

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 28/08/2022.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PRODUÇÃO, BIOFORTIFICAÇÃO E QUALIDADE DA
COUVE EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE FERRO NA
SOLUÇÃO NUTRITIVA**

Júlia Karoline Rodrigues das Mercês

Engenheira Agrônoma

2022

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PRODUÇÃO, BIOFORTIFICAÇÃO E QUALIDADE DA
COUVE EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE FERRO NA
SOLUÇÃO NUTRITIVA**

Júlia Karoline Rodrigues das Mercês

Orientador: Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho

Coorientador: Prof. Dr. Rogério Falleiros Carvalho

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

2022

M554p	Mercês, Julia Karoline Rodrigues das Produção, biofortificação e qualidade da couve em função da concentração de ferro na solução nutritiva / Julia Karoline Rodrigues das Mercês. -- Jaboticabal, 2022 40 p. : tabs., fotos Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientador: Arthur Bernardes Cecílio Filho Coorientador: Rogério Falleiros Carvalho 1. Biofortificação agrônômica. 2. Hortaliças. 3. Cultivo sem solo. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: PRODUÇÃO, BIOFORTIFICAÇÃO E QUALIDADE DA COUVE EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE FERRO NA SOLUÇÃO NUTRITIVA

AUTORA: JÚLIA KAROLINE RODRIGUES DAS MERCÊS
ORIENTADOR: ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO
COORIENTADOR: ROGÉRIO FALLEIROS CARVALHO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV - UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. FERNANDO GIOVANNETTI DE MACEDO (Participação Virtual)
Instituto Federal do Mato Grosso do Sul - IFMS / Naviraiz/MS

Pesquisador Dr. ANDERSON FERNANDO RAMISER (Participação Virtual)
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Sanitária Rural de Santa Catarina - EPAGRI / Caçador/SC

Jaboticabal, 28 de fevereiro de 2022

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

JÚLIA KAROLINE RODRIGUES DAS MERCÊS – Nasceu em 22 de março de 1997 em Capitão Poço, Pará, Brasil. Filha de Lúcia Maria Carlos Rodrigues e José Augusto Souza das Mercês. No ano de 2015 ingressou no curso de agronomia na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), câmpus de Capitão Poço – PA. Durante a graduação participou do grupo de pesquisa Estudos da biodiversidade em plantas superiores (EBPS) e no grupo de pesquisa Ação antrópica sobre os recursos naturais em uma bacia hidrográfica no nordeste paraense. Foi bolsista voluntária de iniciação científica (PIVIC-UFRA) na área de fisiologia vegetal. Em fevereiro de 2020 obteve o título de Engenheira Agrônoma e em março do mesmo ano deu início ao curso de mestrado, junto ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) na Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”.

Ao meu avô Benedito Olímpio
das Mercês (*in memoriam*).

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela proteção, força e coragem de enfrentar os obstáculos e momentos difíceis desta fase.

Aos meus pais, Lúcia Maria e José Augusto, por serem meus maiores incentivadores, por todo cuidado e oração nesse momento distante de casa.

Aos meus irmãos e cunhada, que também se fizeram presentes nessa etapa, me dando todo apoio que precisei, acreditando e torcendo sempre por mim.

Aos meus sobrinhos, Helena, Aquiles e Maryela, que são os amores da minha vida e mesmo tão pequenos me fazem querer ser melhor a cada dia.

Aos meus familiares, avós, tios e primos pela oração e torcida.

Ao meu orientador, Arthur Bernardes, pela oportunidade, ensinamentos, disponibilidade em cada etapa dessa fase que foi fundamental para o meu crescimento profissional e pessoal.

Aos amigos do grupo de pesquisa, Beliza Queiroz, Breno Pereira, Maria Medelo, Danilo Passos, Hilário Almeida, Paulo Henrique, Camila Seno, Carolina Seno, pelo acolhimento, experiências compartilhadas e contribuições nos experimentos.

Aos funcionários da horta, Inauro e Reinaldo por toda contribuição na condução deste trabalho.

Aos amigos Maricélio, Juliete, Emanuel, Inácio, Karina, Érica que tornaram essa caminhada mais leve. Thalia por ser tornar uma irmã nessa jornada. Dona Dalva e Patrícia que cuidaram de mim como sua própria neta/filha.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal), pela oportunidade oferecida.

A todos que contribuíram na minha formação.

Meus sinceros agradecimentos

SUMÁRIO**Página**

RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 A cultura da couve	3
2.2 Ferro nas plantas	4
2.3 Ferro na saúde humana	5
2.4 Biorfotificação agronômica com Fe	6
3 MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1 Caracterização e localização da área experimental	8
3.2 Instalação e condução do experimento	8
3.3 Tratamentos e delineamento experimental	8
3.4 Características avaliadas	11
3.5 Análise estatística	12
4 RESULTADOS	14
5 DISCUSSÃO	20
6 CONCLUSÕES	22
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

PRODUÇÃO, BIOFORTIFICAÇÃO E QUALIDADE DA COUVE EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE FERRO NA SOLUÇÃO NUTRITIVA

RESUMO

O ferro (Fe) é um elemento essencial para todos os organismos vivos, pois desempenha papel importante em processos fisiológicos. Em humanos, a deficiência desse nutriente pode causar anemia, patologia que atinge milhões de pessoas. A biofortificação agrônômica de hortaliças é uma estratégia para o aumento da concentração de Fe no alimento e, conseqüentemente, da ingestão do micronutriente pela população. Portanto, o objetivo foi avaliar o efeito de concentrações de Fe na produção, nutrição, qualidade e biofortificação da couve em sistema hidropônico. Cinco concentrações de Fe (2, 4, 6, 8 e 10 mg L⁻¹) foram avaliadas. O aumento na concentração de Fe não afetou a produtividade das plantas, embora tenha causado diminuição na absorção de nutrientes catiônicos. As concentrações de pigmentos fotossintéticos foram influenciados positivamente com o aumento da concentração de Fe na solução nutritiva, enquanto o ácido ascórbico diminuiu. Constatou-se eficiente biofortificação das folhas da couve a partir de 4 mg L⁻¹ Fe e maior qualidade nutricional das folhas com a concentração de 8 mg L⁻¹ Fe de solução.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* var. *acephala*, cultivo sem solo, hidroponia, micronutriente, nutrição mineral.

Yield, biofortification and quality of collard green as a function of iron concentration in nutrient solution

ABSTRACT

Iron (Fe) is an essential element for all living organisms, as it plays an important role in physiological processes. For humans, the deficiency of this nutrient can cause anemia, a pathology that affects millions of people. Agronomic biofortification of vegetables is a strategy to increase the concentration of Fe in the food and, consequently, the micronutrient intake by the population. Therefore, the objective was to evaluate the effect of Fe concentrations on the production, nutrition, quality and biofortification of collard greens in hydroponic systems. Five Fe concentrations (2, 4, 6, 8 and 10 mg L⁻¹ Fe) were evaluated. Increasing Fe concentration did not affect plant yield, although the absorption of cationic nutrients reduced. Photosynthetic pigments concentrations were positively affected by Fe concentrations, while ascorbic acid decreased. There was efficient biofortification of collard green leaves from 4 mg L⁻¹ Fe, and higher nutritional quality of leaves was observed at the concentration of 8 mg L⁻¹ Fe.

Keywords: *Brassica oleracea* var. *acephala*, soilless cultivation, hydroponics, micronutrient, mineral nutrition.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados meteorológicos do período experimental.....	8
Tabela 2. Resumo da análise de variância e do estudo de regressão para massa fresca foliar (MFF), massa seca foliar (MSF) e teor foliar de ferro (Fe) antes da aplicação dos tratamentos.	14
Tabela 3. Resumo da análise de variância e do estudo de regressão para a massa fresca foliar (MFF), massa seca de folhas (MSF) de couve em função de concentrações de ferro na solução nutritiva, nas colheitas aos 14, 28, 42 e 56 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT).	14
Tabela 4. Qualidade da folha de couve em função do efeito da concentração de ferro na solução nutritiva nos teores foliares dos nutrientes, pigmentos e ácido ascórbico aos 14, 28, 42 e 56 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT). Erro! Indicador não definido.	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Muda de couve em espuma fenólica no berçário.....	10
Figura 2. Couve recém transplantada para os canais de crescimento definitivo (A, B) e 44 dias após o transplante (C).	11
Figura 3. Teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na couve em função da concentração de ferro na solução nutritiva aos 14, 28, 42 e 56 dias após aplicação dos tratamentos (DAT)....	15
Figura 4. Teores foliares de ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn) na couve em função da concentração de ferro na solução nutritiva aos 14, 28, 42 e 56 dias após aplicação dos tratamentos (DAT).	16
Figura 5. Teores foliares de clorofila a, clorofila b, clorofila a+b e carotenoides na couve em função da concentração de ferro na solução nutritiva aos 14, 28, 42 e 56 dias após aplicação dos tratamentos (DAT).	17
Figura 6. Teor de ácido ascórbico na couve em função da concentração de ferro na solução nutritiva aos 14, 28, 42 e 56 dias após aplicação dos tratamentos (DAT)....	18

1 INTRODUÇÃO

Com as perspectivas de aumento da população mundial nos próximos anos e o aumento do consumo de alimentos, que demandarão incremento na produção, alguns sistemas de produção estão sendo avaliados como estratégias para promover a agricultura do século XXI (Klem-Marciniak et al., 2021). O cultivo hidropônico das culturas, em especial de hortaliças folhosas, tem ganhado destaque devido às suas vantagens como: maior produtividade, menor ciclo e maior eficiência do uso de água e fertilizantes (Purqueiro et al., 2018).

O grande entrave da utilização dessa técnica ainda é a falta pesquisas relacionadas sobre soluções nutritivas para cada espécie cultivada, pois apresentam diferentes demandas de nutrientes (Furlani et al., 2009). A solução nutritiva recomendada por Furlani et al. (1999) para a cultura da alface é a comumente utilizada para culturas como a rúcula, chicória, couve (Cecílio Filho et al., 2015; Noboa et al., 2019; Silva et al., 2021), mesmo diferindo quanto à exigência nutricional e proporções entre os nutrientes (Trani et al., 2018).

Os nutrientes nas plantas desenvolvem papéis importantes no metabolismo. Em relação ao ferro (Fe), este é necessário para vários processos celulares, como respiração, biossíntese de clorofila e fotossíntese, e serve como cofator para enzimas envolvidas na transferência de elétrons ou oxigênio (Kobayashi et al., 2019).

No organismo humano, o Fe participa na síntese de proteínas transportadoras e armazenadoras de oxigênio, como a hemoglobina e a mioglobina, e de enzimas que são necessárias para reações redox (Bilska-Wilkosz et al., 2017). A deficiência desse nutriente afeta a saúde e bem-estar, principalmente, de crianças e mulheres grávidas, causando comprometimento físico e mental (Poniedzialek et al., 2020). Estima-se que mais de dois bilhões de pessoas no mundo são anêmicas (FAO, 2020), e cerca de 50% dos casos são por deficiência de Fe. No entanto, pode existir a deficiência de ferro sem o desenvolvimento de anemia, o número de pessoas com deficiência de Fe pode chegar a quatro bilhões de pessoas (Machado et al., 2006). A deficiência de Fe é comum devido a ingestão insuficiente e baixa biodisponibilidade do nutriente nos alimentos. Isso é resultante de dietas dominadas por cereais que possuem alto teor calórico e baixo teores de micronutrientes, afetando principalmente a população de baixa renda (Clemens, 2014).

A diversificação alimentar, bem como utilização de técnicas que aumentem os teores dos nutrientes nos vegetais são estratégias promissoras para ajudar na solução fome oculta (Chatterjee et al., 2016). Assim, dentre as formas de aumentar os teores de micronutrientes em vegetais, a biofortificação agrônômica é uma alternativa, pois tem sido eficaz no aumento do teor de nutrientes nas partes comestíveis das plantas (Connorton e Balk, 2019), se tornando uma excelente estratégia para auxiliar no combate à desnutrição da população mundial.

Desenvolver alimentos com maiores teores de nutrientes é um desafio, pois a faixa entre os teores benéficos ao crescimento das plantas, biofortificação dos produtos e toxicidade costumam ser estreitas (Rouphael et al., 2018). Além disso, a escolha da cultura é primordial para o sucesso da biofortificação, pois a aceitação por parte dos consumidores, custo de aquisição e hábitos alimentares são critérios importantes a se considerar (Nutti et al., 2016).

A couve (*Brassica oleracea* var. *acephala*) tem ganhado cada vez mais espaço no mercado brasileiro devido às suas diversas formas de uso na culinária. É uma hortaliça que se destaca em relação a outras folhosas por suas proteínas, carboidratos, fibras, cálcio, ferro, iodo, vitamina A, niacina e vitamina C (Trani et al., 2015). Frente a importância dessa hortaliça na alimentação, ela passa a ser uma opção em programas de biofortificação, embora ainda não tenham sido relatados estudos sobre a biofortificação dessa cultura com Fe.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de concentrações de Fe na produção, nutrição, qualidade e biofortificação da couve em sistema hidropônico.

6 CONCLUSÕES

O aumento da concentração de Fe na solução nutritiva não afeta a produção de folhas da couve.

Houve biofortificação das folhas de couve com Fe em concentração de Fe maior que a padrão utilizada.

A melhor qualidade da folha de couve foi obtida com 8 mg L⁻¹ de Fe na solução nutritiva.

7 REFERÊNCIAS

- Abbaspour N, Hurrell R, Kelishadi R (2014) Review on iron and its importance for human health. **Journal of Research in Medical Sciences** 19:164–174.
- Adamski JM, Peters JA, Danieloski R, Bacarin MA (2011) Excess iron-induced changes in the photosynthetic characteristics of sweet potato. **Journal of Plant Physiology** 168:2056-2062.
- Adiloğlu S (2021) Relation of chelated iron (Eddha-fe) applications with iron accumulation and some plant nutrient elements in basil (*Ocimum basilicum* L.) **Polish Journal of Environmental Studies** 30 (4) 3479-3479.
- Andre CM, Evers D, Ziebel J, Guignard C, Hausman JF, Bonierbale M, Felde TZ, BURGOS G. (2015) In vitro bioaccessibility and bioavailability of iron from potatoes with varying vitamin C, carotenoid, and phenolic concentrations. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 63 (41): 9012-9021.
- Barbosa JC, Maldonado Junior W (2014) AgroEstat - sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos - versão 1.1.0.711. 2014. **Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.**
- Becker M, Asch F (2005) Iron toxicity in rice - Conditions and management concepts. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science** 168:558–573.
- Bilska-Wilkosz A, Iciek M, Górny M, Kowalczyk-Pachel, D (2017) The role of hemoproteins: Hemoglobin, myoglobin and neuroglobin in endogenous thiosulfate production processes. **International Journal of Molecular Sciences** 18: 1-10.
- Bin L M, Weng L, Bugter M H J (2016) Effectiveness of FeEDDHA, FeEDDHMA, and FeHBED in Preventing Iron-Deficiency Chlorosis in Soybean. **J. Agric. Food Chem** 64: 8273–8281
- Bortolini GA, Fisberg M (2010) Nutritional guidelines for patients with iron deficiency. **Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia** 32:105–113.
- Briat JF, Dubos C, Gaymard F (2015) Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. **Trends in Plant Science** 20:33–40.
- Buturi CV, Mauri RP, Fogliano V, Leonardi C, Giuffrida F (2021) Mineral Biofortification of Vegetables as a Tool to Improve Human Diet. **Foods** 223:1 – 23.
- Carrasco-Gil S, Rios JJ, Álvarez-Fernández A, Abadía A, García-Mina JM, Abadía J (2016) Effects of individual and combined metal foliar fertilisers on iron- and manganese-deficient *Solanum lycopersicum* plants. **Plant and Soil** 402: 409–410
- Cecílio Filho AB, Cortez JWM, Sordi D, Urrestarazu M (2015) Common Chicory Performance as Influenced by Iron Concentration in the Nutrient Solution. **Journal of Plant Nutrition** 38 (10) 1489-1494.
- Chatterjee R, Chowdhury RS, Dukpa P, Rhirumdasu RK (2016) Iron Fortification in Leafy Vegetables: Present Status and Future Possibilities. **Innovare Journal of Agricultural Sciences** 4:1–3.

Chatterjee C, Gopal R, Dube BK (2006) Impact of iron stress on biomass, yield, metabolism and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Scientia Horticulturae** 108:1-6.

Clemens S (2014) Zn and Fe biofortification: The right chemical environment for human bioavailability. **Plant Science** 225:52-57.

Connorton JM, Balk J (2019) Iron Biofortification of Staple Crops: Lessons and Challenges in Plant Genetics. **Plant and Cell Physiology** 60:1447–1456.

Connorton JM, Balk J, Rodríguez-Celma J (2017) Iron homeostasis in plants - a brief overview. **Metallomics** 9: 813-82

Di Gioia F, Petropoulos SA, Ozores-Hampton M, Morgan K, Roskopf EN (2019) Zinc and iron agronomic biofortification of Brassicaceae microgreens. **Agronomy** 9(11):677.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020) **The State of Food and Agriculture 2020**. FAO:Roma.

Figueira FAR (2013) Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção de hortaliças. Editora UFV: Viçosa, p.412.

Furlani, P R (1999) Instrução para o cultivo de hortaliça de folha pela técnica de hidroponia - NFT. **Campinas: Instituto Agrônomo** 30p. (Documentos IAC, 168).

FURLANI, P.R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 2 - Solução Nutritiva. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/hidroponiap2/index.htm>. Acesso em: 19/4/2022

Ghasemi-Fasaei R, Ronaghi A (2008) Interaction of iron with copper, zinc, and manganese in wheat as affected by iron and manganese in a calcareous soil. **Journal of Plant Nutrition** 31:839–848.

Giordano M, El-Nakhel C, Pannico A, Kyriacou MC, Stazi SR, De Pascale S, Roupheal Y (2019) Iron Biofortification of Red and Green Pigmented Lettuce in Closed Soilless Cultivation Impacts Crop Performance and Modulates Mineral and Bioactive Composition. **Agronomy** 9(6):290.

Gürkan M, Adiloğlu S (2021) Increasing concentrations of iron fertilizer affect antibacterial activity of basil (*Ocimum basilicum* L.). **Industrial Crops and Products** 170:1-6.

Hurrell R, Egli I (2010) Iron bioavailability and dietary reference values American **The American Journal of Clinical Nutrition** 91:1461-1467.

Islam MZ, Park BJ, Kang HM, Lee YT (2020) Influence of selenium biofortification on the bioactive compounds and antioxidant activity of wheat microgreen extract. **Food Chemistry** 309:125763.

Jucoski G O et al. (2016) Excess iron on growth and mineral composition in Eugenia

uniflora L. **Revista Ciencia Agronomica** 47(4): 720–728.

Khan N. et al. (2014) Salinity Tolerance in Plants: Revisiting the Role of Sulfur Metabolites. **Journal of Plant Biochemistry & Physiology**. 02 (01).

Klem-Marciniak E. et al. (2021) Chemical stability of the fertilizer chelates fe-eddha and fe-eddhsa over time. **Molecules**. 26 (7).

Kobayashi T, Nozoye T, Nishizawa N K. (2019) Iron transport and its regulation in plants. **Free Radical Biology and Medicine** 133:11–20.

Korus, A. et al. (2014) Effect of preliminary processing and method of preservation on the content of glucosinolates in kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) leaves. **LWT - Food Science and Technology** 59 (2P1): 1003–1008.

Laurett L, et al. (2017) Desempenho da alface e da rúcula em diferentes concentrações de ferro na solução nutritiva. **Revista Ciências Agrárias** 60: 45–52.

Lee SK, Kader AA (2000) Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology** 20: 207-220.

Lee SR, Oh MM, Park SA (2016) Ferric-chelate reductase activity is a limiting factor in iron uptake in spinach and kale roots. **Horticulture Environment and Biotechnology** 57:462–469.

Lichtenthaler HK (1987) **Methods in enzymology**, 148: 350.

Liberal Â, Pinela J, Vívar-Quintana AM, Ferreira ICFR, Barros L (2020) Fighting Iron-Deficiency Anemia: Innovations in Food Fortificants and Biofortification Strategies. **Foods** 15:1871.

Luengo RFA, Butruille NMS, Melo RAC, da Silva J, Moldonade IR, Costa Júnior AD (2018) Determinação de minerais no solo e análise de folhas de couve produzida em Brasília. **Brazilian Journal of Food Technology** 21:e2017141.

Machado FMVF, Caniatti-Brazaca SG, Piedade SMS (2006) Avaliação da disponibilidade de ferro em ovo, cenoura e couve e em suas misturas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** 26:610–618.

Marschner P, Crowley D, Rengel Z (2011) Rhizosphere interactions between microorganisms and plants govern iron and phosphorus acquisition along the root axis - model and research methods. **Soil Biology and Biochemistry** 43:883-894.

Miyzawa M, Pavan MA, Muraoka T, Carmo CAFS, Melo WJ (2009) Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, v.2, cap 1, parte 2. 107-184.

Monteiro HP, Winterbourn CC (1988) The superoxide - dependant transfer of iron from ferritin to transferring and lactoferrin. **Biochem. J** 256:923-928

M R, Sala FC (2019) Produção hidropônica e análise sensorial de couve-de-folhas na forma de maço de plantas jovens. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente** 9:1-9.

Novo MCSS, Prela-Pantano A, Trani PE, Blat SF (2010) Desenvolvimento e produção de genótipos de couve manteiga. **Horticultura Brasileira** 28:321–325.

Nutti MR, Carvalho JLV, Rodrigues PSM (2016) O progresso das ações de biofortificação do Brasil. **Boletim Informativo da SBSC** 42:24–27.

Oliveira-Calheiros K, Canniatti-Brazaca SG, Souza M C. Avaliação da disponibilidade do ferro em dieta complementada com couve manteiga. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, 19(1) : 37–42, 2008.

Poniedzialek B, Perkowska K, Rzymiski P (2020) Food Fortification. What's in it for the malnourished world? In: Benkeblia N. (Ed) **Vitamins and minerals biofortification of edible plants**. UK: Wiley Blackwell 27–44.

Przybysz A, Wrochna M, Malecka-Przybysz M, Gawronska H, Gawronski Sw (2016) Vegetable sprouts enriched with iron: Effects on yield, ROS generation and antioxidative system. **Scientia Horticulturae** 203:110–117.

Purqueiro L F V et al. (2018) Bioeconomia: Promoção da horticultura urbana do século XXI. **Agrônomo**, 70 : 6–19.

Riaz N, Guerinot M. (2021) All together now: regulation of the iron deficiency response. **Journal of Experimental Botany** 72(6) : 2045–2055.

Rouphael Y, Kyriacou MC, Petropoulos SA, Pascale S, Colla G (2018) Improving vegetable quality in controlled environments. **Scientia Horticulturae**, 234:275–289.

Rout GR, Sahoo S (2015) Role of Iron in Plant Growth and Metabolism. **Reviews in Agricultural Science** 3:1–24.

Rugeles-Reyes SM, Cecilio Filho AB, López-Aguilar MA, Silva PHS (2019) Foliar application of zinc in the agronomic biofortification of arugula. **Food Science and Technology**, 39:1011–1017.

SCHMIDT, W. et al. (2020) Editorial: Iron Nutrition and Interactions in Plants. 10.

SILVA PHS et al. (2021) Rocket plants in response to nitrogen concentration in nutrient solution. **Horticultura Brasileira** 39 (3) : 341–345.

Strohecker RL, Henning HM, (1967). **Análisis de Vitaminas: Métodos Comprobados**. Paz Montalvo, Madrid

Tewari RK, Kumar P, Sharma PN (2008) Morphology and physiology of zinc-stressed mulberry plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science** 171:286–294.

Thavarajah D, Thavarajah P, Abare A, Basnagala S, Lacher C, Smith P, Combs GF (2016) Mineral micronutrient and prebiotic carbohydrate profiles of USA-grown kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*). **Journal of Food Composition and Analysis** 52:9–15.

Trani, PE (2015) **Couve de folha: Do plantio à pós-colheita**. IAC: Campinas (Boletim Técnico IAC – 214) 42p.

Trani PE, Purquerio LFV, Figueiredo GJB, Tivelli, SW, Blat SF (2018a) Alface, almeirão, agrião d'água, chicórias, coentro, espinafre e rúcula. In. Trani PE, Raij BV,

Cantarella H, Figueiredo GJB (Eds.) **Hortalças**: recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo. Campinas: CATI, p.23-26 (Boletim técnico, 251)

Vitti MCD, Preczenhak AP, Calaboni C, Kluge RA (2019) Atividade enzimática e conteúdo fenólico em batatas minimamente processadas influenciados pela aplicação de antioxidantes. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha** 20: 1-14.

Welch RM, Graham RD (2004) Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. **Journal of experimental botany** 55:353–364.