20g e uma testemunha de 30g por 1000 litros de solução nutritiva), com nove repetições, totalizando 36 unidades amostrais. Após um período de trinta e cinco dias, foram coletadas e mensuradas as variáveis: massa fresca da parte aérea, massa fresca da raiz, altura da planta, diâmetro do coleto, número de folhas, comprimento da raiz, altura do caule, peso do caule e peso das folhas. Os dados foram analisados por meio do SISVAR e os ajustes e validade das equações de regressão utilizadas para avaliar os resultados experimentais considerou-se significância  $P < 0,05$ . Os resultados indicaram que a recomendação convencional de 30g de ferro para 1000 litros de solução não se mostrou eficiente para o cultivo de alface, nas condições climáticas do local de estudo.

Concluiu-se que a dosagem de 15g de ferro por 1000 litros de solução nutritiva mostrou-se mais adequada, mantendo o desempenho satisfatório das variáveis analisadas, reduzindo custos com o micronutriente e fornecendo diretrizes mais precisas para o cultivo de alface crespa na região amazônica.

**Palavras-chave:** manejo nutricional, hidroponia, solução nutritiva, alface hidropônica.

### ABSTRACT

Fe is one of the essential micronutrients for the development and reproduction of plants, it participates directly in several cellular processes, such as: respiration, chlorophyll biosynthesis and photosynthesis, and serves as a cofactor for enzymes involved in the transfer of electrons or oxygen. Based on this context, the present study aimed to evaluate the effects of different levels of the micronutrient iron in nutrient solution on the growth and morphology of curly lettuce (cv. Jade) in a hydroponic system. Carried out in a greenhouse at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Pará - Campus Castanhal, the experiment used four doses of iron (5g, 10g, 20g and a control of 30g per 1000 liters of nutrient solution), with nine replications, totaling 36 sampling units. After a period of thirty-five days, the variables were collected and measured: fresh mass of the aerial part, fresh mass of the root, plant height, stem diameter, number of leaves, root length, stem height, stem weight and leaf weight. The data were analyzed using SISVAR and the adjustments and validity of the regression equations used to evaluate the experimental results were considered significant at  $P < 0.05$ . The results indicated that the conventional recommendation of 30g of iron for 1000 liters of solution was not efficient for lettuce cultivation, under the climatic conditions of the study site. It was concluded that the dosage of 15g of iron per 1000 liters of nutrient solution proved to be more appropriate, maintaining satisfactory performance of the analyzed variables, reducing costs with the micronutrient and providing more precise guidelines for the cultivation of curly lettuce in the Amazon region.

**Keywords:** nutritional management, hydroponics, nutrient solution, hydroponic lettuce.

### RESUMEN

El Fe es uno de los micronutrientes esenciales para el desarrollo y la reproducción de las plantas, participa directamente en varios procesos celulares, como la respiración, la biosíntesis de la clorofila y la fotosíntesis, y actúa como cofactor para las enzimas involucradas en la transferencia de electrones u oxígeno. Con base en este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos de diferentes niveles de micronutrientes de hierro en solución nutritiva sobre el crecimiento y morfología de lechuga crespa (cv. Jade) en sistema hidropónico. Realizado en un invernadero del Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Pará - Campus Castanhal, el experimento utilizó cuatro dosis de hierro (5g, 10g, 20g y un testigo de 30g por 1000 litros de solución nutricional), con nueve repeticiones, totalizando 36 unidades de muestreo. Después de un periodo de treinta y cinco días, se recolectaron y midieron las variables: masa fresca de la parte superior, masa fresca de la raíz, altura de la planta, diámetro del collar, número de hojas, longitud de la raíz, altura del tallo, peso del tallo y

peso de las hojas. Los datos fueron analizados mediante el sistema SISVAR y los ajustes y la validez de las ecuaciones de regresión utilizadas para evaluar los resultados experimentales se consideraron significancia  $P < 0,05$ . Los resultados indicaron que la recomendación convencional de 30g de hierro por 1000 litros de solución no resultó ser eficiente para el cultivo de lechuga, bajo las condiciones climáticas del lugar de estudio. Se concluyó que la dosificación de 15g de hierro por 1000 litros de solución nutritiva resultó ser más adecuada, manteniendo el desempeño satisfactorio de las variables analizadas, reduciendo costos con el micronutriente y proporcionando pautas más precisas para el cultivo de lechuga crujiente en la región amazónica.

**Palabras clave:** manejo nutricional, hidroponía, solución nutricional, lechuga hidropónica.

## 1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa pertencente à família Asteraceae, é uma planta anual, herbácea, que apresenta caule diminuto, ao qual se prendem as folhas, que crescem em roseta. A espécie possui uma variedade grande de folhas, podendo ser verdes ou em tons de roxos, lisa ou crespas, podem formar “cabeça”, ou não, além de ser a hortaliça mais cultivada e consumida no mundo, é originária de regiões de clima temperado (Souza et al. 2008; Henz; Suinaga, 2009; Maldone et al., 2014; Shi, et al., 2022).

Segundo Barros e Cavalcante (2021), a alface é a hortaliça mais consumida devido suas propriedades nutricionais. Destaca-se por ser rica em vitaminas, A, B e C, minerais (como o fósforo, cálcio, potássio, silício, magnésio, dentre outros), fibras alimentares, baixo valor calórico (Schemes et al., 2016; Shi, et al., 2022). Apresenta propriedades antioxidantes, que ajudam a prevenir doenças cardiovasculares, além de ajudar no funcionamento do sistema digestivo e esquelético, tornando-os mais saudáveis (EPAGRI, 2022). A sua principal forma de consumo é forma de saladas cruas (Henz; Suinaga, 2009).

No Brasil são produzidas mais de 600 mil toneladas de alface, sendo a agricultura familiar responsável pela maior parte dessa produção, fazendo com que essa hortaliça tenha além da importância econômica, grande importância social (Kist; Beling, 2023). Os principais polos de produção de alface estão localizados nas regiões Sudeste e Sul, principalmente nos estados de São Paulo, Paraná e Minas Gerais (Pessoa; Junior, 2021).

Em regiões de climas mais quentes, como o Norte e Nordeste, o cultivo dessa hortaliça é mais difícil devido a condições climáticas adversas, e os produtores têm que enfrentar esses desafios. Entretanto, é possível um cultivo de qualidade em qualquer região, desde que sejam adotados manejos e tratos culturais apropriados (Silva et al., 2023).

Por ser uma hortaliça folhosa, a alface armazena bastante nutrientes nas folhas, fato esse que a torna bastante exigente quanto as questões nutricionais, assim como em relação aos tratos culturais. Desta forma, para que essa hortaliça tenha um máximo desempenho, faz-se necessário um bom manejo de adubação (Gomes; Borém, 2019).

Fatores associados a mercado exigente atual e o ciclo de cultivo curto, tem buscado produções voltadas a definições de folhas grande, cores fortes, sadias e sem aparências de sintomas de deficiências nutricionais, e ao mesmo tempo tem buscado estratégias de produção em termos de exigência em água, nutrientes e condições ambientais adequadas, para favorecer o seu desempenho, precocidade e expressar seu potencial genético (Maldone et al., 2014)

A alface pode ser cultivada em céu aberto ou ambiente protegido (casa de vegetação ou telados) sendo produzida em cultivo convencional (canteiros) ou cultivo hidropônico (Filgueira, 2008). Ressalta-se que o cultivo hidropônico associado a essa hortaliça, geralmente é utilizado em ambiente protegido, casa de vegetação, por proporcionar maior controle contra intempéries climáticas e ataque de pragas. Essa prática tem crescido e alcançado bons resultados, em relação a qualidade e sanidade do produto (Gomes; Borém, 2019; Sena, W., et al., 2023).

Segundo Sena, E., et al. (2023), sistema hidropônico é uma técnica de cultivo, onde não há uso de solo, geralmente adotada em cultivo protegido, onde a nutrição das plantas é fornecida por meio de solução nutritiva balanceada (quantidades adequadas de cada nutriente) que passa pelas raízes das plantas, onde contém todos os macros e micronutrientes essenciais para seu desenvolvimento.

O cultivo hidropônico, tem várias vantagens em relação ao sistema tradicional de cultivo, apesar de apresentar algumas dificuldades, que podem comprometer o cultivo, dentre as quais destaca-se a temperaturas elevadas durante boa parte do ano (Sena, E., et al., 2023).



Segundo Lélis et al. (2023), o cultivo hidropônico é uma atividade que demanda mão de obra qualificada, ou assistência técnica permanente, o que pode ser um fator limitante para muitos produtores. Uma vez que as comunidades mais distantes dos grandes centros urbanos têm pouco ou nenhum acesso a assistência técnica, seja ela particular ou oriunda de políticas públicas.

Para Lélis et al. (2023), apesar de haver um grande crescimento do cultivo de hortaliças em sistemas hidropônicos, grande parte dos produtores ainda desconhecem essa técnica e quando conhecem possuem um certo receio em adotá-la. Neste sentido, a adoção de novas técnicas de cultivos perpassa pelo conhecimento e adoção de técnicas que favoreçam o cultivo e melhore a qualidade do produto final, portanto, o cultivo hidropônico torna-se uma alternativa extremamente viável e promissora.

No sistema hidropônico é possível elaborar diversas formulações específicas para cada cultura, conforme o seu estágio fenológico (Sena, E., et al., 20023). Martinez (2021), ressalta que nesse sistema é possível controlar cada nutriente, para cada fase específica da planta. Assim, a qualidade de cultivo depende de uma solução bem balanceada (Sena, E., et al., 2023).

Portanto, conduzir sistemas hidropônicos, faz-se necessário usar as quantidades adequas de cada nutriente para cada cultura, a fim de não comprometer o seu bom desempenho. Fornecer quantidades inferiores as exigidas pelas plantas podem causar deficiência nutricional, em contrapartida, quantidades superiores as requeridas, podem causar fitotoxicidade, estresse osmótico, toxidade de íons, desequilíbrio nutricional e desta forma comprometer o desempenho da planta, além de encarecer os custos de produção (Malavolta, 2006; Gomes Junior, 2019).

Os sais utilizados para formulações das soluções nutritivas para o cultivo hidropônico, são sais solúveis que tem o preço relativamente mais elevados que os sais utilizados para o cultivo tradicional, fato esse que eleva o custo de produção. Dentre esses sais, podemos citar o micronutriente Ferro (Fe), que é vendido separadamente na forma de quelato. O Fe é mais utilizado em forma de quelatos, devido ser um metal e quando usado na forma de sais apresenta instabilidade na solução nutritiva, ficando indisponível para planta (Lindsay, 1979; Abadia, 1995; Klem-Marciniak et al., 2021).

Ressalta-se ainda, que a solubilidade de Fe muda em média 1000 vezes a cada unidade de variação na escala de pH (Lindsay, 1979). Segundo Morel, Hering (1993), os íons de Fe têm baixas instabilidade em soluções, mas quando usados em formas de quelatizados, possuem grande capacidade de tamponamento, o que aumenta a concentração na solução.

Existe diversos formatos de ferro quelatizados, entretanto, o mais utilizado em sistema hidropônicos, onde o pH não ultrapassa a escala de 7.0 é o ferro EDTA (ácido etilenodiamino tetra acetico) (Matsuzaki, 2013; Klem-Marciniak et al., 2021).

O Fe é um dos micronutrientes essenciais para o desenvolvimento e reprodução das plantas (Rout; Sahoo, 2015). Segundo Kobayashi et al. (2019), o Fe participa diretamente de vários processos celulares, tais como: respiração, biossíntese de clorofila e fotossíntese, e serve como cofator para enzimas envolvidas na transferência de elétrons ou oxigênio.

Fe tem papel importante no metabolismo das plantas, pois participa do processo de fotossíntese, atuando em moléculas ligadas aos fotossistemas II e I, faz parte da porfirina que é um dos componentes da clorofila, além de possuir função estrutural em grupos prostéticos de sistemas enzimáticos, tais como: citocromos, catalases e peroxidases (Rout; Sahoo; 2015).

O Fe atua como componente de enzimas que são envolvidas na transferência de elétrons e enzimas envolvidas na síntese de clorofila (Evans; Sorger, 1966; Taiz; Zeiger, 2004). Malavolta (2006), afirma que o ferro é um dos micronutrientes essenciais e participa das principais funções na planta, dentre elas: fotossíntese, respiração e balanço hormonal.

Baseado nesse contexto, a utilização de quantidades adequadas desse micronutrientes na solução nutritiva essenciais, seja para não utilizar quantidades superiores as exigidas pelas plantas ou elevar os custos de produção, além de causar fitotoxidez ou para não fornecer quantidades inferiores as exigidas pelas plantas, ocasionando deficiência nutricional.

As quantidades de Fe indicadas para uso em sistemas hidropônicos são de estudo realizados principalmente no Sul do País, onde as condições ambientais são totalmente

diferentes das condições da Região amazônica, tanto em termos climáticos, quanto em qualidade da água utilizada para produção da solução nutritiva.

Nesse sentido, faz-se necessário a realização de estudos sobre as quantidades ideias de cada nutrientes utilizados na solução nutritiva na região amazônica. Baseado nesse contexto, o presente estudo objetivou avaliar diferentes níveis do micronutriente Fe, na forma de quelato, no desenvolvimento e morfologia da alface crespa, CV. Jade.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao grupo de pesquisa em plantas ornamentais e hortícolas - GPOH, localizado nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - Campus Castanhal.

O município de Castanhal está situado na região Nordeste paraense, suas coordenadas geográficas são  $-1,300833^\circ$  de latitude e  $-47,948056^\circ$  de longitude, com altitude de 47,12 (INMET). O clima segundo Valente et al. (2001) é do tipo “B3 r A’a”, cuja características são clima úmido com quase nenhum déficit de água no período seco. Para Köppen o clima é do tipo AF, cuja características são quente e úmido, com precipitações acima de 2000mm anuais. O município é recortado pelos rios Inhangapi e Apeu (Valente et al., 2001) e tem como vegetação predominante é floresta tropical úmida (SUDAM, 1988), com uma pequena parte de vegetação do tipo floresta ombrófila densa de planície aluvial (várzea) (IBGE, 2012).

Para condução experimental foi utilizado bancadas de hidroponia no sistema NFT (Tecnico Film Nutrient) de 1,20 m de largura por 1,20 de comprimento, contendo cinco perfis, cada um contendo cinco orifícios de alocação das plantas no espaçamento de 0,25 m x 0,25 m, totalizando 25 plantas por bancada.

De modo a evitar influência de fatores externos ambientais nas plantas das bordas as mesmas foram eliminadas, sendo consideradas apenas as plantas centrais, totalizando nove plantas úteis. Reservatório com capacidade de 50 litros foi utilizado para solução nutritiva. O bombeamento foi realizado por meio de bomba tipo submersa, da marca Aleas, modelo Hm-5063, de vazão de 1200 L/h.

As mudas foram produzidas em bandejas de isopor de 200 células, utilizando

como substrato a fibra de coco da Amfibra do tipo Golden Mix misto. As sementes utilizadas foram da alface crespa, cultivar Jade da empresa Sakata. As mudas foram irrigadas com 50% da formulação de Furlani et al. (1999) desde o segundo dia após o semeio, até o vigésimo dia, quando atingiu o tamanho suficiente de transplântio.

A formulação utilizada para hidroponia foi a de Furlani et al. (1999), que consiste em (g/1000L): 750g de nitrato de cálcio, 500g de nitrato de potássio, 400g de sulfato de magnésio, 150g de MAP, para suplementação dos micronutrientes 10g de conmicros light e 30g de ferro quelatizado com EDDHA (essa dosagem de ferro foi utilizada apenas para o tratamento testemunha).

Foi adotado um delineamento inteiramente casualizado com 9 repetições, totalizando 36 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram em quatro níveis de ferro (g/1000L): T1 = 5g, T2 = 10g, T3 = 20g e Testemunha = 30g.

As plantas foram conduzidas por um período de trinta e 35 dias. Posteriormente foram colhidas e segmentadas em parte aérea e raiz e realizado as seguintes mensurações: massa fresca da parte aérea (MSPA), massa fresca da raiz (MFR), altura da planta (AP), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF), comprimento da raiz (CR), altura do caule (AC), peso do caule (PC) e peso das folhas (PF).

Os dados foram submetidos e analisados por meio de ajustes de curvas por se tratar de resultados de um experimento quantitativo. A validade dos ajustes ocorreu por meio do teste F a 5%, objetivando testar a hipótese nula ( $H_0: \beta=0$ ) de não existência de ajuste. Para avaliar o nível de explicabilidade dos ajustes, foi utilizado o coeficiente de explicação ( $R^2$ ) da relação entre níveis de Fe e as respostas morfológicas das plantas, associadas as variáveis analisadas. Utilizou-se o software de análise estatística Sisvar e a planilha eletrônica Excel do software Microsoft office 365.

O cálculo do ponto de máxima da equação ajustada, foram obtidos a partir da primeira derivada da função para cada função correspondente ao valor máximo de Fe, para uma resposta máxima da variável estudada. Como análise complementar, foi realizado o teste de comparação de média por meio do teste Tukey a 5% de confiabilidade.

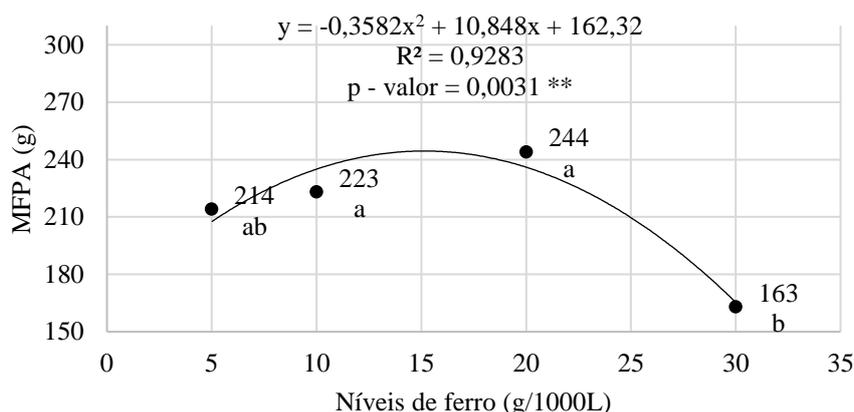
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos ajustes foi observado efeito significativo a nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ) para os níveis de Fe em sistema hidropônico do tipo NFT, para a alface cv. Jade, nas variáveis MFPA, AP, DC, CR, NF, AC, PC e PF, tendo como equação de ajuste uma polinomial de grau 2 para (Figuras 01, 03, 04, 05, 06, 07, 08 e 09). Para a variável MFR não houve ajuste de modelo significativo.

A análise de comparação de médias constatou efeito significativo a 1% probabilidade ( $p < 0,01$ ), para as variáveis MFPA, AP, DC, CR, NF, AC, e PF e a PC a 5% probabilidade ( $p < 0,05$ ). Para a variável MFR não houve diferença significativa.

A variável MFPA em resposta aos diferentes níveis de Fe é explicada com aplicabilidade de 92,83% por meio de um ajuste quadrático de 2ª ordem. O ajuste sugere que o máximo peso obtido para esta variável é da ordem de 244,45 gramas, sendo essa reposta obtida sob a administração de 15,14 gramas de Fe para 1000 litros de solução nutritiva (Figura 1).

Figura 1 - Comportamento da matéria fresca da parte aérea da alface, submetida a diferentes níveis de Fe, em sistema hidropônico do tipo NFT.



Fonte: Dados da pesquisa, elaborada pelos autores, 2023.

Resultados similares foram encontrados por Laurett et al. (2017), em estudos visando avaliar o desempenho da alface e da rúcula em diferentes concentrações de ferro na solução nutritiva, constaram que MFPA da alface e da rúcula foram influenciadas negativamente pelo aumento da concentração de Fe em solução Nutritiva. Para a cultura



da alface os autores afirmam que a dose máxima de Fe utilizada em comparação com o controle (dose mínima), proporcionou uma redução de 83,50% na produção de matéria fresca.

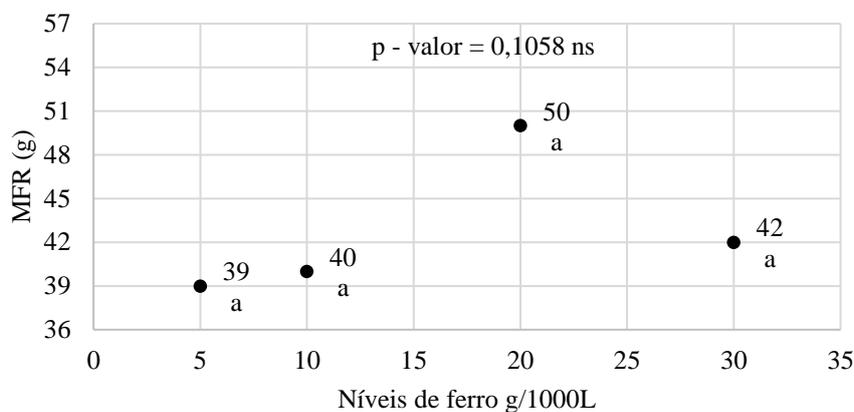
Para valores superiores e/ou inferiores a essa dosagem, as plantas tendem a um decaimento de massa fresca da parte aérea (Figura 1). Este dado é explicado pela resposta fisiológica das plantas, quando submetidas a excesso de nutrientes. Segundo Adamski et al. (2011), o excesso de ferro pode causar distúrbios nutricionais, bem como, afetar a fisiologia das plantas.

Segundo Yuri et al. (2006), a massa fresca da parte aérea da alface é uma variável de interesse comercial, sendo a característica mais desejada pelos consumidores. Assunção; Sousa; Mota (2023), ressaltam que esse fator, deve-se ao fato de a alface ser uma hortaliça em geral comercializada por unidade (in natura), fazendo com que plantas com maior massa fresca tendem a ganhar a preferência dos consumidores.

A análise de comparação de médias, mostrou que T1, T2 e T3 foram superiores e não diferiram estatisticamente entre si, porém o T1 também não diferiu estatisticamente do T4. Esse resultado corrobora com o resultado da equação de ajuste (Figura 1<sup>a</sup>). Portanto, pode-se considerar que nas condições ambientais desse estudo, doses crescentes de Fe para cultivo de alface em sistema hidropônico, tipo NFT, compromete o desenvolvimento, afetando diretamente o peso das plantas. Sendo indicado metade da quantidade indicada na formulação de Furlani et al. (1999).

Com relação à massa fresca das raízes de alface, não houve ajuste de modelo significativo (Figura 2). Assim como, não houve diferença significativa na análise de comparação de médias.

Figura 2 - Comportamento da matéria fresca da raiz da alface, submetida a diferentes níveis de Fe, em sistema hidropônico do tipo NFT.

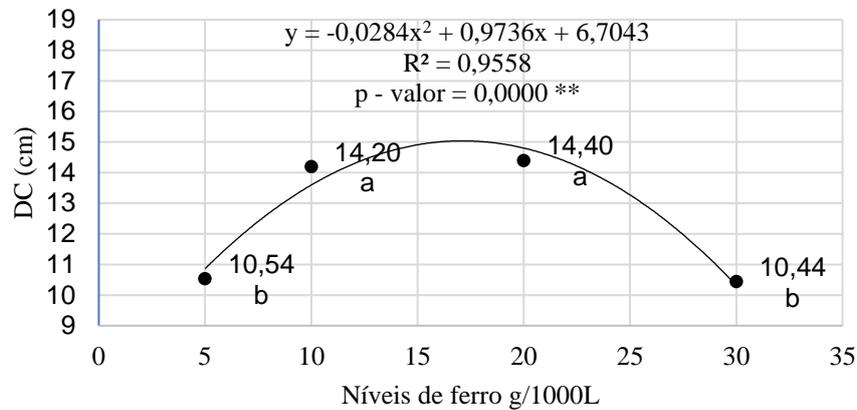


Fonte: Dados da pesquisa, elaborada pelos autores, 2023.

Resultados diferentes foram encontrados por Laurett et al. (2017), ao estudarem diferentes níveis de Fe nas culturas da alface e rúcula, onde constataram um ajuste de modelo linear decrescente conforme aumento nas concentrações de Fe, para a matéria fresca das raízes, além de demonstrar que doses elevadas de Fe na solução nutritiva proporcionou uma redução de 80,56% da MFR.

A variável DC é explicada com 95,58% por meio de um ajuste quadrático de ordem 2 (Figura 3). O ajuste sugere que o máximo diâmetro do caule obtido é de aproximadamente 17mm, e esta resposta ocorreu a partir de uma administração de aproximadamente 15g de Fe para 1000 litros de solução nutritiva.

Figura 3 - Comportamento diâmetro do coleto da alface, submetida a diferentes níveis de Fe, em sistema hidropônico do tipo NFT.



Fonte: Dados da pesquisa, elaborada pelos autores, 2023.

Assunção; Sousa; Mota (2023), trabalhando com diferentes cultivares de alface, constatou que as cultivares que apresentaram maiores diâmetros, alcançaram média de 20 mm planta<sup>-1</sup>, resultado próximo do sugerido por essa pesquisa para a dosagem máxima de Fe em solução nutritiva. Os autores sugerem ainda que o caule da alface não faz parte do cardápio do brasileiro, mesmo que este possa ser consumido juntamente com as folhas, portanto, é desejável uma relação inversa, em que as plantas apresentem menor massa de caule e uma maior massa de folhas.

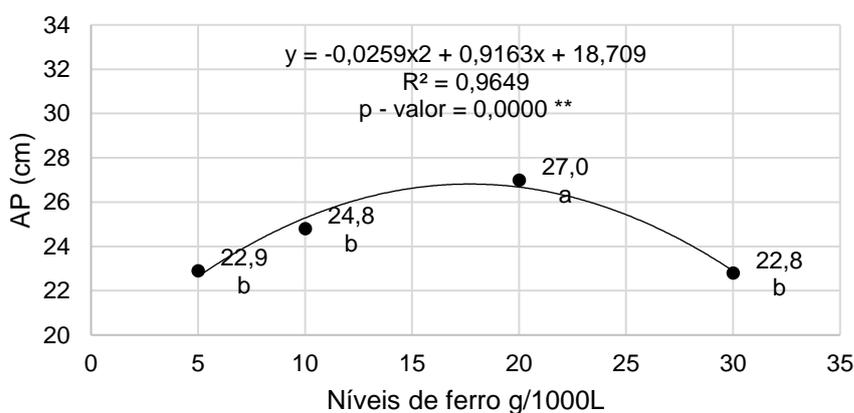
Para valores superiores a esta dosagem, a resposta das plantas em relação DC tende seguir um processo de redução na resposta fisiológica (Figura 3), comprometendo o desenvolvimento do caule e conseqüentemente o desenvolvimento da planta. A análise de comparação de média constatou que não houve diferença significativa para os tratamentos T2 e T3, que por sua vez diferiram de T1 e T4, sendo que estes não diferiram entre si. Essa análise reforça o ajuste de modelo, onde houve uma máxima resposta para o diâmetro do coleto, para uma administração de 15g de Fe.

A variável DC, é um importante indicativo de qualidade da planta, em que estas apresentam bom desempenho de parte aérea, apresentando caule mais finos, tendem a ser plantas mais leves e com menor número de folhas. Nesse sentido, é importante não usar dosagem superior a máxima calculada, mencionado acima.

Em relação a variável AP, o ajuste de modelo foi uma polinomial de ordem 2, com

96,49% de aplicabilidade (Figura 4). O cálculo de ponto de máximo, mostrou um valor médio de 26,8cm de altura, essa resposta deve ser obtida com uma administração de 17,7 gramas para 1000 litro de solução.

Figura 4 - Comportamento da altura da planta de alface, submetida a diferentes níveis de Fe, em sistema hidropônico do tipo NFT.



Fonte: Dados da pesquisa, elaborada pelos autores, 2023.

Resultados similares forma alcançados por Lima et al. (2016), ao avaliarem o desempenho de cinco cultivares de alface crespa, onde constaram diferença significativa entre as cultivares, sendo que as melhores cultivares alcançaram média de 26 cm planta-1. Esses resultados ratificam que para o cultivo de alface nas condições climáticas e de manejo do presente estudo, a dose sugerida acima, atende as necessidades e proporciona uma altura ideal para a cultura.

Em contrapartida, Assunção; Sousa; Mota (2023), em estudos com diferentes cultivares de alface, constaram que a média de altura foi de 20,99 cm planta-1, valor um pouco abaixo do alcançado pela dose máxima sugere no presente estudo, porém considerado bom para a cultura.

Uma administração de valores superiores a essa dosagem, proporciona plantas de menor altura (Figura 4). Isso pode implicar na quantidade de folhas viáveis para consumo, dado que menores caules, tendem a comportar um menor número de folhas.

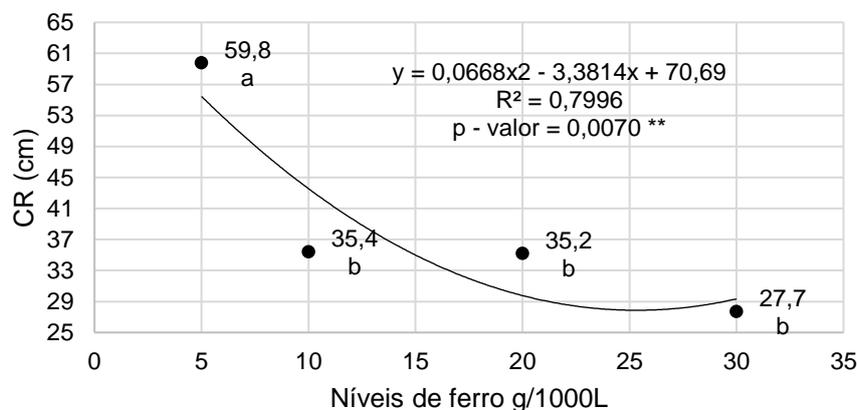
Segundo Dechen e Nachtigall (2006), o Fe é um micronutriente essencial para o crescimento da planta, porém doses elevadas de elemento prejudicam o desenvolvimento

da planta.

A análise de comparação de média, constatou que o tratamento T3 obteve maior média, diferindo estatisticamente dos demais, que por sua vez não diferiram entre si. Esses resultados corroboram com a análise de ajuste de modelo, onde o máximo de altura ocorreu a partir de uma administração máxima de aproximadamente 17 gramas de Fe para 1000 litros de solução.

Para a variável CR, o melhor ajuste de modelo foi um polinomial de grau 2, com aplicabilidade de 79,96% (Figura 5). O ajuste sugere que o comprimento mínimo obtido para esta variável, foi da ordem de 27,89 cm, sendo essa reposta obtida sob a administração de 25,30 gramas para 1000 litros de solução nutritiva.

Figura 5 - Comportamento do comprimento da raiz de alface, submetida a diferentes níveis de Fe, em sistema hidropônico do tipo NFT.



Fonte: Dados da pesquisa, elaborada pelos autores, 2023.

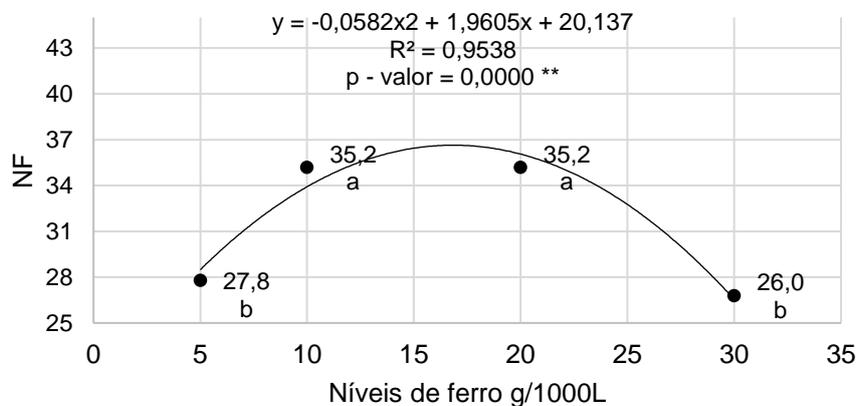
Resultados similares foram encontrados por Souza et al. (2020), comparando diferentes sistemas de cultivo, onde constatou que o sistema hidropônico do tipo NFT (condições desse estudo) foi o que obteve melhor resultado com média de 20,80 cm planta<sup>-1</sup>.

Para valores inferiores a essa dosagem, as plantas tendem a ter um sistema radicular de maior comprimento. (Figura 5). Este dado é explicado pela resposta fisiológica das plantas, quando submetidas a deficiência de nutrientes, fazendo com que desenvolvam mais raízes, como estratégia de aumentar a área de absorção de nutrientes,

esse artifício faz com que a planta demande mais energia para o crescimento do sistema radicular do que para o crescimento da parte aérea, que no caso das hortaliças folhas é a parte de maior interesse comercial. A análise de comparação de média, mostrou que o maior comprimento de raiz foi obtido no tratamento T1, diferendo estatisticamente dos demais tratamentos, que por sua vez não diferiram entre si. Essa análise ratifica o ajuste de modelo descrito acima.

A variável NF em resposta aos diferentes níveis de Fe é explicada com aplicabilidade de 95,38% por meio de um ajuste quadrático de ordem 2 (Figura 6). O ajuste sugere que o máximo peso obtidos para esta variável é em média de 36 folhas, sendo essa reposta obtida sob a administração de aproximadamente 17 gramas para 1000 litros de solução nutritiva.

Figura 6 - Comportamento número de folhas de alface, submetida a diferentes níveis de Fe, em sistema hidropônico do tipo NFT.



Fonte: Dados da pesquisa, elaborada pelos autores, 2023.

Assunção; Sousa; Mota (2023), citam que a alface é uma hortaliça que se consome as folhas, por tanto, a quantidade de folhas presente nessa hortaliça é um fator determinante para o comércio dessa folhosa.

Segundo Filgueira (2008), o consumo da alface é realizado por unidade de planta, e por ser uma hortaliça folhosa, cujo principal produto consumido é as folhas, o consumidor faz sua escolha com base na qualidade e sanidade dessa parte da hortaliça. Corroborando com essa afirmação Diamante et al. (2013), ressalta que o consumidor

prefere plantas mais robustas. Araújo Neto; Ferreira; Pontes, (2009), afirmam que plantas com maior número de folhas, têm maior massa fresca, conseqüentemente são plantas mais robustas e com maior produtividade, logo, essas têm a preferência dos consumidores.

Para valores superiores e/ou inferiores a essa dosagem, as plantas tendem a uma redução no número de folhas (Figura 6). Essa análise corrobora com a variável AP, onde doses superiores a 17g de Fe para 1000 litros de solução, proporcionou uma queda no crescimento da planta, e plantas menores tendem a produzir menos folhas.

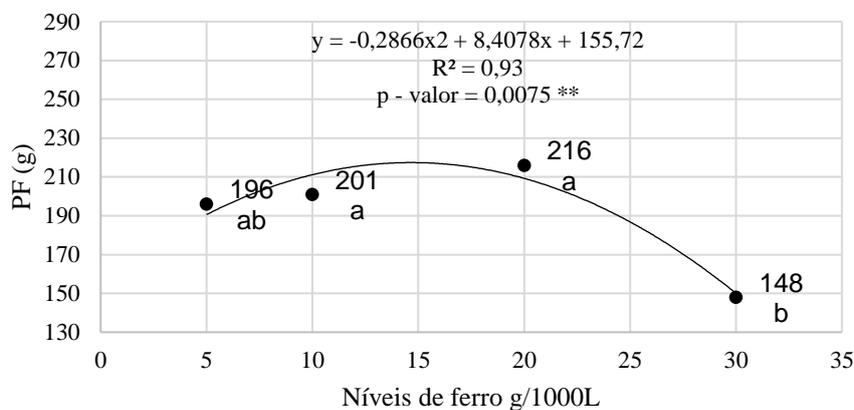
Corroborando com esses resultados Laurett et al., (2017), em seus estudos constaram que nos tratamentos controles as culturas da alface e da rúcula obtiveram média de 41,83 e 21,59 folhas, respectivamente, nos tratamentos controle, com a menor dosagem de Fe, sendo que essa média teve uma redução significativa, à medida que se aumentou as concentrações de Fe na solução nutritiva. Os autores citam que a maior concentração de Fe teve uma redução de 70,48% para a cultura da alface.

Jucoski et al., (2013), obtiveram resultados similares ao estudarem a toxicidade de Fe em pitanga, onde constataram que o aumento na concentração de Fe, resultou em um menor número de folhas para a cultura.

Em termos de comparação de média, os tratamentos T2 e T3 obtiveram os melhores desempenhos, diferendo estatisticamente dos demais, que por sua vez não diferiram entre si. Esse resultado ratifica a o ajuste de modelo encontrado.

Em relação a PF, o melhor ajuste de modelo foi um polinomial de ordem 2, explicado com aplicabilidade de 93%. O cálculo de valor máximo para a equação de ajuste, sugere que o máximo peso das folhas obtidos, é de aproximadamente 217g, sendo essa reposta obtida sob a administração de 14,67 gramas para 1000 litros de solução nutritiva. Para valores superiores e/ou inferiores a essa dosagem, as plantas tendem a uma redução de massa foliar (Figura 7).

Figura 7 - Comportamento do peso das folhas de alface, submetida a diferentes níveis de Fe, em sistema hidropônico do tipo NFT.



Fonte: Dados da pesquisa, elaborada pelos autores, 2023.

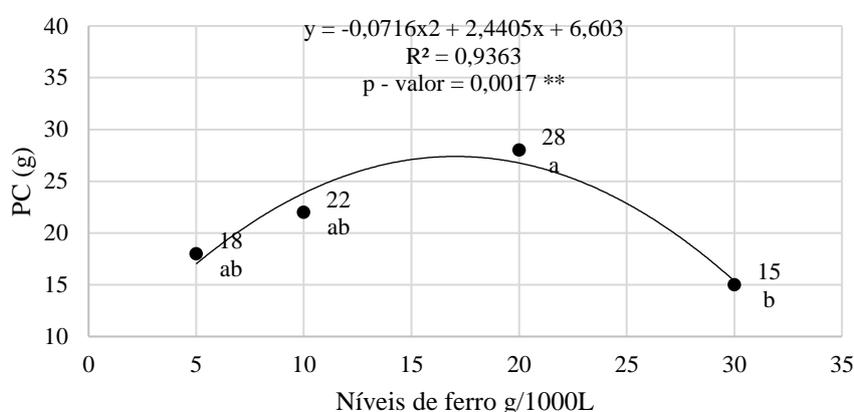
Esses resultados podem ser explicados pelo fato de Fe ser um elemento que é considerado imóvel no tecido vegetal, ficando acumulado nos vacúolos das células e quando há excesso desse micronutriente no tecido vegetal, há um fluxo constante desse metal nos vasos condutores das plantas, o que pode ocasionar redução no crescimento e quantidade de folhas (Peña-Olmos et al. 2014; Zahra et al., 2021).

Silva (2023), ao estudar desempenho e biofortificação de alface hidropônica em função das concentrações de Ferro e Zinco, constatou que 8 mg L<sup>-1</sup> (80g para 1000 litros de solução) de Fe na solução nutritiva, proporcionou uma melhor biofortificação, entretanto, com essa dosagem houve uma redução de 13,3% no crescimento da alface, comprometendo a qualidade comercial do produto. O autor sugere que para termos comerciais e produtivo deve-se utilizar 2 mg L<sup>-1</sup> (20 gramas para 1000 litros de solução), resultado próximo do indicado por essa pesquisa.

Em relação a análise de comparação de média para PF, não houve diferença significativa para os tratamentos T1, T2 e T3. Porém, o tratamento T1 não diferiu estatisticamente do tratamento T4, sendo que esses obtiveram médias inferiores aos demais. Estes resultados corroboram com o modelo de ajuste, onde sugere que o cultivo de alface em sistema hidropônico tem um peso máximo para as folhas, a partir de uma administração média de 15 gramas de Fe para 1000 litros de solução.

Em relação a PC, o melhor ajuste de modelo foi um polinomial de ordem 2, explicado com aplicabilidade de 93,63% (Figura 8). O ajuste sugere que o máximo peso obtidos para esta variável é da ordem de 27,39 gramas, sendo essa reposta obtida sob a administração de aproximadamente 17 gramas para 1000 litros de solução nutritiva.

Figura 8 - Comportamento peso do caule de alface, submetida a diferentes níveis de Fe, em sistema hidropônico do tipo NFT.



Fonte: Dados da pesquisa, elaborada pelos autores, 2023.

Para valores superiores e/ou inferiores a essa dosagem, as plantas tendem a uma redução de massa do caule (Figura 8).

Na análise de comparação de médias não houve diferença significativa nos tratamentos T1, T2 e T3. Porém, os tratamentos de T1 e T2, não diferiram estatisticamente do tratamento T4, sendo que esses obtiverem médias inferiores ao tratamento T3. Esses resultados corroboram com o ajuste de modelo, onde a máxima resposta para essa variável, foi em decorrência de uma administração de aproximadamente 17g de Fe.

#### 4 CONCLUSÕES

Para as condições ambientais e de manejo do presente estudo, a recomendação de 30 gramas de Fe para 1000 litros de solução nutritiva, proposta por Furlani et al., (1999), se mostrou menos eficiente que dosagens inferiores.



Recomenda-se a utilização de 15 gramas de Fe para 1000 litros de solução nutritiva. Essa dosagem obteve desempenho satisfatório em todas as variáveis estudadas, além de reduzir pela metade o custo com esse micronutriente na atividade produtiva.

Para trabalhos futuros, sugere-se a utilização de níveis de Fe variando entre 10 e 25 gramas para 1000 litros de solução. Dado que para todas as variáveis estudadas, as melhores repostas estavam dentro desse intervalo.

### **AGRADECIMENTOS**

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA; Ao Grupo de Pesquisa em Plantas Ornamentais e Hortícolas – GPOH; Ao Grupo de Pesquisa em Gestão Experimentação e Modelagem Aplicada a Biosistemas – GemaBIO.

## REFERÊNCIAS

- ABADIA, J. Iron nutrition In soils and plant. Dordrecht: Kluwer,1995. 153 p.
- ADAMSKI, J. M.; PETERS, J. A.; DANIELOSKI, R.; BACARIN, M. A. Excess ironinduced changes in the photosynthetic characteristics of sweet potato. *Journal of Plant Physiology*, [s.l.], v. 168, n. 17, p. 2056-2062, 2011.
- ARAÚJO NETO, S. E.; FERREIRA, R. L. F.; PONTES, F. S. T. Rentabilidade da produção da orgânica de cultivares de alface com diferentes preparos de solo e ambiente de cultivo. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1362-1368, 2009.
- ASSUNÇÃO, L. G.; SOUZA, L. M. de; MOTO, J. H. Competição de cultivares de alface solta crespa na hidroponia em Jataí-GO. **Tecnia**, v.8, n.1, 2023.
- BARROS, J. A. S.; CAVALCANTE, M. O uso do Mulching no cultivo de alface: uma Revisão de Literatura. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 4, p. 3796-3810, 2021.
- DIAMANTE, M. S.; SANTINO JUNIOR, S.; INAGAKI, A. M.; SILVA, M. B.; DALLACORT, R. Produção e resistência ao pendoamento de alfaces tipo lisa cultivadas sob diferentes ambientes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 133-140, 2013.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. **Micronutrientes**. In: FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 326-354.
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **Além da Salada: alface vai bem no calor do verão**, 2022. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2022/02/22/alem-da-salada-alface-vai-bem-no-calor-do-verao/>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- EVANS, H. J.; SORGER, G. J. Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. **Plant Physiology, Lancaster**, v. 17, p. 47-76, 1966.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de olericultura: cultura e comercialização de hortaliças**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2008
- FURLANI, P.R.; SILVEIRA, L.C-P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIM, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1999. 52p. Boletim Técnico IAC, 180.
- GOMES, C. N.; BORÉM, A. **Alface: do plantio a colheita**. Livraria UFV: Viçosa, 2019. 228
- GOMES JUNIOR, F. de A.; PEREIRA, B. L. da S.; SILVA, MAIRTON, G. da.; SOARES, T. M. Cultivo de alface americana (cv. Tainá) em solução nutritiva com omissão de micronutrientes. v. 38 n. 1 (2019): **INFORME ECONÔMICO (UFPI)**, Ano 21, 2019.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. **Tipos de alface cultivados no Brasil**. Embrapa Hortaliças-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/sobre>. Acesso em: 20 nov. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA –IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. 2 ed. Rio de Janeiro. 2012.

JUCOSKI, G. O.; CAMBRAIA, J.; RIBEIRO, C.; OLIVEIRA, J. A.; PAULA, S. O.; OLIVA, M. A. Impact of iron toxicity on oxidative metabolism in young *Eugenia uniflora* L. plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 35, n. 5, p. 1645-1657, 2013. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-012-1207-4>.

LAURETT, L.; FERNANDES, A. A.; Schmildt, E. R.; ALMEIDA, C. P. de; PINTO, M. L. P. B. Desempenho da alface e da rúcula em diferentes concentrações de ferro na solução nutritiva. *Revista Ciências Agrárias*, [Belém], v. 60, n. 1, p. 45-52, 2017.

KIST, B. B.; BELING, R. R. Anuário brasileiro de horti&fruti 2023. Editora Gazeta: Santa Cruz, 2023. 108 p.

KLEM-MARCINIAK, E.; HUCULAK-MĄCZKA, M. MARECKA, K. HOFFMANN, K.; HOFFMANN, J. Chemical stability of the fertilizer chelates fe-eddha and fe-eddhsa over time. *Molecules*. v. 26, n. 7, 2021.

KOBAYASHI, T.; NOZOYE T.; NISHIZAWA, N. K. Iron transport and its regulation in plants. *Free Radical Biology and Medicine*, v. 133. p11–20, 2019.

LÉLIS, A. da T.; SANTOS, N. B.; MODESTO, R. C.; PEDROSO, A. J. S.; GOMES, M. D. de A.; SENA, W. de L.; DA SILVA, F. L.; DA SILVA, A. L. P. O uso de um sistema hidropônico aplicado na agricultura familiar. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, [S. l.], v. 21, n. 11, p. 18831–18852, 2023.

LIMA, J. C. S.; SOUSA, L. M.; REZENDE, J. M.; YURI, J. E.; MOTA, J. H. **Desempenho de cultivares de alface do grupo crespa em Jataí-GO**. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20, 2016, São José dos Campos. Anais[...]. São José dos Campos: UNIVAP, 2016

LINDSAY, W.L. **Chemical equilibrium in soils**, New York: Wiley, 1979. 449 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Editora Agronômica Ceres, 2006.

MALDONADE, I. R.; MATTOS, L. M; MORETTI, C. L. Manual de boas práticas na produção de alface. Embrapa Hortaliças: Brasília, 2014. 44 p.

MATSUZAKI, R. T. **Quelatos de ferro afetam o crescimento e a produção de rúcula cultivada em sistema hidropônico**. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2013. 65p

MARTINEZ, H. E. P. Manual Prático de Hidroponia. Viçosa:MG. Aprenda fácil editora. 4<sup>a</sup> ed. 52p. 2021.

MOREL, F. M. M.; HERING, J.G. Principles and applications of aquatic chemistry: complexation. NewYork: Wiley, 1993. 588 p.

PEÑA-OLMOS, J. E.; CASIERRA-POSADA, F.; OLMOS-CUBIDES, M. A. The effect of high Fe doses (Fe<sup>2+</sup>) on the growth of broccoli plants (*Brassica oleracea* var. *italica*). **Agronomía Colombiana**, v. 32, n. 1, p. 22–28, 2014.

PESSOA, H. P; JUNIOR, R. Folhosas: Em destaque no cenário nacional. Revista Campo&Negócios. Uberlândia, MG, 2021. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/folhosas-em-destaque-no-cenario-nacional/>. Acesso em: 21 nov. 2023.

ROUT, G. R.; SAHOO, S. Role of Iron in Plant Growth and Metabolism. **Reviews in Agricultural Science**, v. 3, p. 1–24, 2015.

SCHEMES, C. M; SCHEMES, C. M; RODRIGUES, A. D. Prevalência de parasitos em alfaces (*Lactuca sativa*) de supermercados de uma cidade no sul do Brasil. **Revista Saúde-UNG-Ser**, v. 9, n. 3-4, p. 18-24, 2016.

SENA, E. O. L. P.; SENA, W. de L.; MEDEIROS, J. G. S.; MEIRELES, R. de O.; DA SILVA, A. L. P.; LÉLIS, A. da T.; SILVA, B. M. da S.; DE BRITO NETO, J. F. Concentração dos nutrientes e temperatura como fatores limitantes no cultivo hidropônico. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, [S. l.], v. 21, n. 10, p. 15418–15440, 2023.

SENA, W. de L.; LÉLIS, A. da T.; COSTA, G. G.; PALMA, M. C. M. M.; VELOSO, S. V.; MEDEIROS, J. G. S.; DA SILVA, F. L.; DA SILVA, A. L. P. Sistema de produção alternativa de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) com substrato de fibra de coco na Região Amazônica. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, [S. l.], v. 21, n. 10, p. 17113–17124, 2023.

SHI, M.; GU, J.; WU, H.; RAUF, A.; EMRAN, T. B.; KHAN, Z.; MITRA, S.; ALJOHANI, A. S. M.; ALHUMAYDHI, F. A.; AL-AWTHAN, Y. S. Phytochemicals, Nutrition, Metabolism, Bioavailability, and Health Benefits in Lettuce - A Comprehensive Review. **Antioxidants**, v. 11, e. 1158, 2022.

SILVA, M. F. da.; ASSUNÇÃO, C. T. de.; CONDÉ, S. A.; NASCIMENTO, H. R. do.; MOURA, L. de O.; SANTOS, N. E. dos.; DAMIÃO, V. H. B.; ROSMANINHO, L. B. de C. Manejo e tratos culturais na cultura da alface. In: MELO, J. O. F. Ciências Agrárias: Limites e potencialidades em pesquisa. São Paulo: **Científica digital**, 2023. p. (87 - 99).

SILVA, V. B. da. **Crescimento, biofortificação e qualidade de alface hidropônico em função de concentrações de ferro e zinco na solução nutritiva**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2023.

SOUZA, S. V.; ALMEIDA, M. G. de; OLIVEIRA, L. E. do N.; SABBAG, O. J. Análise do crescimento de alface sob diferentes sistemas de cultivo. *Agricultura Familiar: Pesquisa, Formação e Desenvolvimento*, v.14, n. 2, p. 107-120, 2020.

SOUZA, M. da C. M.; RESENDE, L. V.; MENEZES, D.; LOGES, V.; SOUTE, T. A.; SANTOS, V. F. Variabilidade genética para características agronômicas em progênies de alface tolerantes ao calor. *Horticultura Brasileira*, v. 26, p. 354- 358, 2008.

SUPERINTENDENCIA PARA O DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA -SUDAM. **Diagnóstico de recursos naturais da área: Programa Guamá –Acará –Moju**. I. Solos e aptidão agrícolas das terras. Belém: SUDAM/OEA, 1988. 197 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

YURI, J. E.; SOUZA, R. J.; FREITAS, S. A. C.; RODRIGUES JÚNIOR, J. C.; MOTA, J. H. Comportamento de cultivares de alface tipo americana em Boa Esperança. *Horticultura Brasileira*, v. 20, n. 2, p. 229-232, 2002.

VALENTE, M. A.; SILVA, J. M. L. da; RODRIGUES, T. E.; CARVALHO, E. J. M.; ROLIM, P. A. M.; SILVA, E. S.; PEREIRA, I. C. B. **Solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do município de Castanhal, estado do Pará**. Belém. EMBRAPA. 2001.29 p.

ZAHRA, N., HAFEEZ, M. B., SHAUKAT, K., WAHID, A., HASANUZZAMAN, M. Fe toxicity in plants: Impacts and remediation. *Physiologia Plantarum*, v. 173, p. 201–222, 2021.