



MAÍRA FERREIRA DE MELO ROSSI

**SISTEMAS DE PRODUÇÃO E PORTA-ENXERTOS NA
PRODUÇÃO DE MUDAS DE TANGERINEIRA ‘PONKAN’**

**LAVRAS – MG
2024**

MAÍRA FERREIRA DE MELO ROSSI

**SISTEMAS DE PRODUÇÃO E PORTA-ENXERTOS NA PRODUÇÃO DE MUDAS
DE TANGERINEIRA ‘PONKAN’**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof (a). Dra. Leila Aparecida Salles Pio
Orientadora

Prof (a). Dra. Ana Claudia Costa Baratti
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2024**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Rossi, Maíra Ferreira de Melo.

Sistemas de produção e porta-enxertos na produção de mudas de tangerineira 'Ponkan' / Maíra Ferreira de Melo Rossi. - 2024.

110 p.

Orientador(a): Leila Aparecida Salles Pio.

Coorientador(a): Ana Claudia Costa Baratti.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Citrus. 2. hidroponia. 3. propagação. I. Pio, Leila Aparecida Salles. II. Baratti, Ana Claudia Costa. III. Título.

MAÍRA FERREIRA DE MELO ROSSI

**SISTEMAS DE PRODUÇÃO E PORTA-ENXERTOS NA PRODUÇÃO DE MUDAS
DE TANGERINEIRA 'PONKAN'**

**PRODUCTION SYSTEMS AND ROOTSTOCKS IN THE PRODUCTION OF
'PONKAN' MANDARIN SEEDLINGS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 29 de agosto de 2024.

Dra. Ana Claudia Costa Baratti UFLA

Dra. Elisângela Aparecida da Silva UEMG

Dra. Ester Alice Ferreira EPAMIG

Dr. José Carlos Moraes Rufini UFSJ

Prof (a). Dra. Leila Aparecida Salles Pio
Orientadora

Prof (a). Dra. Ana Claudia Costa Baratti
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2024**

À minha tia Nélide Rossi Fernandes (in memoriam).

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças para enfrentar os desafios e conseguir cumprir as tarefas que me foram propostas.

À minha família, em especial aos meus pais, Sérgio Luiz Rossi e Silvana Aparecida Ferreira de Melo Rossi e meu irmão Thales Pedro Ferreira de Melo Rossi, que me apoiaram durante esta jornada.

À Universidade Federal de Lavras, que me concedeu a oportunidade de realizar a pós-graduação. Ao Departamento de Agricultura (DAG), à Escola de Ciências Agrárias de Lavras (ESAL) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia.

À orientadora Prof.^a Dra. Leila Aparecida Salles Pio por todos os ensinamentos, pela amizade e compreensão. À coorientadora Prof.^a Dra. Ana Claudia Costa Baratti por todo empenho e dedicação, orientações, conselhos e companheirismo.

Aos colegas, professores e funcionários do Setor de Fruticultura por toda a ajuda e participação fundamental no desenvolvimento deste trabalho, por compartilharem comigo suas experiências e me auxiliarem a crescer profissionalmente. Aos funcionários, técnicos e terceirizados e à Prof.^a Dra. Michele Valquíria dos Reis, responsável pelo Setor de Plantas Ornamentais Horto Botânico, onde parte deste trabalho foi realizado, por todo apoio e parceria.

Aos professores do Setor de Fisiologia Vegetal, Vitor de Laia Nascimento e Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori, por todo auxílio e orientações sobre as análises fisiológicas. Às pós-graduandas Indira e Beatriz, que auxiliaram nas análises fisiológicas. Ao professor Sergio Henrique Godinho Silva e às técnicas do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Ciências do Solo, onde foram realizadas as análises por ICP-OES e pXRF.

Ao Prof. Dr. Tales Jesus Fernandes, pelo auxílio nas análises estatísticas. Aos demais professores da Universidade Federal de Lavras que durante esses três anos possibilitaram que este trabalho fosse realizado e transmitiram seus conhecimentos e experiências.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram de alguma forma para realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos e minha eterna gratidão!

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

RESUMO

A produção de mudas sadias e vigorosas é essencial para a sustentabilidade e produtividade da citricultura. O aperfeiçoamento do sistema de produção pode permitir melhor qualidade das mudas a serem comercializadas. Uma alternativa para a produção de mudas de citros é o uso do sistema hidropônico em ambiente controlado, que pode promover economia de recursos e melhorar a qualidade das mudas, devido ao contato contínuo das raízes com a solução nutritiva. A qualidade da muda depende também dos porta-enxertos utilizados, visto que eles interferem em diversas características da combinação escolhida, como o porte da planta, produtividade esperada, qualidade dos frutos, além de uma série de reações à fatores bióticos e abióticos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ sobre diferentes porta-enxertos no sistema convencional e hidropônico. Assim, foram instalados dois experimentos, nos quais os tratamentos constituíram das variedades porta-enxerto: citrumeleiro ‘Swingle’, limoeiro ‘Cravo’, trifoliateiros ‘Limeira’ e ‘Rubidoux’, e citrandarineiro ‘Índio’. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com cinco tratamentos, quatro blocos e 18 plantas por parcela. Foram avaliadas as características de crescimento como altura, diâmetro, número de folhas, comprimento e volume de raízes e massa seca dos porta-enxertos e das mudas após a enxertia. Foram também analisados teores foliares de nutrientes por dois métodos distintos (espectroscopia de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado e equipamento portátil de fluorescência de raios-X) e parâmetros fisiológicos por meio da fluorescência da clorofila, medição das trocas gasosas e área foliar. Os resultados indicaram que, para altura e número de folhas, as mudas no sistema convencional apresentaram desempenho superior. Os porta-enxertos citrumeleiro ‘Swingle’, limoeiro ‘Cravo’ e citrandarineiro ‘Índio’ proporcionaram maior crescimento em ambos os sistemas, com o sistema convencional favorecendo o crescimento das mudas. As concentrações de nutrientes foliares foram maiores no cultivo hidropônico na fase de porta-enxertos enquanto o sistema convencional apresentou maiores teores nutricionais nas mudas enxertadas. Observou-se que o sistema hidropônico promoveu maiores coeficientes de dissipação fotoquímica, especialmente para mudas enxertadas em citrumeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’. A área foliar e o conteúdo de clorofila não diferiram significativamente entre os porta-enxertos, com exceção dos trifoliateiros. O sistema hidropônico mostrou-se uma alternativa promissora para a produção de mudas de citros, entretanto, o sistema convencional propiciou maior crescimento das mudas cítricas independente do porta-enxerto utilizado.

Palavras-chave: *Citrus*; cultivo sem solo; hidroponia; propagação.

ABSTRACT

The production of healthy and vigorous seedlings is essential for the sustainability and productivity of citrus orchards. Improving the production system can lead to better quality seedlings for commercialization. An alternative for citrus seedling production is the use of the hydroponic system in a controlled environment, which can promote resource savings and improve seedling quality due to the continuous contact of the roots with the nutrient solution. The quality of seedlings also depends on the rootstocks used, as they influence various characteristics of the chosen combination, such as plant size, expected productivity, fruit quality, and a range of responses to biotic and abiotic factors. The aim of this study was to evaluate the production of 'Ponkan' mandarin seedlings on different rootstocks in conventional and hydroponic systems. Therefore, two experiments were set up, in which the treatments consisted of the following rootstock varieties: 'Swingle' citrumelo, 'Rangpur' lime, 'Limeira' and 'Rubidoux' trifoliolate, and 'Índio' citrandarin. The experimental design was randomized blocks, with five treatments, four blocks, and 18 plants per plot. Growth characteristics such as height, diameter, number of leaves, root length and volume, and dry mass of the rootstocks and seedlings after grafting were evaluated. Leaf nutrient contents were also analyzed by two different methods (inductively coupled plasma optical emission spectroscopy and portable X-ray fluorescence equipment) and physiological parameters through chlorophyll fluorescence, gas exchange measurements, and leaf area. The results indicated that, for height and number of leaves, the seedlings in the conventional system performed better. The 'Swingle' citrumelo, 'Rangpur' lime, and 'Índio' citrandarin rootstocks provided greater growth in both systems, with the conventional system favoring seedling growth. Leaf nutrient concentrations were higher in hydroponic cultivation during the rootstock phase, while the conventional system showed higher nutrient contents in the grafted seedlings. It was observed that the hydroponic system promoted higher photochemical dissipation coefficients, especially for seedlings grafted onto 'Swingle' citrumelo and 'Rangpur' lime. Leaf area and chlorophyll content did not differ significantly among rootstocks, except for the trifoliolate varieties. The hydroponic system proved to be a promising alternative for citrus seedling production; however, the conventional system provided greater growth for citrus seedlings regardless of the rootstock used.

Keywords: *Citrus*; soilless cultivation; hydroponics; propagation.

INDICADORES DE IMPACTO

A muda de qualidade é um dos principais insumos necessários na instalação de um pomar de citros. Uma alternativa ao sistema convencional de produção de mudas, que utiliza recipientes e substratos, é o cultivo hidropônico, proposto neste estudo, consiste em um meio viável de produção de mudas que agrega inovação, por meio da agricultura de precisão e controle ambiental, no qual as mudas são dispostas em piscinas contendo solução nutritiva. As tecnologias para a produção de mudas livres de pragas e doenças, produzidas em condições fitossanitárias ideais constituem uma crescente exigência na citricultura. O estudo e aperfeiçoamento da produção de mudas cítricas em sistema hidropônico, possibilita aos produtores economia e melhor uso de recursos finitos, como a água. A escolha adequada do porta-enxerto é um fator determinante na qualidade da muda, pois constitui o sistema radicular, influenciando assim em uma série de características, como o porte da planta, a produtividade e a qualidade dos frutos. Dessa forma, este estudo propõe um método de cultivo que visa preservar o meio ambiente e seus recursos naturais, além de otimizar o uso de insumos, especialmente de fertilizantes. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ nos sistemas convencional e hidropônico, além de avaliar o uso de diferentes porta-enxertos nessas condições de cultivo. Assim, foram instalados dois experimentos, nos quais os tratamentos constituíram das variedades porta-enxerto: citrumeleiro ‘Swingle’, limoeiro ‘Cravo’, trifoliateiros ‘Limeira’ e ‘Rubidoux’, e citrandarineiro ‘Índio’. Foram avaliadas características de crescimento dos porta-enxertos e das mudas. Foram também analisados os teores foliares de nutrientes e parâmetros fisiológicos. Para as características de crescimento, o sistema convencional apresentou desempenho superior. Os porta-enxertos citrumeleiro ‘Swingle’, limoeiro ‘Cravo’ e citrandarineiro ‘Índio’ proporcionaram maior crescimento em ambos os sistemas. Maiores concentrações de nutrientes foliares foram verificadas no cultivo hidropônico na fase de porta-enxertos, enquanto o sistema convencional atingiu maiores teores nutricionais nas mudas enxertadas. O sistema hidropônico de cultivo promoveu maiores coeficientes de dissipação fotoquímica. As análises fisiológicas evidenciaram que independentemente do sistema de produção utilizado, foram atingidos parâmetros fotossintéticos adequados. Assim, o sistema hidropônico mostrou-se como uma alternativa promissora para a formação de mudas cítricas.

IMPACT INDICATORS

High-quality seedlings are one of the main inputs necessary for establishing a citrus orchard. Na alternative to the conventional seedling production system, which uses containers and substrates, is the hydroponic cultivation method proposed in this study. This method provides a viable means of seedling production by incorporating precision agriculture and environmental control, where seedlings are placed in pools containing a nutrient solution. Technologies for producing pest and disease-free seedlings in ideal phytosanitary conditions are increasingly required in citrus cultivation. Studying and improving citrus seedling production in a hydroponic system enables producers to save and better use finite resources, such as water. The appropriate choice of rootstock is a determining factor in seedling quality, as it forms the root system, thereby influencing several characteristics such as plant size, productivity, and fruit quality. Therefore, this study proposes a cultivation method aimed at preserving the environment and its natural resources, as well as optimizing input use, especially fertilizers. The objective of this work was to evaluate ‘Ponkan’ mandarin seedling production in conventional and hydroponic systems, as well as to assess the use of different

rootstocks under these cultivation conditions. Thus, two experiments were set up, in which the treatments comprised the following rootstock varieties: 'Swingle' citrumelo, 'Rangpur' lime, 'Limeira' and 'Rubidoux' trifoliates, and 'Índio' citrandarin. Growth characteristics of the rootstocks and seedlings were evaluated. Leaf nutrient levels and physiological parameters were also analyzed. For growth characteristics, the conventional system showed superior performance, The rootstocks 'Swingle' citrumelo, 'Rangpur' lime, and 'Índio' citrandarin promoted greater growth in both systems. Higher foliar nutrient concentrations were observed in the hydroponic cultivation during the rootstock phase, while the conventional system achieved higher nutritional levels in grafted seedlings. The hydroponic cultivation system promoted higher photochemical dissipation coefficients. Physiological analyses showed that, regardless of the production system used, adequate photosynthetic parameters were achieved. Thus, the hydroponic system proved to be a promising alternative for citrus seedling formation.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	12
1 INTRODUÇÃO GERAL	12
REFERÊNCIAS	15
SEGUNDA PARTE	17
ARTIGO 1 – Crescimento de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ sobre diferentes porta-enxertos em cultivo convencional e hidropônico	17
1 INTRODUÇÃO	18
2 MATERIAL E MÉTODOS	20
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4 CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	37
ARTIGO 2 – Nutrição mineral e espectrometria de fluorescência de raios-X em mudas de tangerineira ‘Ponkan’ enxertadas em diferentes porta-enxertos e cultivadas em sistema hidropônico e convencional	45
1 Introdução	47
2 Material e Métodos	50
3 Resultados e Discussão	54
4 Conclusão	71
Referências	72
ARTIGO 3 – Análises fisiológicas de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ sobre diferentes porta-enxertos em cultivo convencional e hidropônico	80
1 INTRODUÇÃO	82
2 MATERIAL E MÉTODOS	84
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	89
4 CONCLUSÃO	102
REFERÊNCIAS	103

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO GERAL

A citricultura brasileira tem grande importância mundial, principalmente na produção de laranjas e exportação de suco concentrado, sendo o Brasil responsável por 21,5% de toda a produção mundial, com cerca de 16,2 milhões de toneladas em 2021 (FAO, 2023). Na produção de tangerinas, o Brasil ocupa a sétima posição no ranking mundial com os estados de São Paulo e Minas Gerais destacando-se pelas maiores produções (Pacheco *et al.*, 2023; IBGE, 2023). Em Minas Gerais prevalece o plantio da tangerina ‘Ponkan’, variedade mais consumida em território nacional e preferida pelos consumidores brasileiros (Silva; Landau, 2020).

A produção das mudas comerciais de citros utiliza a técnica da enxertia, que se comparada à produção a partir de sementes, apresenta diversas vantagens como a redução do período juvenil, uniformidade das plantas e a produção de árvores mais compactas que facilitam o manejo e a colheita. Além disso, a enxertia permite a união de dois materiais genéticos distintos (copa e porta-enxerto) propiciando melhor adaptação das plantas em condições específicas de cultivo (Carvalho *et al.*, 2019). O enxerto, cultivar copa, também pode ser denominado de epibioto, e o porta-enxerto definido como hipobioto. A união hipobioto e epibioto forma o dibioto (Rozane *et al.*, 2013).

Para garantir altas produtividades e qualidade de frutos é importante a produção de mudas sadias e vigorosas para a formação dos pomares, o que pode acelerar o crescimento a campo, sendo essa uma das medidas preconizadas pelo Fundo de Defesa da Citricultura (FUNDECITRUS) para o manejo de doenças importantes da citricultura como greening (Huanglongbing) (FUNDECITRUS, 2023). A qualidade das mudas também depende das características genéticas da combinação copa e porta-enxerto, que são determinantes no vigor e podem influenciar na absorção de nutrientes, na produtividade e resistência a doenças, pragas e condições de estresse (Rodrigues *et al.*, 2023).

O sucesso na atividade citrícola depende, entre outros fatores, da escolha adequada de variedades de copa e porta-enxerto, que viabilizam a formação de um pomar produtivo e sustentável. As características dessas variedades determinam a qualidade e a época de produção dos frutos, assim como o tamanho das plantas e suas respostas a estresses. Nesse contexto, o desenvolvimento de novos porta-enxertos tolerantes a fatores climáticos e doenças possibilita a instalação de pomares mais produtivos (Girardi *et al.*, 2021).

Entre os principais porta-enxertos utilizados está o limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck), devido ao seu alto vigor, produtividade, precocidade e tolerância ao déficit hídrico (Oliveira *et al.*, 2024), porém, é suscetível à gomose, à morte súbita dos citros e ao declínio, o que levou os produtores a buscarem por outros porta-enxertos (Malikouski *et al.*, 2022). Atualmente, o mais utilizado nos viveiros do estado de São Paulo é citrumeleiro ‘Swingle’ [*Citrus* × *paradisi* Macfad. × *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] (Girardi *et al.*, 2021). Esse porta-enxerto é tolerante ao vírus da tristeza, à exocorte e à morte súbita, contudo é intolerante à seca e incompatível com a cultivar laranjeira ‘Pera’ (Siqueira; Salomão, 2017; Oliveira *et al.*, 2024).

Híbridos superiores provenientes de cruzamentos tem sido propostos como novas opções de porta-enxertos, entre eles o citrandarin ‘Índio’ que reúne características como menor suscetibilidade à morte súbita e aos vírus da exocorte e da tristeza (Buffon *et al.*, 2021). Entre os novos porta-enxertos utilizados na citricultura hoje em dia estão também seleções de trifoliata. *Poncirus trifoliata* ‘Rubidoux’ proporciona maior produção de frutos e maiores teores de sólidos solúveis e *P. trifoliata* ‘Limeira’ é tolerante à gomose e ao nematoide *Tylenchulus semipenetrans* além de possibilitar a produção de frutos de excelente qualidade. Porém, estes porta-enxertos são suscetíveis ao declínio dos citros, pouco tolerantes à seca e incompatíveis com algumas das principais copas utilizadas no Brasil, como a laranjeira ‘Pera’ (Pompeu Júnior; Blumer, 2006). Assim, foram escolhidos estes porta-enxertos para que fosse avaliada a influência de suas características na copa tangerineira ‘Ponkan’, além de seu comportamento em diferentes sistemas de produção de mudas, hidropônico e convencional.

A legislação nacional exige a produção de mudas cítricas dentro de viveiros protegidos, revestidos com telas antiáfideo, para garantir a sanidade para patógenos sistêmicos e segue as normas de produção e comercialização de material de propagação de citros descritas na Instrução Normativa n. 48 de 24 de setembro de 2013 (MAPA, 2013). Nesses espaços é possível o emprego de tecnologias que podem otimizar o uso do espaço e da água de forma eficiente para aumentar o número de mudas produzidas e melhorar a qualidade. Dessa forma, os sistemas hidropônicos podem ser uma alternativa para a produção das mudas cítricas, porém, este assunto carece de maiores estudos (Agrawal *et al.*, 2020).

Essa tecnologia vem sendo utilizada para diversas culturas, com relativo sucesso, na produção de mudas florestais e hortícolas, além de maracujazeiro, pereira, pessegueiro e plantas ornamentais, mostrando assim a viabilidade dos sistemas hidropônicos para a produção de mudas frutíferas (Gomes *et al.*, 2019), pois o sistema reúne vantagens como

maior controle do ambiente proporcionando, assim, mudas de alta qualidade (Gomes *et al.*, 2021).

Contudo, são necessárias análises das características morfológicas, como avaliação do crescimento das plantas, além dos parâmetros fisiológicos e nutricionais, por meio dos teores foliares, das mudas produzidas nesse sistema de cultivo, para que sejam formadas mudas de qualidade, aptas para o plantio no campo.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, os teores foliares de nutrientes e os parâmetros fisiológicos de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ nos sistemas de produção convencional e hidropônico utilizando cinco diferentes porta-enxertos.

REFERÊNCIAS

- AGRAWAL, R. K. et al. Hydroponic systems for cultivation of horticultural crops: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 9, n. 6, p. 2083-2086, 2020. <https://www.phytojournal.com/archives?year=2020&vol=9&issue=6&ArticleId=13271>
- BUFFON, Stanley Bravo *et al.* Initial production and fruit quality of fifty-seven sweet orange varieties on four rootstocks in Southern state of Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, p. e-765, 2021. <https://doi.org/10.1590/0100-29452021765>
- CARVALHO, Sérgio Alves de *et al.* Advances in citrus propagation in Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, p. e-422, 2019. <https://doi.org/10.1590/0100-29452019422>
- FAO. Faostat Rome, **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2023. Disponível em: < <https://www.fao.org/faostat/en/#data> >. Acesso em: 10 jun. 2023.
- FUNDECITRUS, Fundo de Defesa da Citricultura. Ayres, A. J. et al. Perguntas e respostas sobre o manejo do Greening. 1 ed. Araraquara: SP, 2023. https://www.fundecitrus.com.br/comunicacao/manual_detalhes/perguntas-e-respostas-sobre-o-manejo-do-greening/106
- GIRARDI, Eduardo Augusto *et al.* Guia de reconhecimento dos citros em campo: um guia prático para o reconhecimento em campo de variedades de laranja-doce e outras espécies de citros cultivadas no estado de São Paulo e Triângulo Mineiro. **Fundecitrus**, 158 p., 2021. Disponível em: https://www.fundecitrus.com.br/comunicacao/manual_detalhes/guia-dereconhecimento-dos-citros-em-campo/91 >.
- GOMES, Wiara de Assis *et al.* Leading systems and viability of citric buds in hydroponics. **Revista Caatinga**, v. 32, p. 364-369, 2019. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n209rc>
- GOMES, Wiara de Assis *et al.* Produção de porta-enxertos cítricos em hidroponia: production of citrus rootstocks in hydroponic system. **Revista de Ciências da Saúde Nova Esperança**, v. 19, n. 3, p. 155-166, 2021. <http://revistanovaesperanca.com.br/index.php/revistane/article/view/654>
- IBGE. Produção agrícola municipal 2022. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2023.
- MALIKOUSKI, Renan Garcia *et al.* Genotypic diversity and genetic parameters of 'Tahiti' acid lime using different rootstocks. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 58, p. e02768, 2022. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2023.v58.02768>
- MAPA. Instrução Normativa nº48 de 24/09/2013. Decreto nº 5.153, de 23 de julho de 2004, nas Instruções Normativas nº 09, de 2 de junho de 2005, nº 24, de 16 de dezembro de 2005 e nº 48, de 24 de setembro de 2013 e o que consta do Processo nº 21000.005235/2012-18. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2013.
- OLIVEIRA, Vinicius de Souza *et al.* Productive performance of sweet orange trees on different rootstocks, in the Extreme South of the State of Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 46, p. e-737, 2024. <https://doi.org/10.1590/0100-29452024737>

PACHECO, Camilla de Andrade *et al.* Postharvest longevity of Fremont IAC 543 mandarin. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 45, p. e-801, 2023. <https://doi.org/10.1590/0100-29452023801>

POMPEU JÚNIOR, Jorgino; BLUMER, Silvia. Trifoliolate rootstocks for Valencia sweet orange trees. **Citrus R & T**, v. 27, n. 2, p. 287-295, 2006. <https://www.citrusrt.ccsm.br/article/5e57d44a0e8825b6765d5a14>

RODRIGUES, Maria Gabriela Fontanetti *et al.* Global methylation in ‘Valencia’ orange seedlings associated with rootstocks and Huanglongbing. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e277679, 2023. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.277679>

ROZANE, Danilo Eduardo; PRADO, Renato de Mello ; NATALE, William ; ROMUALDO, Liliane Maria; FRANCO, Claudenir Facincani. Caracterização biométrica e acúmulo de nutrientes em porta-enxertos de caramboleira cultivada em solução nutritiva. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, e 3, p. 426–436, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000300003>

SILVA, Gilma; LANDAU, Elena. Evolução da produção de tangerina (*Citrus reticulata*, Rutaceae). *In*: LANDAU, E. C.; SILVA, G. A. da; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARAES, D. P. (ed.). Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: produtos de origem vegetal. **Embrapa**, v. 2, p. 1273-1300, 2020. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/214977/1/Cap39-EvolucaoProducaoTangerina.pdf> >.

SIQUEIRA, D. L.; SALOMÃO, L. C. C. Citros: do plantio à colheita. **Editores UFV**, 278 p., 2017.

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1 – Crescimento de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ sobre diferentes porta-enxertos em cultivo convencional e hidropônico

ROSSI, Máira Ferreira de Melo. Produção de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ sobre diferentes porta-enxertos em cultivo convencional e hidropônico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 2024. (versão preliminar)

Resumo

A produção de mudas saudáveis e vigorosas é essencial para a sustentabilidade da citricultura. Nesse sentido, o aprimoramento das técnicas de produção de mudas em ambiente protegido favorece a formação de mudas de alta qualidade, condizentes com as exigências do mercado. Dessa forma, uma alternativa promissora é o cultivo hidropônico de mudas pois este sistema pode promover maior precisão e controle ambiental. Outro fator importante a ser considerado, é a escolha adequada dos porta-enxertos uma vez que eles constituem o sistema radicular da muda e são capazes de influenciar em uma série de reações da combinação escolhida. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ em dois sistemas de produção, cultivo convencional e hidroponia, produzidas sobre cinco porta-enxertos: citromeleiro ‘Swingle’, limoeiro ‘Cravo’, trifoliolares ‘Limeira’ e ‘Rubidoux’ e citrandarino ‘Índio’. Foram avaliados altura, diâmetro, número de folhas, comprimento e volume de raízes, massa seca de folhas, de caule e de raízes e o índice de qualidade de Dickson em porta-enxertos e nas mudas. Para as variáveis altura e número de folhas, os porta-enxertos no sistema convencional atingiram médias maiores do que em hidroponia. Maiores crescimentos de porta-enxertos e mudas de tangerineira ‘Ponkan’ foram obtidos quando se utilizou os porta-enxertos citromeleiro ‘Swingle’, limoeiro ‘Cravo’ e citrandarino ‘Índio’. A altura das mudas não se diferenciou entre os sistemas de produção quando enxertadas sobre trifoliolares, enquanto os demais porta-enxertos proporcionaram às mudas maior estatura no sistema convencional.

Termos para indexação: citros, *Citrus reticulata*, Floating, hidroponia, propagação.

Growth of 'Ponkan' mandarin seedlings on different rootstocks in conventional and hydroponic cultivation

Abstract

The production of healthy and vigorous seedlings is essential for the sustainability of citrus farming. In this regard, the improvement of seedling production techniques in a protected environment promotes the formation of high-quality seedlings consistent with market demands. Thus, a promising alternative is the hydroponic cultivation of seedlings, as this system can offer greater precision and environmental control. Another important factor to consider is the appropriate choice of rootstocks since they constitute the seedling's root system and are capable of influencing a series of reactions in the chosen combination. The objective of this work was to evaluate the production of 'Ponkan' mandarin seedlings in two production systems, conventional cultivation and hydroponics, grown on five rootstocks: 'Swingle' citrumelo, 'Rangpur' lime, 'Limeira' and 'Rubidoux' trifoliate oranges, and 'Índio' citrandarin. Height, diameter, number of leaves, root length and volume, dry mass of leaves, stems, and roots, and Dickson's quality index were evaluated in rootstocks and seedlings. For the variables height and number of leaves, the rootstocks in the conventional system reached higher averages than in hydroponics. Greater growth of rootstocks and 'Ponkan' mandarin seedlings were obtained when using 'Swingle' citrumelo, 'Rangpur' lime, and 'Índio' citrandarin rootstocks. The height of the seedlings did not differ between the production systems when grafted onto trifoliate oranges, while the other rootstocks provided greater seedling height in the conventional system.

Index terms: citros, *Citrus reticulata*, Floating, hydroponics, propagation.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, além das laranjas, outros grupos de frutas cítricas se destacam, como as limas ácidas e as tangerinas. Neste grupo, as mais produzidas no Brasil são o tangor 'Murcott' [*C. reticulata* Blanco x *Citrus sinensis* (L.) Osbeck] e a tangerineira 'Ponkan' (*Citrus reticulata* Blanco) (PACHECO et al., 2023). A produção anual de tangerineiras é estimada em mais de 1.086.616 toneladas e ocupa cerca de 56 mil hectares (IBGE, 2023).

A tangerina 'Ponkan' é muito apreciada pelos consumidores brasileiros e é bastante cultivada em Minas Gerais, com destaque para os municípios de Campanha e Belo Vale (SILVA; LANDAU, 2020). A árvore tem tamanho médio a pequeno, apresenta frequente alternância de safra e elevada produção de frutos, de tamanho médio a grande (de 140 a 200

g) com poucas sementes, fácil de descascar e de sabor doce, ligeiramente ácido (GIRARDI et al., 2021).

Apesar da introdução de novas cultivares de tangerinas e híbridos, no mercado ainda prevalece a ‘Ponkan’ (CARVALHO et al., 2019). Nesse contexto, a produção de mudas sadias com elevada qualidade sanitária e origem genética atestada deve seguir os padrões estabelecidos pela Instrução Normativa nº 48, bem como seus padrões de identidade e de qualidade, com validade em todo o território nacional (MAPA, 2013).

As mudas cítricas comerciais são obtidas por enxertia de cultivares copa, altamente produtivas, sobre porta-enxertos, obtidos por seleção de variantes naturais e melhoramento genético (BOWMAN; MCCOLLUM; ALBRECHT, 2021). No Brasil, entre os porta-enxertos mais utilizados, está o limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck), tolerante à seca e altamente produtivo (OLIVEIRA et al., 2024), contudo, atualmente, nos viveiros do estado de São Paulo, citrumeleiro ‘Swingle’ [*Citrus* × *paradisi* Macfad. × *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] é o porta-enxerto mais utilizado, representando 55,5% das enxertias realizadas nesses viveiros (GIRARDI et al., 2021).

Novas opções de porta-enxertos, têm originado híbridos superiores, como os citrandarins (BUFFON et al., 2021). O citrandarino ‘Índio’ é um híbrido de tangerineira ‘Sunki’ com trifoliato ‘English’, que une menor suscetibilidade ao declínio, à tristeza e ao nematoide dos citros, vantagens adquiridas das tangerinas, com a resistência à gomose, além de formar plantas compactas e produtivas (PASSOS, 2021). Além dos atributos já descritos, os porta-enxertos podem interferir em características como qualidade do fruto e tamanho da planta (RADDATZ-MOTA et al., 2019). Plantas cítricas de altura reduzida podem apresentar maior eficiência produtiva e maior produção por hectare, além de facilitar as inspeções de pragas e reduzir custos de produção (POMPEU JÚNIOR; BLUMER, 2006).

As tecnologias na produção das mudas visam reduzir o tempo de formação e evitar o surgimento de pragas e doenças, com condições fitossanitárias ideais. A hidroponia é uma ferramenta que promove a agricultura de precisão mesmo em cultivos de pequena escala, permitindo um maior controle de variáveis como pH, temperatura e condutividade elétrica, o que proporciona maior produção e economia de recursos (VELAZQUEZ-GONZALEZ et al., 2022). Em citros os estudos sobre o uso de sistemas hidropônicos ainda são escassos, contudo, o uso de subirrigação já foi testado com sucesso para essa cultura (FERRAREZI; FERREIRA FILHO; TESTEZLAF, 2017), assim como o sistema ‘Floating’ para a formação de porta-enxertos (GOMES et al., 2021).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes porta-enxertos na produção de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ nos sistemas convencional e hidropônico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos, conduzidos simultaneamente, em dois locais na Universidade Federal de Lavras (UFLA), Minas Gerais, Brasil. A produção de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ (*Citrus reticulata* Blanco) foi realizada em sistema convencional utilizando sacolas plásticas e substrato comercial no Setor de Fruticultura, enquanto a produção em sistema hidropônico, com tubetes contendo vermiculita, foi conduzida no Setor de Plantas Ornamentais Horto Botânico, ambos pertencentes ao Departamento de Agricultura (DAG) da Escola de Ciências Agrárias de Lavras (ESAL). O município de Lavras-MG está localizado à latitude 21° 14' sul, longitude 44° 59' oeste e altitude de 919 metros. O clima local é caracterizado como Cwa, temperado quente com período seco no inverno (MARTINS et al., 2018).

Os tratamentos consistiram em cinco porta-enxertos utilizados para a formação de mudas: citrumeleiro ‘Swingle’ [*Citrus paradisi* Macfad. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.]; limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osb.); trifoliatoeiro ‘Limeira – IAC382’ [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.]; trifoliatoeiro ‘Rubidoux – IAC 835’ [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] e citrandarineiro ‘Índio’ [*Citrus sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. ‘English’].

As sementes, provenientes do Centro de Citricultura Sylvio Moreira – IAC/Cordeirópolis, utilizadas na produção dos porta-enxertos foram semeadas em 06 de julho de 2022, em telado revestido por tela antiafídeo, com cobertura plástica e irrigação por nebulização intermitente, localizado no Setor de Fruticultura. Foram utilizadas bandejas plásticas de 187 células contendo tubetes de 50 cm³, preenchidos com vermiculita. Aos três meses após a semeadura, com aproximadamente 10 cm de altura, os porta-enxertos foram transplantados para outros recipientes, sendo que metade foi conduzida no sistema convencional de produção de mudas e a outra metade utilizada no cultivo hidropônico. O delineamento experimental utilizado para cada local foi de blocos casualizados, com cinco tratamentos, quatro blocos e 18 plantas por parcela, totalizando assim 360 plantas por experimento.

No sistema convencional os porta-enxertos foram transplantados para sacolas plásticas com dimensão de 18 x 30 cm e capacidade de 3,1 dm³, preenchidas com substrato comercial composto por 20% de casca de pinus estabilizada e 80% condicionador de solo classe A (fibra de celulose e cinzas). Foram adicionados ao substrato oito gramas por recipiente de

fertilizante de liberação controlada Basacote Plus 9M contendo: 16% de nitrogênio (N), 8% de fosfato (P_2O_5), 12% de óxido de potássio (K_2O), 2% de óxido de magnésio (MgO), 5% de enxofre (S), 0,02% de boro (B), 0,05% de cobre (Cu), 0,4% de ferro (Fe), 0,06% de manganês (Mn), 0,015% de molibdênio (Mo), 0,02% de zinco (Zn). Nessa fase, foram realizadas irrigações, desbaste de plantas, controle de plantas daninhas e aplicações de inseticidas conforme necessário.

No sistema hidropônico, os porta-enxertos foram transplantados para tubetes de 280 cm³ preenchidos com vermiculita dispostos em grades plásticas que serviram como suporte, dispostas dentro de telado coberto com tela antiáfideo. As grades contendo os tubetes foram alocadas em “piscinas” no sistema ‘Floating’, com dimensões 3,00 x 0,60 x 0,20 m, dispostas em bancadas de 0,8 m de altura. Dessa forma, o fundo dos tubetes e, conseqüentemente, as raízes dos porta-enxertos ficaram em contato permanente com a solução nutritiva.

A solução padrão utilizada foi composta por 720 g de Max Sal Hidrogood Fert[®] NPK 10-09-28: 10% de nitrogênio (N), 9% de fosfato (P_2O_5), 28% de óxido de potássio (K_2O), 3,38% de magnésio (Mg), 4,3% de enxofre (S), 0,06% de boro (B), 0,01% de cobre (Cu), 0,05% de manganês (Mn), 0,07% de molibdênio (Mo), 0,02% de zinco (Zn) e 0,007% de níquel (Ni); 540 g de Calcium (Calcium Nitrate 15,5-0-0 + 26,5 CaO) e 40 g de EDTAFe (Quelato de Ferro EDDHA) diluídos em 1000L de água. O pH e a condutividade elétrica, mensurados semanalmente, variaram entre 5,4 a 6,3 e 1,75 a 1,9 mS.cm⁻¹, respectivamente (FIMBRES-ACEDO et al., 2023) para acompanhamento das condições da solução nutritiva, substituída mensalmente. No cultivo hidropônico também foram realizados o controle de plantas daninhas, desbrotas e aplicações de inseticida para controlar eventuais pragas.

Assim que os porta-enxertos atingiram o diâmetro de caule adequado para que fosse feita a enxertia, aproximadamente seis meses após o transplante, foram mensurados os parâmetros: altura (cm), com auxílio de régua graduada; diâmetro do caule (mm) a aproximadamente 3,0 cm do colo, com o uso do paquímetro digital e número de folhas. Adicionalmente, seis plantas de cada parcela foram retiradas de seus respectivos recipientes. As raízes foram lavadas com água e foram realizadas as medições do comprimento da raiz principal, com o uso de uma régua graduada e o volume de raízes foi estimado pelo método do deslocamento de coluna d'água (BASSO, 1999). Para isso, foi usada uma proveta graduada, preenchida com água, na qual as raízes foram mergulhadas, observando-se o volume de água deslocado. A diferença entre o volume inicial e o volume após a inserção das raízes na proveta resulta no volume das raízes.

Foram separadas as partes caule, folhas e sistema radicular de cada planta, pesados em balança analítica e colocados em estufa com circulação de ar forçada à temperatura de 65°C até atingir peso constante. Após esse processo foi possível obter a massa seca (g) do sistema radicular (MSR), das folhas (MSF), do caule (MSC) e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960), de acordo com a fórmula:

$$IQD = \frac{PMST (g)}{H(cm)/DC(mm)+MSPA(g)/MSR(g)}$$

Onde: PMST: Massa seca total (g) (MSPA+MSR); H: Altura (cm); DC: Diâmetro do caule (mm); MSPA: Massa seca da parte aérea (g); MSR: Massa seca de raízes (g).

Na sequência, a enxertia foi realizada nos dois experimentos, seis meses após o transplântio dos porta-enxertos, quando estes atingiram diâmetro de caule adequado, em torno de 6 mm. Borbulhas da variedade copa de tangerineira ‘Ponkan’ (*Citrus reticulata* Blanco), provenientes do Viveiro Citrovan do município de Bom Despacho-MG, foram enxertadas por meio da técnica de borbulhia em “T” invertido a altura de 10 a 20 cm do colo das plantas. Foi feito amarrão com fita de enxertia e realizada a envergadura do porta-enxerto logo acima da enxertia para o forçar o pegamento, após um mês foi realizada a decapitação do porta-enxerto acima do ponto de soldadura.

Foram realizadas quatro adubações complementares, após a enxertia, no cultivo convencional, com fertilizante na formulação 4-14-8 (4% de N, 14% de P₂O₅ e 8% de K₂O) aplicados 20 g por planta e três adubações de fertilizante foliar Complex 151[®] (Nutriplant), de composição N(5%), P₂O₅ (11%), K₂O (16%), Ca (2%), Mg (2%), S (5%), B (1,5%), Cu (0,5%), Fe (0,1%), Mn (0,5%), Mo (0,2%), Zn (4%), utilizando-se 40 g diluídos em 20 L de água em cada aplicação. As adubações foram realizadas de acordo com as recomendações de Carvalho, Graf e Violante (2005). As plantas foram tutoradas e conduzidas em haste única até atingirem tamanho de uma muda comercial, em que a haste principal é podada com 30 a 60 cm de altura medida a partir do colo da planta, quando então foram realizadas as análises da muda pronta para o plantio.

Foram coletados os dados de temperatura nos dois locais de produção de mudas, sistema convencional e hidropônico, por meio de Datalogger de temperatura modelo HT-810 Instrutherm. As médias mensais desde o transplântio para cada sistema de cultivo até a fase de muda pronta para a comercialização estão apresentadas na Figura 1.

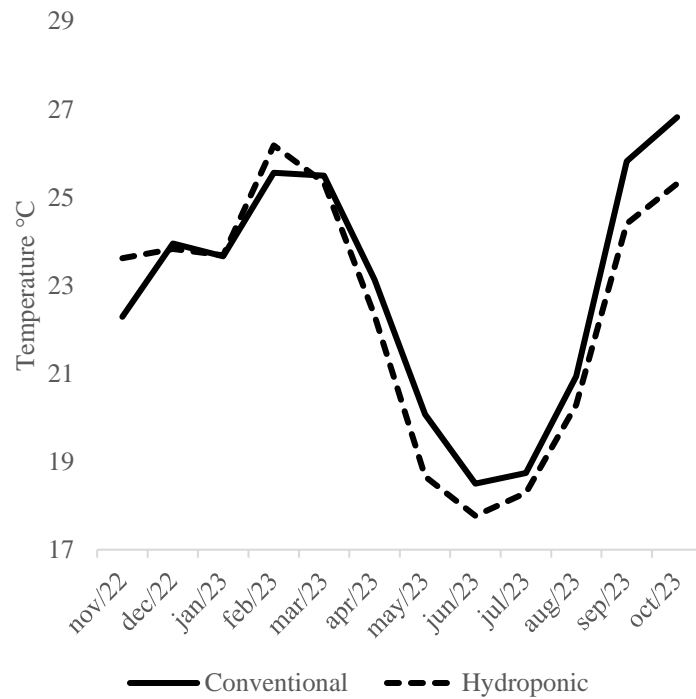


Figura 1. Temperatura (°C) média mensal dentro de telados nos quais foram produzidas as mudas de tangerineira ‘Ponkan’, em cultivo convencional e hidropônico.

Aos seis meses após a enxertia, foram avaliadas as seguintes características em nove mudas por parcela: comprimento (cm) dos enxertos, altura (cm) total das mudas, diâmetro do porta-enxerto e do enxerto (mm), número de folhas, comprimento da raiz principal e volume do sistema radicular. Assim como descrito para os porta-enxertos, foi determinada a massa seca de cada parte da planta (sistema radicular (MSR), folhas (MSF), caule do porta-enxerto (MSPE), caule do enxerto (MSC) e foi calculado o IQD.

As variáveis analisadas atenderam aos pressupostos de normalidade dos erros (Shapiro-Wilk), homogeneidade das variâncias (Bartlett's K-squared) e independência dos erros (Durbin-Watson) a 1% de significância. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a nível de 5% de significância. Para cada variável analisada foi calculada a razão entre os quadrados médios residuais das análises individuais de cada experimento, cultivo convencional e hidropônico, para verificar a homogeneidade dos experimentos. Quando a relação foi inferior a 7, foi feita a Análise Conjunta dos experimentos (GOMES, 2009), com o intuito de comparar os porta-enxertos nos diferentes sistemas.

As médias foram comparadas com o teste de Tukey, a nível de 5% de significância. Para as análises que resultaram em interação significativa entre sistemas de cultivo e tratamentos (variedades de porta-enxertos), foi aplicado o teste de médias para as variedades porta-enxerto

e para os sistemas de cultivo (experimentos). Foi utilizado o AgroR Shiny, aplicativo Shiny que integra o pacote AgroR do Software R (SHIMIZU; MARUBAYASHI; GONÇALVES, 2024) para a realização das análises.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

a. Parâmetros de crescimento de porta-enxertos

Foi possível realizar a análise conjunta dos experimentos para todas as características, exceto para massa seca do sistema radicular, das folhas e Índice de Qualidade de Dickson dos porta-enxertos, pois a razão entre os quadrados médios individuais dessas variáveis foi superior a 7. Nos dados coletados das mudas não foi possível realizar a análise conjunta para o volume de raízes e para massa seca do caule do porta-enxerto. Nesses casos a análise estatística foi realizada separadamente para cada sistema de cultivo, hidropônico e convencional. Para as variáveis em que a interação entre experimentos e tratamentos (porta-enxertos) foi significativa (altura, número de folhas e massa seca de caule de porta-enxertos, altura dos enxertos, das mudas, diâmetro dos enxertos, número de folhas, massa seca das folhas, caule e raízes das mudas), foi possível realizar o teste de médias para porta-enxertos e sistemas de cultivo. As demais variáveis analisadas, onde não houve interação significativa entre os fatores foi apresentada a média geral englobando os dois sistemas de produção de mudas.

O crescimento dos porta-enxertos em sistema convencional para as variáveis altura e número de folhas foi superior se comparado ao sistema hidropônico (Tabela 1). Entre as variedades avaliadas, no cultivo convencional as maiores alturas foram observadas para o citrandarineiro ‘Índio’ (68,54 cm) e limoeiro ‘Cravo’ (62,81 cm), os quais não diferenciam entre si. Contudo, limoeiro ‘Cravo’ foi estatisticamente igual ao citrumeleiro ‘Swingle’ (55,24 cm) para essa variável. Os trifoliateiros ‘Limeira’ e ‘Rubidoux’ apresentaram as menores alturas.

Tabela 1. Altura, diâmetro de caule, número de folhas (NF), comprimento (CR) e volume de raízes (VR) de diferentes porta-enxertos produzidos em sistema convencional e hidropônico.

Cultivares	Altura (cm)		Diâmetro de caule (mm)	Número de folhas (NF)		CR (cm)	VR (mL)
	convencional	hidroponia		convencional	hidroponia		
C. Swingle	55,24 bcA	38,38 bB	6,89 a	32,17 bcA	23,63 bcB	34,05 a	16,97 a
L. Cravo	62,81 abA	52,10 aB	6,48 a	35,81 abA	30,88 aB	34,90 a	19,23 a
T. Limeira	51,31 cdA	38,03 bB	5,62 bc	35,95 abA	23,30 bcB	34,85 a	12,68 a
T. Rubidoux	43,65 dA	31,95 bB	5,20 c	30,17 cA	20,18 cB	33,33 a	8,90 a
C. Índio	68,54 aA	40,00 bB	6,41 ab	38,14 aA	25,28 bB	47,68 a	19,60 a
CV (%)	9,66	12,39	6,5	7,3	7,88	14,92	30,83

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Barbosa et al. (2023) ao compararem o crescimento de diferentes híbridos de citrandarins, constataram altura média das plantas de 68,26 cm, aos 139 dias após semeadura, valor semelhante ao obtido neste trabalho, para o sistema convencional. O maior crescimento dos porta-enxertos limoeiro ‘Cravo’ e citrandarineiro ‘Índio’ também foi constatado por Rodrigues et al. (2016) em avaliação 90 dias após o transplante para sacolas plásticas. Além disso, as menores alturas médias de plantas foram observadas em trifoliateiros, assim como no presente trabalho.

No sistema hidropônico, o citrandarineiro ‘Índio’ atingiu altura média de 40 cm, estatisticamente diferente do limoeiro ‘Cravo’, que atingiu 52,10 cm, sendo este o porta-enxerto com maior altura nesse sistema de produção. Da mesma forma, Gomes et al. (2021) observaram melhor desempenho para o limoeiro ‘Cravo’ produzido em sistema hidropônico em relação aos demais porta-enxertos avaliados aos 150 dias após a semeadura.

No sistema convencional os porta-enxertos citrandarineiro ‘Índio’ (38,14), trifoliateiro ‘Limeira’ (35,95) e limoeiro ‘Cravo’ (35,81) apresentaram maiores números de folhas. Na hidroponia, a variedade que apresentou maior número de folhas foi o limoeiro ‘Cravo’ (30,88), seguido pelo citrandarineiro ‘Índio’ (25,28). Teixeira et al. (2009) ao avaliarem o crescimento de porta-enxertos em um sistema ‘Floating’ semelhante ao adotado no presente estudo, observaram aos 150 dias após a semeadura, número de folhas médio de 19,39 por planta para *Poncirus trifoliata*. Esses autores usaram recipientes menores, de 120 cm³ e a irrigação e nutrição foram realizadas usando a solução nutritiva, contudo os tubetes eram colocados em contato direto com a solução somente por uma hora duas vezes ao dia.

O diâmetro de caule dos porta-enxertos mostrou independência dos efeitos dos sistemas de produção (convencional e hidropônico). O mesmo ocorreu para as variáveis comprimento e volume de raízes, não sendo possível comparar o crescimento das raízes entre os sistemas de produção de mudas, além disso, não foram identificadas diferenças entre as variedades de porta-enxertos avaliadas. Os maiores diâmetros de caule foram observados para os porta-enxertos citrumeleiro ‘Swingle’ (6,89 mm), limoeiro ‘Cravo’ (6,48 mm) e citrandarineiro ‘Índio’ (6,41 mm), enquanto trifoliatairos ‘Limeira’ e ‘Rubidoux’ apresentaram menor diâmetro, 5,62 e 5,20 mm respectivamente.

O diâmetro adequado do porta-enxerto é um dos principais parâmetros utilizados para se determinar o momento ideal de se realizar a enxertia a fim de que essa seja bem-sucedida. Para plantas produzidas em viveiro telado, o caule do porta-enxerto deve ter diâmetro de 6 a 8 mm e a enxertia deve ser realizada entre 10 e 20 cm do colo da planta (CARVALHO; GRAF; VIOLANTE, 2005), o que inferiu maior tempo de formação para a realização da prática da enxertia nos trifoliatairos ‘Limeira’ e ‘Rubidoux’ no presente estudo. Além do diâmetro do porta-enxerto, a compatibilidade da enxertia também depende de outros fatores, entre eles o equilíbrio dos diâmetros das copas e dos porta-enxertos, para obtenção de alta taxa de pegamento (KUMAR et al., 2017).

Em trabalho realizado por Rodrigues et al. (2016), sobre formação de mudas cítricas em sacolas plásticas com substrato a base de casca de pinus e fertilizante de liberação lenta, o maior diâmetro de porta-enxertos, foi observado para a variedade citrumeleiro ‘Swingle’, aos 8 meses após a semeadura. Nesse mesmo trabalho, limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ e citrandarineiro ‘Riverside’ não diferenciaram entre si e o citrandarineiro ‘Índio’ foi inferior a estes, porém, o trifoliatairo ‘Flying Dragon’ foi ainda menor, o que comprova o menor vigor de *Poncirus trifoliata* e seus híbridos, se comparado ao limoeiro ‘Cravo’ (GIRARDI; MOURÃO FILHO; PIEDADE, 2007).

De acordo com Girardi, Mourão Filho e Alves (2010), ao estudarem porta-enxertos sob diferentes manejos de adubação, limoeiro ‘Cravo’ e citrumeleiro ‘Swingle’ apresentaram taxa de crescimento semelhante aos 90 dias após transplante atingindo, respectivamente, 5 mm e 5,7 mm de diâmetro de caule.

Tanto para o volume radicular quanto para o comprimento da raiz principal não foi observada diferença significativa entre os porta-enxertos e as médias obtidas foram 36,96 cm e 15,48 mL, respectivamente. Zhou et al. (2019) ao avaliarem o desenvolvimento do porta-enxerto *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. em dois tipos de cultivo, hidroponia e solo, constataram para o sistema hidropônico comprimento médio da raiz primária de 32,43 cm, superior ao

observado no sistema convencional (26,01 cm). Rodrigues et al. (2016) obtiveram volume radicular médio de 17,08 mL para citrandarineiro ‘Índio’, 16,25 mL para citrumeleiro ‘Swingle’ e 17,50 mL para limoeiro ‘Cravo’ os quais não diferenciam estatisticamente entre si. O volume observado para trifoliateiro foi inferior aos demais porta-enxertos (9,17 mL).

A massa seca dos porta-enxertos foi obtida para cada parte da planta, raízes, folhas e caule (Tabela 2). Somente para a massa seca do caule foi possível comparar os sistemas de produção, sendo que para todas as variedades de porta-enxerto a massa seca do caule foi maior no cultivo convencional, exceto para o trifoliateiro ‘Rubidoux’ que não apresentou diferença nos dois sistemas. Na hidroponia não houve diferença significativa entre as variedades, já no convencional as maiores médias de massa seca do caule foram obtidas para o citrandarineiro ‘Índio’ (7,20 g), citrumeleiro ‘Swingle’ (6,60 g) e limoeiro ‘Cravo’ (5,30g).

Tabela 2. Massa seca do sistema radicular (MSR), das folhas (MSF) e do caule (MSC) (g) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de diferentes porta-enxertos produzidos em sistema convencional e hidropônico.

Cultivares	MSR (g)		MSF (g)		MSC (g)		IQD	
	conv.	hid.	conv.	hid.	conv.	hid.	conv.	hid.
C. Swingle	7,18 ab	2,20 abc	3,00 ab	1,20 bc	6,60 aA	1,60 aB	1,87 a	0,70 ab
L. Cravo	9,30 a	2,70 ab	4,80 a	2,30 a	5,30 abA	2,50 aB	1,79 a	0,76 ab
T. Limeira	4,50 bc	1,70 bc	1,10 b	0,70 bc	3,50 bcA	2,00 aB	0,96 ab	0,50 ab
T. Rubidoux	2,50 c	1,30 c	0,60 b	0,60 c	2,30 cA	1,50 aA	0,59 b	0,43 b
C. Índio	8,30 ab	2,80 a	3,20 ab	1,30 b	7,20 aA	2,50 aB	1,68 a	0,82 a
CV (%)	32,43	21,52	48,5	24,5	26,63	27,59	31,76	26,41

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Mattos Júnior et al. (2010) obtiveram para o porta-enxerto limoeiro ‘Cravo’, com aproximadamente 6 meses de idade, massa seca de caule média de 6,1 g, o que condiz com os valores obtidos no presente trabalho. Por outro lado, Zhou et al. (2019), não observaram diferença significativa entre as massas secas no cultivo convencional e hidropônico de *Poncirus trifoliata* avaliado aos 70 dias após o transplântio.

No sistema convencional as variedades de porta-enxerto que alcançaram maior massa seca de raiz foram limoeiro ‘Cravo’ (9,20 g), citrandarineiro ‘Índio’ (8,30g) e citrumeleiro ‘Swingle’ (7,18 g). O mesmo padrão foi observado em outros trabalhos, em que a massa seca de raízes das variedades citrumeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’ foram superiores se

comparadas a trifoliateiros (FRANCO et al., 2007). Ao comparar os sistemas hidropônico e convencional, Zhou et al. (2019) observaram maior massa das raízes no sistema convencional se comparado à hidroponia, para *Poncirus trifoliata*.

Na hidroponia limoeiro ‘Cravo’ apresentou a maior massa seca de folhas (2,30 g). No sistema convencional esse porta-enxerto também se destacou (4,80g), porém, não se diferenciou estatisticamente das variedades citrumeleiro ‘Swingle’ (3,20g) e citrandarineiro ‘Índio’ (3,00g).

O Índice de Qualidade de Dickson foi desenvolvido para avaliar a qualidade de mudas por meio de parâmetros morfológicos e massa seca (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960). De acordo com esse índice, no sistema hidropônico, citrandarineiro ‘Índio’ foi a variedade que melhor se desenvolveu, pois maiores índices indicam maior equilíbrio entre as partes que constituem a muda. Um alto valor de IQD demonstra um equilíbrio adequado entre a biomassa da parte aérea e do sistema radicular, prevendo assim alto vigor e assim bom desempenho em campo (GALLEGOS-CEDILLO et al., 2021).

No sistema convencional, os valores de IQD para as variedades citrumeleiro ‘Swingle’ (1,87), limoeiro ‘Cravo’ (1,79) e citrandarineiro ‘Índio’ (1,68) foram superiores a 1,00, o que demonstra alto vigor desses porta-enxertos, que não se diferenciam de acordo com o teste Tukey. No sistema hidropônico, citrandarineiro ‘Índio’ atingiu numericamente a maior média. Este porta-enxerto apresenta potencial genotípico, o que contribui para um bom desenvolvimento inicial, tanto em altura, como em diâmetro, o que pode possibilitar redução do tempo necessário para a realização da enxertia (SOMBRA et al., 2019). O crescimento em altura e diâmetro, atributos que compõem o cálculo do IQD, proporcionaram a esse porta-enxerto altos índices tanto em hidroponia quanto em cultivo convencional.

Em campo, citrandarineiro ‘Índio’ é uma excelente alternativa para a diversificação de porta-enxertos. Oliveira et al. (2024) ao avaliarem o desempenho produtivo de laranjeiras-doce sobre diferentes porta-enxertos, comprovaram o potencial do citrandarineiro, que apresentou a maior produtividade entre os demais avaliados, na combinação com a copa seleção CNPMF 01, com 121,97 t ha⁻¹. Outras vantagens, que favorecem a escolha de citrandarineiro ‘Índio’ como porta-enxerto, além de sua alta produtividade, são a resistência à gomose e uma menor suscetibilidade à tristeza dos citros, ao declínio e a nematoides (PASSOS, 2021).

Ao avaliar o porta-enxerto citrumeleiro ‘Swingle’ em diferentes formulações de substrato Liberato et al. (2021) obtiveram aos 168 dias após o transplântio, altos valores de IQD, entre 1,2 a 1,7. Apesar dos valores menores obtidos no sistema hidropônico, se comparado ao

convencional, o valor mínimo para que uma planta atenda aos padrões de qualidade é de 0,20 (GALLEGOS-CEDILLO et al., 2021). Desse modo, os porta-enxertos produzidos em hidroponia atenderam aos padrões necessários.

b. Parâmetros de crescimento da muda enxertada

Após a realização das enxertias utilizando borbulhas de tangerineira ‘Ponkan’ foram avaliados os parâmetros de crescimento da muda enxertada, aos 180 dias após a execução da técnica. Os dados de altura dos enxertos indicam que o único porta-enxerto que apresentou maior crescimento da copa em sistema convencional foi citrandarineiro ‘Índio’, as demais variedades se comportaram da mesma forma independente do sistema utilizado (Tabela 3). Em condições semelhantes de cultivo, com o uso do sistema hidropônico do tipo ‘Floating’, Souza et al. (2013) ao avaliarem a viabilidade da produção de mudas da cultivar tangerineira ‘Ponkan’ sobre o porta-enxerto limoeiro ‘Cravo’ em sistema hidropônico, formaram mudas que atingiram 20 cm de comprimento do enxerto aos 126 dias após a enxertia.

Tabela 3. Altura dos enxertos e das mudas, diâmetro dos enxertos e dos porta-enxertos e número de folhas de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ produzidas com diferentes porta-enxertos em sistema convencional e hidropônico, seis meses após a enxertia.

Cultivares	Altura Enxertos (cm)		Altura das mudas (cm)		Diâmetro enxertos (mm)		Diâmetro PE (mm)	Número de folhas (NF)	
	conv.	hid.	conv.	hid.	conv.	hid.		conv.	hid.
C. Swingle	28,90 aA	25,93 aA	37,10 aA	32,18 aB	5,15 aA	4,36 abB	11,35 a	19,06 aA	15,60 aA
L. Cravo	32,94 aA	24,83 abA	44,21 aA	32,13 aB	5,78 aA	4,77 aB	9,66 ab	19,64 aA	14,13 abB
T. Limeira	9,11 bA	13,58 bA	17,46 bA	18,83 bA	3,29 bA	3,57 bcA	7,81 b	7,88 bA	9,43 bA
T. Rubidoux	16,20 bA	15,95 abA	21,47 bA	19,60 abA	3,76 bA	3,35 cA	7,66 b	12,33 bA	11,03 abA
C. Índio	31,91 aA	17,25 abB	40,38 aA	23,48 abB	5,66 aA	4,10 abcB	9,25 ab	21,67 aA	11,85 abB
CV (%)	25,31	28,31	18,23	25,14	10,56	8,21	7,31	16,43	19,87

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

O limoeiro ‘Cravo’ apresenta alta rusticidade e propicia grande crescimento das plantas enxertadas sobre ele, tolerância à seca e vigor tanto no viveiro quanto no campo (CARVALHO et al., 2019). Os porta-enxertos influenciam o crescimento de mudas enxertadas, sendo que os aspectos morfológicos como altura e diâmetro variam significativamente. Os enxertos realizados em *Poncirus trifoliata* apresentam as menores

alturas e menor crescimento, enquanto os porta-enxertos mais vigorosos possibilitam à brotação do enxerto atingir sua altura máxima e alto vigor (HAYAT et al., 2022).

As plantas de *Poncirus trifoliata* têm porte baixo e seu potencial ananicante pode variar conforme as condições edafoclimáticas, uso ou não de irrigação e a cultivar copa utilizada. Além disso, outra hipótese para a menor estatura de plantas enxertadas em trifoliateiros é a presença do vírus da exocorte, ao qual o trifoliateiro é intolerante (POMPEU JÚNIOR, 2005). De qualquer forma, é comprovado que o porta-enxerto afeta o desenvolvimento da copa (DONADIO; STUCHI, 2001), o que pode ser explicado pelas diferenças observadas no sistema radicular de trifoliateiros se comparado às demais espécies.

Poncirus trifoliata, diferentemente de *Citrus sinensis*, apresenta parede externa tangencial das raízes menos espessa e suberina duas a três vezes mais espessa, o que pode ser explicado como um mecanismo de resistência (QUEIROZ-VOLTAN; BLUMER, 2005). O espessamento, com deposição de suberina, forma a estria de Caspary, que é uma estrutura hidrofóbica, que impede o movimento apoplástico de água e solutos por meio da raiz (TAIZ et al., 2021). Assim, essas diferenças estruturais entre as espécies de citros podem interferir na absorção de água e nutrientes pelas plantas a partir das raízes, sendo que o desenvolvimento da copa está diretamente relacionado com o crescimento das raízes (DONADIO; STUCHI, 2001).

A altura total das mudas de tangerineira ‘Ponkan’ variou conforme o porta-enxerto utilizado, sendo que no sistema convencional as mudas formadas foram maiores do que no sistema hidropônico para as variedades citrumeleiro ‘Swingle’, limoeiro ‘Cravo’ e citrandarineiro ‘Índio’. As mudas formadas sobre os trifoliateiros ‘Limeira’ e ‘Rubidoux’ não se diferenciam em altura para os sistemas, assim, independentemente do sistema utilizado o crescimento foi o mesmo. A altura dos enxertos na hidroponia atingiu a maior média para citrumeleiro ‘Swingle’ (25,93 cm), seguido pelo limoeiro ‘Cravo’ (24,83 cm), citrandarineiro ‘Índio’ (17,25 cm) e trifoliateiro ‘Rubidoux’ (15,95 cm). Os enxertos sobre limoeiro ‘Cravo’ (32,94 cm), citrandarineiro ‘Índio’ (31,91 cm) e citrumeleiro ‘Swingle’ (28,90 cm) atingiram as maiores médias no sistema convencional e os trifoliateiros apresentaram as menores alturas de enxerto aos seis meses após a enxertia.

De acordo com Donadio e Stuchi (2001), porta-enxerto trifoliateiro ‘Rubidoux’, reduziu em 42% a altura de árvores de laranjeira ‘Valência’ e em 46% para as laranjeiras-de-umbigo, em plantas não afetadas por patógenos. Contudo, quando são utilizadas como copa cultivares livres de exocorte e o plantio é realizado em solo ácido, as plantas adultas podem atingir bom volume de copa e produzir frutas de qualidade.

Da mesma forma, Hayat et al. (2022) obtiveram os menores tamanhos de mudas, quando utilizaram *Poncirus trifoliata* como porta-enxerto, mesmo a enxertia sendo realizada em porta-enxertos com um ano de idade. A influência dos porta-enxertos no desenvolvimento da copa não ocorre somente para mudas de tangerineiras. Khan et al. (2020) ao estudarem a produção de mudas de laranjeiras doces (*Citrus sinensis* (L). Osbeck) sobre diferentes porta-enxertos, observaram o mesmo comportamento da brotação do enxerto, que apresentou maior comprimento quando enxertado sobre limoeiro ‘Cravo’ e menor desenvolvimento em *Poncirus trifoliata* (L.), aos 195 dias após a enxertia.

O diâmetro dos enxertos de tangerineira ‘Ponkan’ nos dois ambientes de produção foi superior para as variedades citrumeleiro ‘Swingle’, limoeiro ‘Cravo’ e citrandarineiro ‘Índio’, as quais não se diferenciam entre si. Os enxertos avaliados sobre esses porta-enxertos apresentaram maiores médias no sistema convencional se comparado ao cultivo hidropônico.

Wang et al. (2020) ao avaliarem mudas de tangerineira ‘Ponkan’ aos 180 dias após a enxertia, obtiveram diâmetro do enxerto de aproximadamente 5,8 mm mesmo quando a enxertia foi realizada sobre o porta-enxerto *Poncirus trifoliata*. Contudo, essas plantas foram interenxertadas o que pode interferir no tamanho final da variedade copa, assim como no tempo necessário para a formação da muda.

De forma geral, maiores diâmetros de caule e número de folhas de porta-enxertos foram observados no sistema convencional, se comparado ao sistema hidropônico. O uso de sistemas hidropônicos ainda não é consolidado na produção de mudas frutíferas, sendo que para citros alguns estudos foram realizados com limoeiro ‘Cravo’ utilizando subirrigação, que proporcionou maior crescimento das plantas e diminuição do tempo necessário para a formação do porta-enxerto, antecipando o transplântio (FERRAREZI et al., 2015).

A subirrigação consiste em aplicar água no fundo dos recipientes por meio da ação da capilaridade para molhar as raízes (BARRETO et al., 2015). Contudo, sistemas como esse utilizam diferentes alturas de lâmina d’água e tempo de permanência em que a solução nutritiva fica em contato com as raízes (FERRAREZI; FERREIRA FILHO; TESTEZLAF, 2017), o que pode explicar os resultados diferentes obtidos neste trabalho.

Ao utilizar sistema ‘Floating’ Gomes et al. (2021) obtiveram melhor desenvolvimento de porta-enxertos, comprovando a viabilidade da produção de porta-enxertos cítricos em hidroponia, o que demonstra o potencial da técnica na produção de mudas cítricas. Entretanto, com base nos dados obtidos no presente estudo, sugere-se que sejam realizadas adequações em relação à solução nutritiva a ser empregada na formação de mudas. O sistema convencional de produção de mudas cítricas tem parâmetros pré-estabelecidos muito bem

determinados (BATAGLIA et al., 2008), o que pode ter facilitado o melhor desempenho das mudas nesse sistema de cultivo.

Em relação aos diâmetros dos porta-enxertos, observou-se que o citrumeleiro ‘Swingle’ (11,35 mm) atingiu a maior média, mas não se diferenciou de limoeiro ‘Cravo’ (9,66 mm) e citrandarineiro ‘Índio’ (9,25 mm). As menores médias foram obtidas para os trifoliateiros ‘Rubidoux’ (7,66 mm) e ‘Limeira’ (7,81 mm). De acordo com a Instrução Normativa nº 48, na fase de comercialização, o enxerto e o porta-enxerto devem apresentar diferença igual ou menor que 5 mm de diâmetro e para mudas de tangerineira essa diferença não pode ultrapassar 1,0 cm (MAPA, 2013).

Assim, em relação ao diâmetro dos porta-enxertos, as mudas produzidas atingiram o padrão adequado. Ainda segundo a instrução normativa, para mudas de haste única, o diâmetro do enxerto, medido a 5 centímetros acima do ponto de enxertia deve ser de no mínimo 5 mm (MAPA, 2013). Em cultivo convencional, as mudas enxertadas nos porta-enxertos limoeiro ‘Cravo’ (5,78 mm), citrandarineiro ‘Índio’ (5,66 mm) e citrumeleiro ‘Swingle’ (5,15 mm) atingiram esse padrão, contudo os trifoliateiros Limeira e Rubidoux atingiram diâmetros inferiores a 4 mm em ambos os sistemas de produção. Em hidroponia, nenhum dos enxertos atingiu o valor mínimo de 5 mm de diâmetro, sendo que limoeiro ‘Cravo’ foi o que mais se aproximou dessa média.

Contudo, mudas oriundas do porta-enxerto *Poncirus trifoliata* e seus híbridos, desde a data de semeadura dos porta-enxertos até a comercialização devem ter no máximo 24 meses de idade, enquanto para os demais porta-enxertos, a idade máxima da muda deve ser de 18 meses (MAPA, 2013). Neste estudo, todas as mudas foram produzidas ao mesmo tempo, totalizando 15 meses para a produção.

O maior número de folhas em mudas no sistema convencional foi obtido para os porta-enxertos citrandarineiro ‘Índio’ (21,67), limoeiro ‘Cravo’ (19,64) e citrumeleiro ‘Swingle’ (19,06). No sistema hidropônico a variedade que conferiu menor número de folhas à muda foi trifoliateiro ‘Limeira’ (9,43), não havendo diferença estatística entre os demais porta-enxertos. Exceto para os trifoliateiros, que não apresentaram diferença significativa em relação ao número de folhas, entre os sistemas de cultivo avaliado, os demais porta-enxertos proporcionaram à copa um maior número de folhas em cultivo convencional. As interações entre o porta-enxerto, que constitui o sistema radicular, com as folhas, exercem um equilíbrio funcional, o qual possibilita uma distribuição dos assimilados das folhas para toda a planta, além do livre movimento de água e nutrientes essenciais (PEREZ-ALFOCEA et al., 2010).

Por isso, o número de folhas proporcionalmente adequado às outras partes da muda é tão importante para seu desenvolvimento.

O volume das raízes das mudas no sistema convencional foi superior nos porta-enxertos citrumeleiro ‘Swingle’ (61,13 mL), limoeiro ‘Cravo’ (57,03 mL) e citrandarineiro ‘Índio’ (46,06 mL), por outro lado, na hidroponia, apenas os porta-enxertos citrumeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’ apresentaram maiores volumes, 25,48 e 23,86 mL, respectivamente (Tabela 4). O comprimento da raiz principal não apresentou diferença significativa entre os porta-enxertos avaliados.

Tabela 4. Volume e comprimento de raízes de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ produzidas com diferentes porta-enxertos em sistema convencional e hidropônico.

Cultivares	Volume Raiz (mL)		Comp. Raiz (cm)
	convencional	hidroponia	
C. Swingle	61,13 a	25,48 a	48,81 a
L. Cravo	57,03 a	23,86 a	46,95 a
T. Limeira	21,25 b	18,12 b	43,43 a
T. Rubidoux	24,83 b	16,06 b	40,76 a
C. Índio	46,06 a	18,06 b	36,94 a
CV (%)	21,86	10,94	19,91

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Em cultivo convencional, Rodrigues et al. (2016) não relataram diferença entre o volume de raízes dos porta-enxertos limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, citrumelo ‘Swingle’, citrandarin ‘Índio’ e ‘Riverside’, porém, o trifoliatoeiro ‘Flying Dragon’ apresentou menor volume radicular que os demais porta-enxertos citados. Essas avaliações foram realizadas aos 150 dias após a enxertia de laranjeiras ‘Pera-D6’, ‘Westin’, tangerineira ‘Piemonte’ e limeira ácida ‘Tahiti CNPMF-02’.

Em um sistema hidropônico adaptado, ao se comparar o crescimento dez semanas após a semeadura em solo e hidroponia, para o comprimento da raiz principal de porta-enxertos de *Poncirus trifoliata*, o cultivo hidropônico proporcionou maior crescimento das raízes, mas para o volume radicular não foi observada diferença significativa entre os experimentos (Zhou et al., 2019).

Todas as avaliações realizadas nas raízes, comprimento, volume e matéria seca, possibilitam diferenciar o crescimento radicular em cada sistema de cultivo. Os menores

valores obtidos em hidroponia podem ter ocorrido devido ao menor tamanho dos recipientes utilizados. Os tubetes de 280 cm³ usados na hidroponia podem ter limitado o crescimento radicular, o que pode consequentemente afetar o desenvolvimento da parte aérea. Enquanto o sistema radicular das mudas do cultivo convencional conseguiu se expandir devido ao maior tamanho do recipiente utilizado (sacolas plásticas de 3,1 dm³).

O volume do recipiente utilizado para formação de mudas influencia nos parâmetros de crescimento radicular e da parte aérea como número de folhas, diâmetro do caule, altura da copa e massa seca da planta. Recipientes menores tendem a ocasionar restrição ao crescimento das raízes, o que resulta em menores taxas de crescimento para os parâmetros avaliados, como número de folhas, altura da copa, altura das plantas, diâmetro do caule, massa seca de raízes e massa seca total de toda a planta (OUMA, 2005).

No sistema hidropônico a massa seca de folhas foi estatisticamente igual para todas as variedades de porta-enxerto utilizadas, enquanto no sistema convencional os trifoliateiros foram os que produziram menor biomassa foliar, inferior aos demais porta-enxertos avaliados (Tabela 5). Entre os sistemas de produção, a maior massa seca das folhas foi obtida no sistema convencional, exceto para os trifoliateiros que não se diferenciam quanto ao sistema de produção.

Tabela 5. Massa seca das folhas (MSF), dos porta-enxertos (MSPE), do caule (MSC) e do sistema radicular (MSR) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ produzidas com diferentes porta-enxertos em sistema convencional e hidropônico.

Cultivares	MSF (g)		MSPE (g)		MSC (g)		MSR (g)		IQD
	conv.	hid.	conv.	hid.	conv.	hid.	conv.	hid.	
C. Swingle	5,26 aA	3,37 aB	6,42 a	4,74 a	2,87 abA	1,98 aA	14,66 abA	8,35 aB	5,87 a
L. Cravo	6,49 aA	3,13 aB	5,89 ab	4,05 a	4,39 aA	2,00 aB	17,40 aA	7,99 aB	5,11 ab
T. Limeira	1,50 bA	1,49 aA	2,08 c	1,71 c	0,61 cA	0,62 aA	6,00 cA	4,54 bA	3,16 b
T. Rubidoux	2,00 bA	1,64 aA	3,12 bc	1,54 c	0,98 bcA	0,71 aA	6,00 cA	3,89 bA	2,70 b
C. Índio	5,72 aA	1,98 aB	5,68 ab	2,81 b	4,19 aA	1,02 aB	12,54 bA	6,03 abB	4,34 ab
CV (%)	25,72	35,16	29,32	16,41	46,08	46,36	17,58	15,69	15,62

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

O limoeiro ‘Cravo’, assim como os citrandarins, proporcionou à copa maior massa seca de folhas quando utilizados como porta-enxerto na produção de mudas de laranjeira ‘Pera’ e ‘Westin’ (RODRIGUES et al., 2016). Os autores fizeram essa constatação ao avaliarem

diferentes porta-enxertos aos 150 dias após a enxertia. Para as combinações citadas, o citrandarineiro ‘Índio’ e o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ não se diferenciam entre si, e apresentam médias de 5,41 g e 4,81 g, respectivamente. As menores médias foram obtidas para o trifoliateiro ‘Flying Dragon’ e o citrumeleiro ‘Swingle’ se enquadraram em um grupo intermediário.

A massa seca do porta-enxerto, entre o colo da planta e a região de enxertia, apresentou comportamento semelhante entre as variedades de porta-enxerto tanto para o sistema convencional quanto hidropônico. Em cultivo convencional as maiores médias de massa seca do porta-enxerto foram observadas nas variedades citrumeleiro ‘Swingle’ (6,42 g), limoeiro ‘Cravo’ (5,89 g) e citrandarineiro ‘Índio’ (5,68 g). O porta-enxerto com maior massa seca mesmo antes da enxertia já era o citrumeleiro ‘Swingle’ (Tabela 2). No sistema hidropônico a massa seca dos porta-enxertos foi semelhante para os trifoliateiros, os quais não se diferenciam entre si e apresentaram as menores médias. Os maiores valores de massa seca foram observados em citrumeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’.

As menores massas secas obtidas nos trifoliateiros podem ser atribuídas ao menor vigor de *Poncirus trifoliata*, o qual torna o desenvolvimento vegetativo desses porta-enxertos mais lento na fase de viveiro (ARAÚJO; SIQUEIRA, 2008). De acordo com Girardi et al. (2021), porta-enxertos de citrumeleiro ‘Swingle’ apresentam vigor médio em viveiro, limoeiro ‘Cravo’ alto vigor e trifoliateiro baixo vigor, principalmente no inverno.

Para a massa seca do caule em sistema hidropônico não foi verificada diferença significativa entre as variedades. No cultivo convencional citrumeleiro ‘Swingle’, limoeiro ‘Cravo’ e citrandarineiro ‘Índio’ atingiram os maiores valores. As mudas de tangerineira ‘Ponkan’ enxertadas em limoeiro ‘Cravo’ e citrandarineiro ‘Índio’ apresentaram maior massa seca do caule no sistema convencional.

Ao avaliar a produção de mudas de laranjeira ‘Valência’ sobre os porta-enxertos citrumeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’ em diferentes manejos de adubação, Girardi, Mourão Filho, Alves (2010) obtiveram maior acúmulo de massa seca da parte aérea quando utilizado o porta-enxerto limoeiro ‘Cravo’, aos 180 dias após a enxertia. Da mesma forma, no presente trabalho, foi possível constatar maior massa seca para as mudas desenvolvidas sobre limoeiro ‘Cravo’ em detrimento aos trifoliateiros.

Na produção de mudas de tangerineiras como a ‘Montenegrina’, os porta-enxertos influenciaram na massa seca total da parte aérea, sendo que o limoeiro ‘Cravo’ induziu maior acúmulo de massa seca às mudas se comparado aos trifoliateiros (FOCHESATO et al., 2006). Laranjeiras doces enxertadas sobre limoeiro ‘Cravo’ também responderam com ganho de peso

de parte aérea ao se comparar diferentes porta-enxertos, entre eles trifoliatas e citranges (KHAN et al., 2020).

A massa seca do sistema radicular foi superior no sistema convencional para as variedades de porta-enxerto limoeiro ‘Cravo’ (17,40 g), citrumeleiro ‘Swingle’ (14,66 g) e citrandarineiro ‘Índio’ (12,54 g). Os trifoliateiros tiveram desenvolvimento semelhante tanto em hidroponia quanto em cultivo convencional. O sistema radicular dos porta-enxertos mostrou desempenho semelhante em massa seca em mudas de limeira-ácida ‘Tahiti CNPMF-02’, avaliadas aos 150 dias após a enxertia, em que se obteve maior massa seca para a cultivar limoeiro ‘Cravo’, enquanto citrandarineiro ‘Índio’ e citrumeleiro ‘Swingle’ não se diferenciam entre si (RODRIGUES et al., 2016). Estudo sobre a formação de mudas de laranjeira ‘Valência’ também não constatou diferença de massa seca do sistema radicular, ao estudar os dois porta-enxertos limoeiro ‘Cravo’ e citrumeleiro ‘Swingle’, aos 180 dias após a enxertia (GIRARDI; MOURÃO FILHO; ALVES, 2010).

O desenvolvimento das raízes promove maior capacidade de absorção de água e nutrientes pelos porta-enxertos, sendo que a tolerância à seca está diretamente relacionada ao comprimento e densidade do sistema radicular (ARUNYANARK et al., 2009). Assim, em situações de estresse hídrico (SOARES et al., 2015), os porta-enxertos que mais se desenvolvem são aqueles que apresentam maior acúmulo de massa seca, além de maiores índices fisiológicos e de manutenção de trocas gasosas, os quais também podem indicar um melhor aproveitamento da água (PEIXOTO et al., 2006).

Assim, o maior desenvolvimento das raízes de limoeiro ‘Cravo’, especialmente para a variável acúmulo de massa seca, explica seu melhor aproveitamento da água, mesmo em ambientes de déficit hídrico, o que reforça sua indicação para ambientes sem irrigação. Contudo, citrumeleiro ‘Swingle’, proporcionou às mudas maiores médias de volume de raízes, o que mostrou seu bom desempenho em ambos os sistemas de produção. Mesmo sendo um porta-enxerto pouco tolerante à seca (GIRARDI et al., 2021), em condições de viveiro, atingiu altos parâmetros de crescimento.

As mudas de tangerineira enxertadas sobre diferentes porta-enxertos apresentaram altos Índices de Qualidade de Dickson, como descrito na Tabela 5. As três variedades que mais se desenvolveram nas demais variáveis já discutidas, também apresentaram os mais altos índices, citrumeleiro ‘Swingle’, limoeiro ‘Cravo’ e citrandarineiro ‘Índio’.

O Índice de Dickson inicialmente foi desenvolvido como um parâmetro de qualidade para espécies florestais, mas atualmente é amplamente utilizado como índice de qualidade, vigor e até mesmo potencial de produtividade para diversas espécies (GROSSNICKLE;

MACDONALD, 2018). Contudo, poucos estudos descrevem a qualidade das plantas usando esse índice para espécies frutíferas. Os valores de IQD podem variar conforme a cultura, manejo, sistema de cultivo, idade da planta e material vegetal. GALLEGOS-CEDILLO et al. (2021) relataram valores entre 0,10 e 3,40 em frutíferas, sendo que quanto mais alto o índice, melhor a qualidade da muda. Assim, os índices obtidos nesse estudo, para as mudas em cultivos convencional e hidropônico atingiram valores de IQD que condizem com as espécies frutíferas.

4 CONCLUSÃO

O crescimento das mudas de tangerineira ‘Ponkan’ foi superior em sistema convencional quando comparado à hidroponia.

Os porta-enxertos limoeiro ‘Cravo’, citrumeleiro ‘Swingle’ e citrandarineiro ‘Índio’ propiciaram maior crescimento das mudas de tangerineira ‘Ponkan’ quando comparados aos trifoliateiros.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) (Processo n. APQ-00476-21) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, R. F.; SIQUEIRA, D. L. Avaliação de métodos de forçamento de brotação de borbulhas em citros. **Revista Ceres**, v. 55, n. 5, p. 450-454, 2008. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=305226814010>
- ARUNYANARK, A.; JOGLOY, S.; AKKASAENG, C.; VORASOOT, N.; NAGESWARA RAO, R. C.; WRIGHT, G. C.; PATANOTHAI, A. Association between aflatoxin contamination and drought tolerance traits in peanut. **Field Crops Research**, v. 114, n. 1, p. 14-22, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2009.06.018>

BARBOSA, V. R.; BIZARI, D. R.; AZEVEDO, F. A. de; YALY, M. C.; RODRIGUES, J.; GONÇALVES, A. O. Crescimento inicial de citrandarins para produção de mudas cítricas. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 13, n. 1, e13235, 2023. <https://doi.org/10.4322/2359-6643.13235>

BARRETO, C. V. G.; FERRAREZI, R. S.; ARRUDA, F. B.; TESTEZLAF, R. Growth and physiological responses of Rangpur lime seedlings irrigated by a prototype subirrigation tray. **HortScience**, v. 50, n. 1, p. 123-129, 2015. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.1.123>

BASSO, S. M. S. Caracterização morfológica e fixação biológica de nitrogênio de espécies de *Adesmia* DC. e *Lotus* L. **Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 268 p., 1999.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R.; FERRAREZI, R. S.; MEDINA, C. L. Padrão nutricional de mudas de citros. **Vivecitrus, Conplant**, Boletim Técnico, 40 p., 2008. ISBN 978-85-62812-00-2.

BOWMAN, K. D.; MCCOLLUM, G.; ALBRECHT, U. SuperSour: A new strategy for breeding superior citrus rootstocks. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 741009, 2021. DOI: 10.3389/fpls.2021.741009

BUFFON, S. B.; ZUCOLOTO, M.; PASSOS, O. S.; BARBOSA, D. H. S. G.; ALTOÉ, M. S.; MORAIS, A. L. de. Initial production and fruit quality of fifty-seven sweet orange varieties on four rootstocks in Southern state of Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, p. e-765, 2021. <https://doi.org/10.1590/0100-29452021765>

CARVALHO, S. A. de.; GIRARDI, E. A.; MOURÃO FILHO, F. de A. A.; FERRAREZI, R. S.; COLETTA FILHO, H. D. Advances in citrus propagation in Brazil. **Revista Brasileira De Fruticultura**, v. 41, n. 6, e-422, 2019. <https://doi.org/10.1590/0100-29452019422>

CARVALHO, S. A.; GRAF, C. C. D.; VIOLANTE, A. R. Produção de material básico e propagação. *In*: MATTOS JUNIOR, D de; NEGRI J. D. de; PIO R. M.; Pompeu Júnior J (Ed.). **Citros**, Instituto Agrônômico e Fundag, p. 317-344, 2005.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.

DONADIO, L. C.; STUCHI, E. S. Adensamento de plantio e anançamento de citros. **Funep**, Boletim citrícola, n. 16, 70 p., 2001.

FERRAREZI, R. S.; WEAVER, G. M.; VAN IERSEL, M. W.; TESTEZLAF, R. Subirrigation: Historical overview, challenges, and future prospects. **HortTechnology**, v. 25, n. 3, p. 262-276, 2015. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.25.3.262>

FERRAREZI, R. S.; FERREIRA FILHO, A. C.; TESTEZLAF, R. Altura de lâmina e tempo de permanência de água na umidade de substratos em subirrigação. **Horticultura Brasileira**, v. 35, p. 186-194, 2017. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620170206>

FIMBRES-ACEDO, Y.E.; TRAVERSARI, S.; CACINI, S.; COSTAMAGNA, G.; GINEPRO, M.; MASSA, D. Testing the Effect of High pH and Low Nutrient Concentration on Four Leafy Vegetables in Hydroponics. **Agronomy**, v. 13, n. 41, 2023. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010041>

FOCHESATO, M. L.; SOUZA, P. V. D. de.; SCHÄFER, G.; MACIEL, H. S. Produção de mudas cítricas em diferentes porta-enxertos e substratos comerciais. **Ciência Rural**, v. 36, n. 5, p. 1397-1403, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000500008>

FRANCO, D.; CAVALCANTE, I. H. L.; OLIVEIRA, I. V. DE M.; MARTINS, A. B. G. Avaliação de substratos no desenvolvimento inicial de seis porta-enxertos de citros. **Laranja**, v. 28, n. 1-2, p. 61-70, 2007. <https://www.citrusrt.cesm.br/article/5e57b4a20e8825ad205d5a13>

GALLEGOS-CEDILLO V. M.; DIÁNEZ, F.; NÁJERA, C.; SANTOS, M. Plant agronomic features can predict quality and field performance: a bibliometric analysis. **Agronomy**, v. 11, n. 11, p. 2305, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112305>

GIRARDI, E. A.; MOURÃO FILHO, F. A. A.; PIEDADE, S. M. S. Desenvolvimento vegetativo e custo de produção de porta-enxertos de citros em recipientes para fins de subenxertia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 5, p. 679-687, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000500010>

GIRARDI, E. A.; MOURÃO FILHO, F. de A. A.; ALVES, A. S. R. Mudras de laranjeira 'valência' sobre dois porta-enxertos e sob diferentes manejos de adubação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, p. 855-864, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000082>

GIRARDI, E. A.; POMPEU JUNIOR, J.; SOBRINHO, J. T.; SOARES FILHO, W. dos S.; PASSOS, O. S.; CRISTOFANI-YALY, M.; SEMPIONATO, O. R.; STUCHI, E. S.; DONADIO, L. C.; MATTOS JUNIOR, D. de; BASSANEZI, R. B.; GARCIA, L. A. P.; AYRES, A. J. Guia de reconhecimento dos citros em campo: um guia prático para o reconhecimento em campo de variedades de laranja-doce e outras espécies de citros cultivadas no estado de São Paulo e Triângulo Mineiro. **Fundecitrus**, 158 p., 2021. Disponível em: https://www.fundecitrus.com.br/comunicacao/manual_detalhes/guia-dereconhecimento-dos-citros-em-campo/91 >.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. FEALQ, 15. ed., 451 p., 2009.

GOMES, W. de A.; CHALFUN, N. N. J.; FAQUIM, V.; PECHE, P. M.; SOARES FILHO, W. dos S. Produção de porta-enxertos cítricos em hidroponia: production of citrus rootstocks in hydroponic system. **Revista de Ciências da Saúde Nova Esperança**, v. 19, n. 3, p. 155-166, 2021. DOI 10.17695/rcsnevol19n3p155-166

GROSSNICKLE, Steven C.; MACDONALD, Joanne E. Seedling quality: history, application, and plant attributes. **Forests**, v. 9, n. 5, p. 283, 2018. <https://doi.org/10.3390/f9050283>

HAYAT, F.; LI, J.; LIU, W.; LI, C.; SONG, W.; IQBAL, S.; KHAN, U.; UMER JAVED, H.; AHSAN ALTAF, M.; TU, P. Influence of citrus rootstocks on scion growth, hormone levels, and metabolites profile of ‘Shatangju’ mandarin (*Citrus reticulata* Blanco). **Horticulturae**, v. 8, n. 7, p. 608, 2022. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070608>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal 2022**. 2023. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html> >. Acesso em: 08 maio 2024.

KHAN, M. N.; HAYAT, F.; ASIM, M.; IQBAL, S.; ASHRAF, T.; ASGHAR, S. Influence of citrus rootstocks on growth performance and leaf mineral nutrition of ‘Salustiana’ sweet orange [*Citrus sinensis* (L). obsek]. **Journal of Pure and applied Agriculture**, v. 5, n. 1, 2020. <https://ojs.aiou.edu.pk/index.php/jpaa/article/view/1939>

KUMAR, S.; AWASTHI, O. P. ; DUBEY, A.; SHARMA, R. Effect of different rootstocks on growth, leaf sclerophylly and chlorophyll fractions of Kinnow mandarin. **Indian Journal of Horticulture**, v. 74, n. 4, p. 505-509, 2017. DOI: [10.5958/0974-0112.2017.00098.6](https://doi.org/10.5958/0974-0112.2017.00098.6)

LIBERATO, E. M. S. ; LEONEL, S. ; SOUZA, J. M. A.; NAPOLEÃO, G. M. Substrate mixing formulations for Citrus nursery management. **Nativa**, v. 9, n. 5, p. 500-507, 2021. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i5.12777>

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº48 de 24/09/2013. Decreto nº 5.153, de 23 de julho de 2004, nas Instruções Normativas nº 09, de 2 de junho de 2005, nº 24, de 16 de dezembro de 2005 e nº 48, de 24 de setembro de 2013 e o que consta do Processo nº 21000.005235/2012-18.** 2013. Disponível em: < >. Acesso em: 15 jun. 2024.

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F.; REBOITA, M. S. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, p. 129-56, 2018. <https://doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60896>

MATTOS JÚNIOR, D.; RAMOS, U. M.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, P. R. Nitrogênio e cobre na produção de mudas de citros em diferentes porta-enxertos. **Bragantia**, v. 69, p. 135-147, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100018>

OLIVEIRA, V. de S.; ZUCOLOTO, M.; FERREIRA, L. de S.; BARBOSA, D. H. S. G.; SOARES FILHO, W. dos S.; PASSOS, O. S. Productive performance of sweet orange trees on different rootstocks, in the Extreme South of the State of Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 46, p. e-737, 2024. <https://doi.org/10.1590/0100-29452024737>

OUMA, G. Root confinement and irrigation frequency affect growth of rough lemon (*Citrus limon*) seedlings. **Fruits, Montpellier**, v. 60, n. 3, p. 195-202, 2005. <http://dx.doi.org/10.1051/fruits:2005026>

PACHECO, C. de A.; AZEVEDO, F. A. de; SILVA, D. J. da; SHIMIZU, G. D.; CONCEIÇÃO, P. M. da. Postharvest longevity of Fremont IAC 543 mandarin. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 45, p. e-801, 2023. <https://doi.org/10.1590/0100-29452023801>

PASSOS, O. Citrandarin "Indio". **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, 2021. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/5468001/citrandarim-indio> >. Acesso em: 16 abril 2024.

PEIXOTO, C. P.; CERQUEIRA, E. C.; SOARES FILHO, W. S.; CASTRO NETO, M. T.; LEDO, C. A. S.; MATOS, F. S.; OLIVEIRA, J. G. Análise de crescimento de diferentes genótipos de citros cultivados sob déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, p. 439-443, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452006000300022>

PEREZ-ALFOCEA F; ALBACETE A.; GHANEM M. E.; DODD I. A. Hormonal regulation of source–sink relations to maintain crop productivity under salinity: a case study of root-to-shoot signalling in tomato. **Functional Plant Biology**, v. 37, n. 7, p. 592-603, 2010. <https://doi.org/10.1071/FP10012>

POMPEU JÚNIOR, J. Porta-enxertos. *In*: MATTOS JUNIOR, D. de; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JÚNIOR, J. (Ed.). Citros. **Instituto Agronômico e Fundag**, p. 317-344, 2005.

POMPEU JÚNIOR, J.; BLUMER, S. Trifoliate rootstocks for Valencia sweet orange trees. **Citrus R & T**, v. 27, n. 2, p. 287-295, 2006. <https://www.citrusrt.ccsm.br/article/5e57d44a0e8825b6765d5a14>

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; BLUMER, S. Morfologia dos citros. *In*: MATTOS JÚNIOR, D. de; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. (Ed.). Citros. **Instituto Agronômico e Fundag**, p. 105-123, 2005.

RADDATZ-MOTA, D.; FRANCO-MORA, O.; MENDOZA-ESPINOZA, J.A.; RODRÍGUEZ-VERÁSTEGUI, L.L.; LEÓN-SÁNCHEZ, F.D. de; RIVERA-CABRERA, F. Effect of different rootstocks on Persian lime (*Citrus latifolia* T.) postharvest quality. **Scientia horticulturae**, v. 257, p. 108716, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108716>

RODRIGUES, M. J. D. S.; OLIVEIRA, E. R. M. D.; GIRARDI, E. A.; LEDO, C. A. D. S.; SOARES FILHO, W. D. S. Produção de mudas de citros com diferentes combinações copa e porta-enxerto em viveiro protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, p. 187-201, 2016. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-284/14>

SHIMIZU, G. D.; MARUBAYASHI, R. Y. P.; Gonçalves, L. S. A. **AgroR: experimental statistics and graphics for agricultural sciences**. R package version 1.3.6., 2024. Disponível em: < <https://cran.r-project.org/web/packages/AgroR/index.html> >.

SILVA, G. A. da; LANDAU, E. C. Evolução da produção de tangerina (*Citrus reticulata*, Rutaceae). In: LANDAU, E. C.; SILVA, G. A. da; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARÃES, D. P. (Ed.). Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: produtos de origem vegetal. **Embrapa**, v. 2, p. 1273-1300, 2020. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1122548>

SOARES, L. A. dos A.; BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; LIMA, G. S. de; SOARES FILHO, W. dos S.; OLIVEIRA FILHO, E. S. de. Crescimento de combinações copa-porta-enxerto de citros sob estresse hídrico em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 211-217, 2015. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p211-217>

SOMBRA, K. E. S.; SILVA, A. C. C. e; Loureiro, F. L. C.; Andrade, H. M. de; BASTOS, D. C.; Uchôa, C. do N. (2019). Emergência e desenvolvimento inicial de porta-enxertos de citros no semiárido do Ceará, Brasil. **Citrus Research & Technology**, v. 40, p. e1042, 2019. <https://doi.org/10.4322/crt.00162>

SOUZA, A. das G.; FAQUIN, V.; CHALFUN, N. N.; SOUZA, A. A. Produção de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ em sistema hidropônico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 4, p. 902-909, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY A. Fundamentos de fisiologia vegetal. **Artmed Editora**, 6. ed., 2021.

TEIXEIRA, P. de T. L.; SCHÄFER, G.; SOUZA, P. V. D. de; TODESCHINI, A. Desenvolvimento vegetativo de porta-enxertos de citros produzidos em diferentes recipientes. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1695–1700, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000122>

VELAZQUEZ-GONZALEZ, R. S.; GARCIA-GARCIA, A. L.; VENTURA-ZAPATA, E.; BARCEINAS-SANCHEZ, J. D. O.; SOSA-SAVEDRA, J. C. A review on hydroponics and the technologies associated for medium-and small-scale operations. **Agriculture**, v. 12, n. 5, p. 646, 2022. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050646>

WANG, T.; XIONG, B.; TAN, L.; YANG, Y.; ZHANG, Y.; MA, M.; XU, Y.; LIAO, L.; SUN, G.; LIANG, D. Effects of interstocks on growth and photosynthetic characteristics in ‘Yuanxiaochun’Citrus seedlings. **Functional Plant Biology**, v. 47, n. 11, p. 977-987, 2020. <https://doi.org/10.1071/FP20079>

ZHOU, G.; WEI, Q.; LI, B.; ZENG, X.; LIU, G. Establishment and optimization of a hydroponic system for root morphological and nutritional analysis of citrus. **Scientia Agricola**, v. 77, n. 4, p. e20180261, 2019. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0261>

ARTIGO 2 – Nutrição mineral e espectrometria de fluorescência de raios-X em mudas de tangerineira ‘Ponkan’ enxertadas em diferentes porta-enxertos e cultivadas em sistema hidropônico e convencional

Mineral nutrition and X-ray fluorescence spectrometry in ‘Ponkan’ mandarin seedlings grafted onto different rootstocks and cultivated in hydroponic and conventional systems

ROSSI, Maíra Ferreira de Melo. Nutrição mineral e espectrometria de fluorescência de raios-X em mudas de tangerineira ‘Ponkan’ enxertadas em diferentes porta-enxertos e cultivadas em sistema hidropônico e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2024. (versão preliminar)

Abstract - Achieving high yields in citrus orchards depends on acquiring healthy and well-nourished seedlings. In this context, a promising alternative for seedling production is hydroponic cultivation. The nutritional status of seedlings can be evaluated by determining leaf nutrient contents using conventional methods such as digestion with nitric-perchloric acid and analysis by inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES) and, eventually, by X-ray fluorescence spectrometry (pXRF), which has the advantages of speed and economy, but its use still needs validation for quantifying nutrients in plant tissues. The objective of this study was to evaluate leaf nutrient contents and correlate the concentrations quantified by ICP-OES and pXRF methods in 'Ponkan' mandarin seedlings produced on different rootstocks in conventional and hydroponic systems. Two experiments were conducted, one in the conventional system and the other in a 'Floating' hydroponic system. The experimental design was a randomized block, with treatments consisting of five rootstocks: 'Swingle' citrumelo, 'Rangpur' lime, 'Limeira' trifoliolate, 'Rubidoux' trifoliolate, and 'Índio' citrandarin. Leaves were collected at the rootstock stage and later from grafted seedlings, which were subjected to leaf analyses. The concentrations of macronutrients N, P,

and K in rootstocks and seedlings reached adequate levels, however, Ca showed averages below the range indicated for citrus. A greater accumulation of micronutrients in leaves was observed in hydroponics in the rootstock stage, while the highest averages were obtained in conventional cultivation. The pXRF and ICP-OES leaf nutrient content assessment methods showed strong correlations for some elements evaluated in the seedlings, such as P, K, and Ca, and the micronutrients Fe, Mn, Cu, and Zn in the conventional system.

Index terms: *Citrus reticulata* Blanco, Leaf diagnosis, Hydroponic cultivation, ICP-OES.

Resumo - A obtenção de altas produções em pomares de citros passa pela aquisição de mudas saudáveis e bem nutridas. Nesse contexto, uma alternativa promissora para a produção de mudas é o cultivo hidropônico. O estado nutricional das mudas pode ser avaliado por meio da determinação dos teores foliares de nutrientes, utilizando-se métodos convencionais como a digestão com ácido nitro-perclórico e análise por espectroscopia de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) e, eventualmente, por fluorescência de raios-X (pXRF), que tem como vantagem a rapidez e economicidade, mas seu uso ainda precisa ser validado para a quantificação de nutrientes nos tecidos vegetais. O objetivo deste trabalho foi avaliar os teores foliares de nutrientes e correlacionar os teores quantificados pelos métodos do ICP-OES e pXRF em mudas de tangerineira ‘Ponkan’ produzidas em diferentes porta-enxertos nos sistemas convencional e hidropônico. Foram conduzidos dois experimentos, um no sistema convencional e outro em sistema hidropônico do tipo ‘Floating’. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, sendo os tratamentos constituídos por cinco porta-enxerto: citrumeleiro ‘Swingle’, limoeiro ‘Cravo’, trifoliateiro ‘Limeira’, trifoliateiro ‘Rubidoux’ e citrandarineiro ‘Índio’. Foram coletadas folhas na fase de porta-enxertos e, posteriormente, nas mudas enxertadas, as quais foram submetidas às análises foliares. A concentração dos macronutrientes N, P e K em porta-enxertos e nas mudas atingiu níveis

adequados, contudo o Ca apresentou médias abaixo da faixa indicada para citros. Maior acúmulo de micronutrientes nas folhas foi verificado em hidroponia na fase de porta-enxertos enquanto nas mudas as maiores médias foram obtidas no cultivo convencional. Os métodos de avaliação de teores foliares de nutrientes pXRF e ICP-OES apresentaram fortes correlações para alguns elementos avaliados nas mudas como P, K e Ca e os micronutrientes Fe, Mn, Cu e Zn no sistema convencional.

Termos para indexação: *Citrus reticulata* Blanco, Cultivo hidropônico, Diagnose foliar, ICP-OES.

1 Introdução

O gênero *Citrus* compreende espécies de importância econômica como as laranjeiras e as tangerineiras. O estado de Minas Gerais se destaca especialmente pela produção de tangerineiras, como a ‘Ponkan’ (*Citrus reticulata* Blanco), variedade mais produzida e consumida em território nacional (Silva; Landau, 2020).

Diversos problemas fitossanitários podem afetar e comprometer a produção de citros. Por esse motivo são necessárias ações preventivas desde o início da formação das mudas, as quais devem ser produzidas em ambiente protegido em viveiros credenciados e livres de pragas e doenças (Carvalho et al., 2019). As mudas cítricas são produzidas por meio da técnica de enxertia, assim, a escolha adequada das cultivares copa e porta-enxerto é fundamental (Cruz et al., 2019). Os porta-enxertos interferem nas características da planta como vigor, tamanho da copa, resistência a doenças e tolerância a estresses. Essa parte da muda, que forma o sistema radicular, deve ser eficaz na absorção de água e nutrientes, para assim manter as funções vitais da planta (Marques et al., 2021). Apesar da ampla variedade genética dos citros, os porta-enxertos predominantemente usados atualmente no Brasil são limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck) e citrumeleiro ‘Swingle’ [*Citrus paradisi* Macfad. ×

Poncirus trifoliata (L.) Raf.] (Buffon et al., 2021). O limoeiro ‘Cravo’ é muito utilizado principalmente devido ao seu alto vigor, rusticidade e tolerância ao déficit hídrico, além de proporcionar aos cultivos altas produtividades e precocidade, contudo, apresenta suscetibilidade à gomose (*Phytophthora* spp.) e à morte súbita dos citros (Malikouski et al., 2022). O citrumeleiro ‘Swingle’, por sua vez, apresenta tolerância ao vírus da tristeza, ao exocorte e à morte súbita dos citros (Girardi et al., 2021), porém, é intolerante à seca e incompatível com a cultivar laranjeira ‘Pera’ (Oliveira et al., 2024).

Devido à necessidade de diversificação dos porta-enxertos, outras cultivares podem ser utilizadas como os citrandarins, que proporcionam alto rendimento, permitem maior adensamento das plantas e eficiência produtiva (Barbosa et al., 2023). Além das já citadas, outras cultivares porta-enxerto podem ser utilizados, como os trifoliateiros, considerados altamente tolerantes ao frio (Girardi et al., 2021). Assim, a escolha adequada do porta-enxerto é essencial para o sucesso do pomar.

Devido aos avanços no cultivo e manejo dos pomares, inclusive na produção de mudas em cultivo protegido, são obtidas mudas com garantia de origem genética e fitossanitária, livre de pragas e doenças (MAPA, 2013). Nesse sentido, a modernização das formas de cultivo visa aproveitar os espaços e utilizar a agricultura de precisão para acelerar a produção e aumentar os rendimentos. Uma alternativa para a formação de mudas é a utilização de sistemas hidropônicos, que possibilitam maior controle do ambiente de produção e maior eficiência no fornecimento de nutrientes por meio do uso de solução nutritiva (Velazquez-Gonzalez et al., 2022). Em sistemas hidropônicos pode ou não haver o uso de um meio para suporte mecânico das plantas, como por exemplo, a vermiculita. Os nutrientes fornecidos às plantas são diluídos na água para que sejam atendidas as necessidades nutricionais da cultura (Agrawal et al., 2020).

O atendimento às necessidades nutricionais das mudas, tanto qualitativamente quanto quantitativamente, é determinante para a produção de mudas de qualidade, capazes de expressar no campo a sua máxima capacidade produtiva, inclusive apresentando melhor reação frente aos inúmeros problemas fitossanitários (Bataglia et al., 2008). As práticas de cultivo, combinações copas e porta-enxertos e a exportação de nutrientes na colheita causam variações do estado nutricional dos citros, além das características próprias dos solos e o clima (Mattos Júnior et al., 2005).

O estado nutricional das plantas cítricas pode ser determinado por métodos convencionais de análises químicas foliares por meio de digestão com ácido nitro-perclórico e leitura por espectroscopia de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). Atualmente uma alternativa promissora para análises foliares é o uso do equipamento de fluorescência de raios-X portátil (pXRF). Essa ferramenta apresenta várias vantagens em relação ao método tradicional, como a redução de resíduos gerados, a praticidade e rapidez da análise, além de ser uma forma mais econômica e sustentável, pois não utiliza reagentes químicos. O pXRF possibilita a realização de análises não destrutivas que podem ser feitas diretamente no campo ou em condições de laboratório usando pequenas amostras (Andrade et al., 2023). Porém, ainda são poucos os estudos que avaliaram o pXRF como ferramenta de análise foliar em culturas perenes, especialmente na citricultura, assim como ainda são limitadas as pesquisas a respeito da formação de mudas cítricas em hidroponia, as respostas das plantas aos nutrientes fornecidos por esse meio e as concentrações acumuladas nas mudas. Assim, objetivou-se com esse trabalho avaliar os teores foliares de nutrientes e correlacionar os teores quantificados pelos métodos do ICP-OES e pXRF na formação de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ produzidas em diferentes porta-enxertos nos sistemas de produção convencional e hidropônico.

2 Material e Métodos

Foram realizados dois experimentos, conduzidos simultaneamente, em dois locais. A produção de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ (*Citrus reticulata* Blanco) foi realizada em sistema convencional utilizando sacolas plásticas e substrato comercial, enquanto a produção em sistema hidropônico, com tubetes contendo vermiculita, foi conduzida em piscinas de hidroponia tipo ‘Floating’. O clima local é caracterizado como Cwa, temperado quente com período seco no inverno (Martins et al., 2018).

Os tratamentos consistiram em cinco porta-enxertos utilizados para a formação de mudas: citrumeleiro ‘Swingle’ [*Citrus paradisi* Macfad. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.]; limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osb.); trifoliatoeiro ‘Limeira – IAC382’ [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.]; trifoliatoeiro ‘Rubidoux – IAC 835’ [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] e citrandarineiro ‘Índio’ [*Citrus sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. ‘English’].

As sementes utilizadas na produção dos porta-enxertos foram semeadas em 06 de julho de 2022, em telado revestido por tela antiafídeo, com cobertura plástica e irrigação por nebulização intermitente. Foram utilizadas bandejas plásticas de 187 células contendo tubetes de 50 cm³, preenchidos com vermiculita. Aos três meses após a semeadura, com aproximadamente 10 cm de altura, os porta-enxertos foram transplantados para outros recipientes, sendo que metade foi conduzida no sistema convencional de produção de mudas e a outra metade foi utilizada no cultivo hidropônico. O delineamento experimental utilizado para cada local foi de blocos casualizados, com cinco tratamentos, quatro blocos e 18 plantas por parcela, totalizando assim 360 plantas por experimento.

No sistema convencional os porta-enxertos foram transplantados para sacolas plásticas com dimensão de 18 x 30 cm e capacidade de 3,1 dm³, preenchidas com substrato comercial composto por 20% de casca de pinus estabilizada e 80% condicionador de solo classe A (fibra de celulose e cinzas). Foram adicionados ao substrato oito gramas por recipiente de

fertilizante de liberação controlada Basacote Plus 9M contendo: 16% de nitrogênio (N), 8% de fosfato (P_2O_5), 12% de óxido de potássio (K_2O), 2% de óxido de magnésio (MgO), 5% de enxofre (S), 0,02% de boro (B), 0,05% de cobre (Cu), 0,4% de ferro (Fe), 0,06% de manganês (Mn), 0,015% de molibdênio (Mo), 0,02% de zinco (Zn). Nessa fase, foram realizadas irrigações, desbaste de plantas, controle de plantas daninhas e aplicações de inseticidas conforme necessário.

No sistema hidropônico, os porta-enxertos foram transplantados para tubetes de 280 cm³ preenchidos com vermiculita dispostos em grades plásticas que serviram como suporte, dispostas dentro de telado coberto com tela antiáfídeo. As grades contendo os tubetes foram alocadas em “piscinas” no sistema ‘Floating’, com dimensões 3,00 x 0,60 x 0,20 m, dispostas em bancadas de 0,8 m de altura. Dessa forma, o fundo dos tubetes e, conseqüentemente, as raízes dos porta-enxertos ficaram em contato permanente com a solução nutritiva.

A solução padrão utilizada foi composta por 720 g de Max Sal Hidrogood Fert[®] NPK 10-09-28: 10% de nitrogênio (N), 9% de fosfato (P_2O_5), 28% de óxido de potássio (K_2O), 3,38% de magnésio (Mg), 4,3% de enxofre (S), 0,06% de boro (B), 0,01% de cobre (Cu), 0,05% de manganês (Mn), 0,07% de molibdênio (Mo), 0,02% de zinco (Zn) e 0,007% de níquel (Ni); 540 g de Calcium (Calcium Nitrate 15,5-0-0 + 26,5 CaO) e 40 g de EDTAFe (Quelato de Ferro EDDHA), diluídos em 1000L de água. O pH e a condutividade elétrica, mensurados semanalmente, variaram entre 5,4 a 6,3 e 1,75 a 1,9 mS.cm⁻¹, respectivamente (Fimbres-Acedo et al., 2023) para acompanhamento das condições da solução nutritiva, substituída mensalmente. No cultivo hidropônico também foram realizados o controle de plantas daninhas, desbrotas e aplicações de inseticida para controlar eventuais pragas.

A enxertia foi realizada nos dois experimentos, seis meses após o transplântio dos porta-enxertos, quando estes atingiram diâmetro de caule adequado, em torno de 6 mm, Borbulhas da variedade copa de tangerineira ‘Ponkan’ (*Citrus reticulata* Blanco) foram

enxertadas por meio da técnica de borbulhia em “T” invertido a altura de 10 a 20 cm do colo das plantas. Foi feito amarrão com fita de enxertia e realizada a envergadura do porta-enxerto logo acima da enxertia para o forçar o pegamento, após um mês foi realizada a decapitação do porta-enxerto acima do ponto de soldadura. Antes da realização da enxertia, seis plantas de cada parcela foram retiradas de seus respectivos recipientes e utilizadas nas avaliações dos teores foliares de nutrientes dos porta-enxertos.

Foram realizadas quatro adubações complementares, após a enxertia, no cultivo convencional, com fertilizante na formulação 4-14-8 (4% de N, 14% de P_2O_5 e 8% de K_2O) aplicando-se 20 g por planta e três adubações de fertilizante foliar Complex 151[®] (Nutriplant), de composição N (5%), P_2O_5 (11%), K_2O (16%), Ca (2%), Mg (2%), S (5%), B (1,5%), Cu (0,5%), Fe (0,1%), Mn (0,5%), Mo (0,2%), Zn (4%), utilizando-se 40 g diluídos em 20 L de água em cada aplicação. As adubações foram realizadas de acordo com as recomendações de Carvalho et al. (2005). As plantas foram tutoradas e conduzidas em haste única até atingirem tamanho de uma muda comercial, em que a haste principal é podada com 30 a 60 cm de altura medida a partir do colo da planta, quando então foram realizadas análises da muda pronta para o plantio.

Foram coletados os dados de temperatura nos dois locais de produção de mudas, sistema convencional e hidropônico, por meio de Datalogger de temperatura modelo HT-810 Instrutherm. As médias mensais desde o transplantio para cada sistema de cultivo até a fase de muda pronta para a comercialização estão apresentadas na Figura 1.

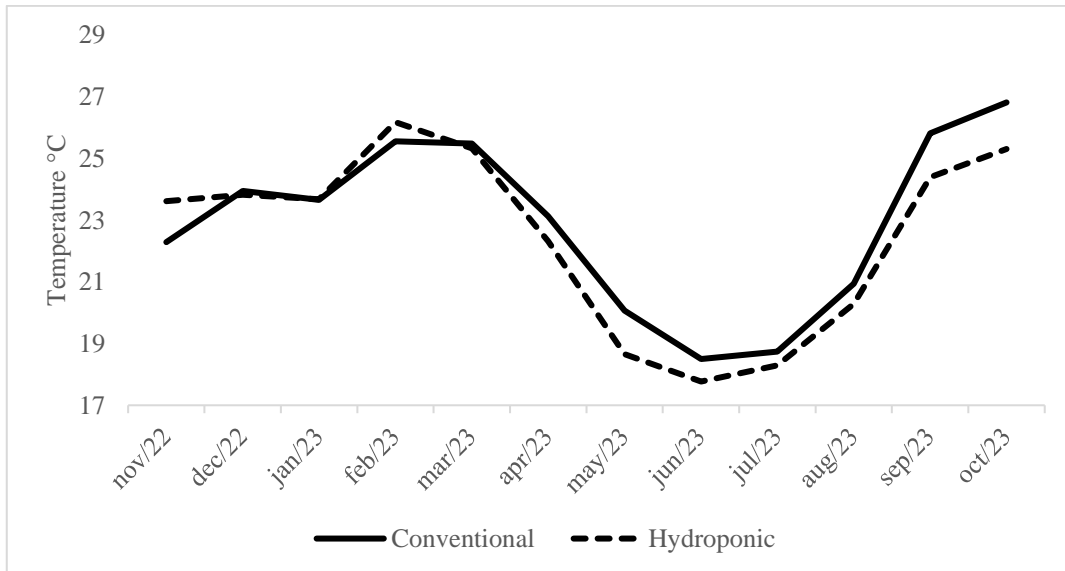


Figura 1. Temperatura (°C) média mensal dentro de telados nos quais foram produzidas as mudas de tangerineira ‘Ponkan’, em cultivo convencional e hidropônico.

Aos seis meses após a enxertia, foram determinados os teores de nutrientes presentes nas folhas de nove mudas por parcela, por meio de dois métodos. As plantas foram retiradas de seus respectivos recipientes e as folhas foram secas em estufa a 65 °C até atingirem peso constante e moídas a espessura de 1 mm (Acosta et al., 2023). Foi realizada primeiramente a análise com o equipamento portátil de fluorescência raios-X (pXRF), modelo Tracer 5g (Bruker Analytical Instrumentation, Billerica, MA, EUA) que contém um tubo de raios-X de Rh com 50 keV e 100 μ A. As análises foram realizadas em triplicata, no modo ‘Plants’, 60 segundos para cada amostra e, ao final, foi utilizada a média das leituras.

As mesmas amostras utilizadas para a análise no pXRF foram submetidas às análises químicas foliares. Para isso, foi realizada a digestão com solução ácida de $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$, na proporção 2:1 v/v. Foi pesado 0,5 gramas por amostra, transferidos para tubos de 50 mL e adicionado 6 mL do ácido nitro-perclórico. As soluções formadas pela digestão por via úmida foram avaliadas por espectroscopia de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) (Spectro Analytical Instruments Inc., Kleve, Alemanha) para a quantificação dos nutrientes nas folhas.

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk, Bartlett e Durbin-Watson para que fossem verificados os pressupostos de normalidade dos erros, homogeneidade das variâncias e independência dos erros, respectivamente. Para cada variável foi realizada a análise de variância (ANOVA) a 5% de significância e foi calculada a razão entre os quadrados médios do erro das análises individuais de cada experimento, cultivo convencional e hidropônico, para verificar a homogeneidade dos experimentos avaliados. Foi realizada, então, a Análise Conjunta, quando a razão foi inferior a 7, para comparar os porta-enxertos nos dois experimentos (Gomes, 2009).

As médias foram comparadas com o teste de Tukey, a nível de 5% de significância. Para as análises que resultaram em interação significativa entre sistemas de cultivo e tratamentos (variedades de porta-enxertos), foi aplicado o teste de médias para as variedades porta-enxerto e para os sistemas de cultivo (experimentos). Foi utilizado o AgroR Shiny, aplicativo Shiny que integra o pacote AgroR do Software R (Shimizu et al., 2024) para a realização das análises.

Os dados de pXRF foram comparados com os resultados das análises por ICP através de correlações de Pearson, utilizando-se o pacote corrplot (Wei; Simko, 2021) do software R (R Core Team, 2024).

3 Resultados e Discussão

Houve interação significativa entre os sistemas de cultivo (experimentos) e tratamentos (variedades de porta-enxerto) para o teor foliar de K quando avaliado nos porta-enxertos e nas mudas. Assim, para esse elemento, foi possível realizar o desdobramento entre as variedades e os sistemas de cultivo. Todos os teores de micronutrientes e os macronutrientes Mg e S das folhas dos porta-enxertos, foram avaliados separadamente para cada sistema de cultivo, pois a razão entre os quadrados médios residuais foi superior a 7, o

que impossibilitou a realização da análise conjunta. N, P e Ca não resultaram em interação significativa entre os fatores, assim, foi calculada a média geral dos dois sistemas. Também não houve interação significativa entre os fatores para os nutrientes N, P, Mg, S e Fe das mudas. Os elementos Ca, Cu, Mn e Zn foram analisados separadamente em cada sistema, pois a razão entre os quadrados médios dos resíduos foi maior que 7.

As médias a seguir mostram as concentrações de macronutrientes encontradas nas folhas retiradas dos porta-enxertos, aos 270 dias após a semeadura, antes da realização da enxertia, pelo método do ICP (Tabela 1). Não apresentaram diferença significativa entre os porta-enxertos avaliados os nutrientes N e P. Os valores médios obtidos para esses elementos variaram de 30,74 g kg⁻¹ a 33,16 g kg⁻¹ para o nitrogênio e de 1,19 g kg⁻¹ a 1,64 g kg⁻¹ para o fósforo.

Tabela 1. Teores médios de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) (g kg⁻¹) nas amostras de folhas de diferentes porta-enxertos produzidos em sistema convencional e hidropônico pelo método do ICP.

Cultivares	N	P	K		Ca	Mg		S	
			conv.	hidrop.		conv.	hidrop.	conv.	hidrop.
C. Swingle	32,04 a +	1,19 a -	20,63 bA +	22,31 aA +	9,98 b -	1,46 a -	8,46 ab +	2,13 bc	2,47 a
L. Cravo	30,74 a +	1,21 a	22,25 bA +	22,64 aA +	8,91 b -	1,24 a -	5,42 b +	1,66 c -	2,27 a
T. Limeira	32,09 a +	1,64 a +	31,88 aA +	19,64 aB +	8,38 b -	1,04 a -	9,12 ab +	2,86 a	3,05 a +
T. Rubidoux	31,26 a +	1,63 a +	31,35 aA +	19,78 aB +	9,27 b -	0,85 a -	13,15 a +	2,71 a	2,71 a
C. Índio	33,16 a +	1,63 a +	26,38 abA +	23,94 aA +	12,78 a -	1,34 a -	9,60 ab +	2,55 ab	3,29 a +
CV (%)	7,5	17,83	6,16	13,37	20,11	18,87	22,23	8,26	17,89

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Faixas de interpretação dos teores de nutrientes nas folhas, baixo (-) e alto (+), de acordo com Quaggio et al. (2022)

Resultados semelhantes foram obtidos por Girardi et al. (2010) ao avaliarem os porta-enxertos limoeiro ‘Cravo’ e citrumeleiro ‘Swingle’ aos 90 dias após o transplante sob diferentes manejos de adubação, entre elas, a utilização de fertilizante de liberação controlada,

semelhante ao que foi aplicado no cultivo convencional, e fertirrigação. Os referidos autores verificaram concentrações foliares de N de 29,8 g kg⁻¹ para limoeiro ‘Cravo’ e 32,3 g kg⁻¹ para citrumeleiro ‘Swingle’. Fósforo alcançou valores médios de 1,7 e 2,0, respectivamente, para os dois porta-enxertos. O teor de K nas folhas foi em média 21,7 g kg⁻¹ para limoeiro ‘Cravo’ e 20,3 g kg⁻¹ para citrumeleiro ‘Swingle’, sendo que as médias observadas para o manejo com fertirrigação foram maiores do que quando se utilizou fertilizante de liberação lenta.

No presente estudo, entre os macronutrientes encontrados nas folhas, K foi o único em que foi possível a comparação dos teores entre os diferentes sistemas de produção (convencional e hidropônico). O sistema convencional proporcionou maior acúmulo desse macronutriente nas folhas dos porta-enxertos trifoliateiro ‘Limeira’ e trifoliateiro ‘Rubidoux’, se comparado ao cultivo hidropônico. Na hidroponia não houve diferença significativa entre os porta-enxertos avaliados, enquanto no sistema convencional as maiores médias foram observadas nos trifoliateiros e no citrandarineiro ‘Índio’.

A avaliação dos teores foliares dos porta-enxertos foi realizada seis meses após o transplântio, nesse período o fertilizante de liberação lenta pode sofrer lixiviação com as regas diárias e ao longo do tempo diminuir o fornecimento dos nutrientes, sendo que de acordo com o fabricante a liberação dos nutrientes ocorre em um período de até nove meses. Dessa forma, pode ser necessária a complementação com outras formas de adubação, especialmente no caso das mudas de citros que podem ficar por até 18 meses em viveiro.

Os teores de K apresentaram-se inicialmente mais altos, aos 60 dias, com o uso de fertilizante de liberação lenta fórmula 17-07-12 mas tenderam a se igualar à adubação convencional aos 180 dias para os porta-enxertos limoeiro ‘Cravo’ e tangerineira ‘Sunki’ (Almeida et al., 2012). As perdas por lixiviação podem ocorrer principalmente para N e K, enquanto P apresenta menor mobilidade no substrato, o que pode ter contribuído para os

níveis observados nas folhas, que variaram de 1,19 g kg⁻¹ (citrumeleiro ‘Swingle’) a 1,64 g kg⁻¹ (trifoliateiro ‘Limeira’) e não se diferenciaram significativamente entre si, para os porta-enxertos avaliados. Para o macronutriente P, a faixa adequada de concentração nas folhas é de 1,2 g kg⁻¹ a 1,6 g kg⁻¹ (Quaggio et al., 2022).

A resposta em função do vigor dos trifoliateiros em cultivo hidropônico pode ter sido mais lenta e dificultada em relação ao sistema convencional, o que explica os menores teores foliares de K observado para esses porta-enxertos em hidroponia. Entretanto, as plantas possuem requerimentos nutricionais específicos, podendo haver necessidade de adaptação da solução para cada espécie e variedade a ser cultivada, especialmente no caso de espécies lenhosas.

O citrandarineiro ‘Índio’ apresentou maior teor de Ca (12,78 g kg⁻¹), enquanto as demais cultivares porta-enxertos não se diferenciam entre si. O cálcio é um dos nutrientes mais exigidos na citricultura, sendo o nutriente em maior concentração nas folhas de plantas cítricas diferente de outras culturas nas quais geralmente é o nitrogênio (Quaggio et al., 2022). Estudos que avaliaram a concentração de Ca nas folhas de diferentes porta-enxertos indicam valores diversos, desde 14,1 g kg⁻¹ (Girardi et al., 2010) a 18,11 g kg⁻¹ (Fochesato et al., 2007) em limoeiro ‘Cravo’. Para os trifoliateiros, Fochesato et al. (2007) obtiveram a concentração de 16,70 g kg⁻¹ em avaliação aos 265 dias após a repicagem.

Zhou et al. (2019) ao avaliarem o desenvolvimento de *Poncirus trifoliata* em hidroponia e em cultivo com solo, obtiveram para o teor de Ca nas folhas médias semelhantes nos dois sistemas menos de 3 meses após o transplante, sendo 12,42 g kg⁻¹ para o cultivo convencional e 12,74 g kg⁻¹ em hidroponia. No presente estudo, os trifoliateiros atingiram médias inferiores, sendo que o citrandarineiro ‘Índio’ foi o porta-enxerto que mais se aproximou dessa concentração.

O nutriente Mg não apresentou diferenças significativas entre os porta-enxertos no cultivo convencional, assim como S não se diferenciou estatisticamente entre os tratamentos avaliados no cultivo hidropônico. Para esses elementos, o limoeiro ‘Cravo’ alcançou as menores médias de Mg em hidroponia e S em cultivo convencional. A seletividade da absorção dos nutrientes apresentada pelos porta-enxertos pode ser explicada pela preferência de absorção de um elemento, o qual pode causar diminuição na absorção de outros nutrientes, como é o caso do efeito negativo à absorção de magnésio que pode ser ocasionada pelo excesso de potássio (Pompeu Júnior, 2005). Isso pode explicar o comportamento dos trifoliateiros, que acumularam grandes quantidades de K no cultivo convencional, enquanto a menor concentração de Mg foi observada em trifoliateiro ‘Rubidoux’.

De acordo com Quaggio et al. (2022), as faixas para interpretação de macronutrientes indicam valores inferiores a 2 g kg^{-1} para S como abaixo do esperado, o que foi observado para limoeiro ‘Cravo’ ($1,66 \text{ g kg}^{-1}$) em cultivo convencional. A concentração adequada de S nas folhas é de $2,0 \text{ g kg}^{-1}$ a $3,0 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto valores superiores a 3 g kg^{-1} mostram excesso desse nutriente. Na hidroponia, apesar de citrandarineiro ‘Índio’ ter ultrapassado a faixa ideal ($3,29 \text{ g kg}^{-1}$), não houve diferença significativa entre os porta-enxertos.

Assim, embora não tenha sido possível a comparação entre os sistemas para este nutriente, observa-se na Tabela 1 que os teores de S em hidroponia foram numericamente superiores em relação ao convencional. As porcentagens de S fornecidas via hidroponia (4,3% de S) e pelo cultivo convencional com o uso de fertilizante de liberação lenta (5% de S) foram semelhantes, contudo, como o fornecimento do nutriente foi feito de formas diferentes, a absorção pelas raízes pode ser completamente modificada. Além disso, a solução nutritiva utilizada no sistema hidropônico foi substituída mensalmente, o que pode ter influenciado o provimento de nutrientes às plantas. Dessa forma, o fornecimento de S via solução nutritiva

pode ter sido mais eficaz, pois todos os porta-enxertos apresentaram níveis adequados para esse macronutriente nesse sistema de produção.

Os teores de micronutrientes das folhas dos porta-enxertos foram avaliados separadamente para cada local. Os trifoliateiros e o citrandarineiro ‘Índio’ apresentaram maiores médias do teor de B enquanto as menores médias foram observadas em citrumeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’, nos dois experimentos, convencional e hidroponia (Tabela 2). De acordo com Mattos Júnior et al. (2008), o teor de Boro para os porta-enxertos citrumeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’ em fase de sementeira em viveiro pode variar de 50 a 110 mg kg⁻¹.

Tabela 2. Teores médios de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) (mg kg⁻¹) nas amostras de folhas de diferentes porta-enxertos produzidos em sistema convencional e hidropônico pelo método do ICP.

Cultivares	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	conv.	hidrop.	conv.	hidrop.	conv.	hidrop.	conv.	hidrop.	conv.	hidrop.
C. Swingle	36,77 bc -	173,15 b +	3,37 a -	81,45 c +	78,33 ab	113,33 a	10,63 a -	44,75 ab	7,93 a -	51,35 a
L. Cravo	29,23 c -	169,87 b +	4,43 a -	105,57 bc +	74,00 b	141,00 a	8,90 a -	35,27 b	7,30 a -	51,77 a
T. Limeira	66,50 a	288,10 ab +	3,90 a -	197,67 ab +	80,67 ab	150,33 a +	6,30 a -	52,93 ab	8,70 a -	85,93 a
T. Rubidoux	77,37 a	314,90 a +	3,97 a -	176,00 ab +	77,67 ab	185,67 a +	6,10 a -	50,87 ab	6,40 a -	73,00 a +
C. Índio	54,93 ab	300,83 ab +	3,97 a -	205,53 a +	101,67 a	187,67 a +	10,27 a -	63,97 a +	9,17 a -	93,50 a +
CV (%)	16,47	20,15	13,78	21,82	11,18	27,19	25,73	18,01	22,73	24,26

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Faixas de interpretação dos teores de nutrientes nas folhas, baixo (-) e alto (+), de acordo com Quaggio et al. (2022)

Observa-se que as médias do teor foliar de B foram aproximadamente quatro vezes mais altas nos porta-enxertos em cultivo hidropônico, sendo que a maior média foi de 314,90 mg kg⁻¹ para trifoliateiro ‘Rubidoux’, enquanto para o mesmo porta-enxerto foi obtida média de 77,37 mg kg⁻¹ no cultivo convencional. De acordo com Quaggio et al. (2022), a faixa ideal para esse micronutriente nas folhas é de 50 mg kg⁻¹ a 150 mg kg⁻¹. Dessa forma, para todos os

porta-enxertos em hidroponia foi verificado excesso desse nutriente e em cultivo convencional os porta-enxertos citrumeleiro 'Swingle' (36,77 mg kg⁻¹) e limoeiro 'Cravo' (29,23 mg kg⁻¹) apresentaram deficiência, com valores inferiores a 50 mg kg⁻¹.

Apesar de outras circunstâncias influenciarem na disponibilidade e absorção dos micronutrientes pelos porta-enxertos, o fornecimento de quantidade superior de boro na solução nutritiva se comparado ao fertilizante de liberação lenta utilizado no cultivo convencional pode explicar a dose superior encontrada nas folhas. Apesar de os micronutrientes serem fornecidos em quantidades menores se comparado aos macronutrientes, na solução nutritiva (0,06% B) foi fornecida quantidade três vezes superior àquela no cultivo convencional (0,02% B).

O micronutriente Cu não mostrou diferença significativa entre os porta-enxertos cultivados em sistema convencional, sendo que as médias observadas variaram de 3,37 mg kg⁻¹ a 4,43 mg kg⁻¹. Os valores de referência de Cu indicam faixa ideal de 10 mg kg⁻¹ a 20 mg kg⁻¹ (Quaggio et al., 2022). Assim, em cultivo convencional ocorreu deficiência desse nutriente nos porta-enxertos.

Em hidroponia, contudo, foram verificadas médias cerca de 20 vezes maiores muito superiores que no cultivo convencional. A maior concentração observada foi para o citrandarineiro 'Índio' (205,53 mg kg⁻¹), que se diferenciou estatisticamente de citrumeleiro 'Swingle' (81,45 mg kg⁻¹) e limoeiro 'Cravo' (105,57 mg kg⁻¹), os quais atingiram as menores médias. Girardi et al. (2010) também obtiveram altos valores de Cu em folhas de porta-enxertos sob diferentes manejos de adubação, em que o limoeiro 'Cravo' obteve a média de 180 mg kg⁻¹ e citrumeleiro 'Swingle' 344 mg kg⁻¹.

O crescimento de porta-enxertos em sistema convencional pode apresentar deficiências de Cu em fase de viveiro, como observado neste estudo. Porém, em plantas adultas em produção, não é comum a ocorrência dessa deficiência já que são realizadas

periodicamente pulverizações com fungicidas à base de cobre durante o florescimento, suprindo as necessidades da planta. Assim, a recomendação de aplicação de cobre para evitar deficiência nutricional é mais importante em pomares em formação (Quaggio et al., 2005).

Em cultivo hidropônico o Fe foi outro micronutriente que apresentou concentrações elevadas sem, contudo, se diferenciar significativamente entre os porta-enxertos. Já no sistema convencional a maior média foi observada para citrandarineiro ‘Índio’ (101,67 mg kg⁻¹) e a menor em limoeiro ‘Cravo’ (74 mg kg⁻¹). Apesar das variações observadas entre os experimentos e os porta-enxertos, esse micronutriente encontra-se na faixa adequada de 50 mg kg⁻¹ a 150 mg kg⁻¹ (Quaggio et al., 2022), exceto para o trifoliato ‘Rubidoux’ e citrandarineiro ‘Índio’ que atingiram médias superiores a esse limite na hidroponia, contudo não se diferenciaram estatisticamente dos demais porta-enxertos.

As concentrações foliares dos micronutrientes Mn e Zn não se diferenciam entre os porta-enxertos no cultivo convencional, onde mantiveram valores médios de 6,10 mg kg⁻¹ a 10,63 mg kg⁻¹ para Mn e de 6,40 mg kg⁻¹ a 9,17 mg kg⁻¹ para Zn. Em hidroponia, Zn também não apresentou diferença significativa, mas as médias foram maiores, variando entre 51,35 mg kg⁻¹ nas folhas de citrumeleiro ‘Swingle’ e 93,50 mg kg⁻¹ para citrandarineiro ‘Índio’.

A maior concentração de Mn, no sistema hidropônico, foi encontrada em citrandarineiro ‘Índio’ (63,97 mg kg⁻¹), contudo esse porta-enxerto não apresentou diferença significativa dos demais, exceto para o limoeiro ‘Cravo’ (35,27 mg kg⁻¹), que atingiu a menor média. As altas médias de teores foliares de Mn e Zn observadas em citrandarineiro ‘Índio’, tanto em cultivo hidropônico quanto convencional, podem ser explicadas por uma provável maior demanda dos citrandarins por esses nutrientes devido ao parental trifoliata desses porta-enxertos híbridos (Giradi et al., 2021).

Assim como observado na fase de porta-enxertos, a avaliação da nutrição mineral das folhas retiradas das mudas de tangerineira ‘Ponkan’ seis meses após a enxertia, não

apresentou diferenças significativas entre as variedades avaliadas para os macronutrientes N e P. Já o macronutriente K, analisado nas mudas, apresentou diferenças significativas entre os porta-enxertos e entre os sistemas de cultivo. Em hidroponia as médias foram superiores às obtidas em cultivo convencional, para todos os porta-enxertos avaliados (Tabela 3).

Tabela 3. Teores médios de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) (g kg^{-1}) nas amostras de folhas de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ produzidas com diferentes porta-enxertos em sistema convencional e hidropônico pelo método do ICP.

Cultivares	N	P	K		Ca		Mg	S
			conv.	hidrop.	conv.	hidrop.		
C. Swingle	36,31 a +	1,58 a	24,97 aB +	33,82 aA +	20,87 ab -	9,00 a -	3,20 a -	2,23 a
L. Cravo	36,14 a +	1,50 a	24,52 abB +	28,97 bA +	15,78 bc -	8,30 ab -	2,53 b -	2,07 a
T. Limeira	38,44 a +	2,01 a +	19,37 cB +	28,72 bA +	11,74 c -	6,10 c -	3,09 ab -	2,26 a
T. Rubidoux	37,06 a +	1,91 a +	20,86 bcB +	28,51 bA +	12,85 c -	5,91 c -	3,13 ab -	2,15 a
C. Índio	34,33 a +	1,44 a	19,20 cB +	30,20 abA +	22,76 a -	6,90 bc -	3,11 ab -	2,06 a
CV (%)	6,28	17,69	6,97	7,22	14,16	10,04	7,08	8,77

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Faixas de interpretação dos teores de nutrientes nas folhas, baixo (-) e alto (+), de acordo com Quaggio et al. (2022)

O mesmo comportamento foi observado por Sau et al. (2018) ao avaliarem a composição mineral de folhas de tangerineira ‘Nagpur’ (*Citrus reticulata* Blanco) com diferentes combinações copa-porta-enxerto. Os autores observaram variação acentuada na composição mineral foliar de K, diferentemente de N e P, que não apresentaram diferenças significativas entre os porta-enxertos. As diferenças significativas nos teores foliares de K podem ser explicadas pela variabilidade na seletividade de absorção de nutrientes de cada porta-enxerto (Kumar et al., 2017).

Em cultivo convencional a maior concentração de K foi observada nas mudas em que o porta-enxerto utilizado foi citrumeleiro ‘Swingle’ (24,97 g kg⁻¹), o qual não se diferenciou estatisticamente de limoeiro ‘Cravo’. As menores médias foram obtidas nos porta-enxertos citrandarineiro ‘Índio’ (19,20 g kg⁻¹), trifoliatoeiro ‘Rubidoux’ (20,86 g kg⁻¹) e ‘Limeira’ (19,37 g kg⁻¹), as quais não se diferenciam estatisticamente entre si. No sistema hidropônico a maior média foi observada em citrumeleiro ‘Swingle’ (33,82 g kg⁻¹). A recomendação de adubação potássica varia conforme os porta-enxertos, sendo que o citrumeleiro ‘Swingle’ é considerado mais exigente em K, devendo-se aumentar a quantidade de K₂O em 20% quando tratar-se do porta-enxerto citrumeleiro ‘Swingle’ (Quaggio et al., 2022).

A especificidade de cada combinação copa e porta-enxerto resulta em diferenças na absorção do nutriente pelas folhas (Sharma et al., 2016). As diferenças de absorção dos nutrientes também podem ser atribuídas à capacidade de condutância hidráulica diversificada de cada porta-enxerto, o qual se correlaciona positivamente com o acúmulo de nutrientes (Cohen; Naor, 2002).

O teor de Ca nas folhas apresentou comportamento semelhante nas variedades porta-enxerto nos dois sistemas de cultivo. Citrumeleiro ‘Swingle’ proporcionou maior acúmulo de Ca em cultivo convencional (20,87 g kg⁻¹) e em hidroponia (9 g kg⁻¹), contudo, no sistema hidropônico, esse porta-enxerto não apresentou diferença significativa do limoeiro ‘Cravo’ (8,30 g kg⁻¹). Contudo, o teor adequado de Ca nas folhas de citros segundo Quaggio et al. (2022) é de 35 a 50 g.kg⁻¹.

Concentrações foliares de Ca obtidas em folhas de mudas de tangerineira ‘Montenegrina’ e laranjeira ‘Valência’ em sistema de produção convencional usando citropotes, aos 19 meses após a semeadura, variaram de acordo com o porta-enxerto utilizado, assim, limoeiro ‘Cravo’ apresentou 21,08 g kg⁻¹ enquanto trifoliata somente 7,46 g kg⁻¹,

significativamente inferior de acordo com as análises estatísticas realizadas (Fochesato et al., 2006).

No presente trabalho, os maiores teores encontrados podem também ser explicados pelo recipiente utilizado, em hidroponia tubetes de 280 cm³, enquanto em cultivo convencional sacolas de 3,1 dm³, o que pode possibilitar à muda um melhor crescimento de forma geral. Porém, alguns autores afirmam que o menor volume de raízes verificado em sistemas hidropônicos não limitam a produtividade das plantas. De acordo com Dhaker et al. (2021) é possível por meio do cultivo hidropônico, mesmo com raízes menores, atingir mais rendimento em uma mesma área de produção.

Como visto, em hidroponia, o teor foliar de K atingiu concentrações superiores às obtidas em cultivo convencional, porém, nesse sistema o teor de Ca apresentou médias superiores às obtidas em hidroponia. Essa variação no conteúdo mineral das folhas pode ser atribuída ao forte antagonismo entre esses nutrientes, assim a alta absorção de K pelas mudas durante o cultivo pode ter dificultado a absorção de Ca e Mg (Malavolta, 2006).

A maior concentração de Mg foi observada em citrumeleiro ‘Swingle’ (3,20 g kg⁻¹), enquanto o menor teor foi obtido em limoeiro ‘Cravo’ (2,53 g kg⁻¹), contudo esse não se diferenciou significativamente dos demais porta-enxertos. Mattos Júnior et al. (2010) ao avaliarem a concentração de nutrientes nas folhas das combinações ‘Pêra/Cravo’ e ‘Pêra/Sunki’ obtiveram, para o macronutriente Mg, respectivamente, 4,1 g kg⁻¹ e 4,4 g kg⁻¹ aos 254 dias após o transplante, utilizando-se fertirrigação. Ainda de acordo com Quaggio et al. (2022), a faixa ideal de concentração desse elemento nas folhas deve ser de 3,5 g kg⁻¹ a 5 g kg⁻¹.

Um dos motivos para esse baixo teor de Mg encontrado nas folhas, pode ser a competição com nitrogênio, que em sua forma NH₄⁺ pode diminuir o teor de Mg nas folhas. Além disso, a forma disponível de Mg também pode afetar o aproveitamento das plantas. Em

um ensaio de seis anos, MgCO_3 se mostrou mais eficiente que MgSO_4 e MgO , forma disponível no fertilizante de liberação lenta utilizado no cultivo convencional, na nutrição em citros (Malavolta, 2006).

O S não apresentou diferença significativa em sua concentração entre os porta-enxertos utilizados, com um teor médio de $2,15 \text{ g kg}^{-1}$. De acordo com Quaggio et al. (2022) para citros, o macronutriente S deve se encontrar nas folhas na concentração entre $2,0 \text{ g kg}^{-1}$ a $3,0 \text{ g kg}^{-1}$, assim a concentração obtida foi adequada. Proporcionalmente, é exigido nas plantas, 1 parte de S para 15 de N, para que ocorra de forma satisfatória a síntese de proteínas, a qual pode variar de acordo com a o estágio de crescimento e também com a espécie estudada (Malavolta, 2006). Neste estudo, as concentrações de N e S respeitaram essa proporção, mostrando, assim, equilíbrio entre a distribuição desses nutrientes.

Entre os teores de macronutrientes avaliados nas folhas de tangerineira ‘Ponkan’ foi possível verificar que o porta-enxerto citrumeleiro ‘Swingle’ foi o que proporcionou as maiores médias para esses nutrientes. As maiores concentrações podem ser explicadas pela alta exigência desse porta-enxerto. Padrões de referência propostos por Bataglia et al. (2008) para a adubação de citros, indicaram que citrumeleiro ‘Swingle’ requer maiores concentrações de N, Mg e S se comparado a outros porta-enxertos (Carvalho et al., 2019). A maior exigência desse porta-enxerto por esses macronutrientes pode ter ocasionado um maior acúmulo nas folhas da cultivar copa.

Os teores médios dos micronutrientes Cu e Zn não apresentaram diferenças significativas entre os porta-enxertos, nos dois sistemas de cultivo, convencional e hidropônico (Tabela 4). O Cu acumulado nas folhas em cultivo convencional variou de $180,53 \text{ mg kg}^{-1}$ em trifoliateiro ‘Rubidoux’ a $264,80 \text{ mg kg}^{-1}$ para citrumeleiro ‘Swingle’. Na hidroponia foram obtidas concentrações bem inferiores, que oscilaram de $6,83 \text{ mg kg}^{-1}$ em Limoeiro Cravo a $8,95 \text{ mg kg}^{-1}$ para trifoliateiro ‘Limeira’. Para Zn, a maior média em

sistema convencional foi obtida para citrandarineiro ‘Índio’ (139,60 mg kg⁻¹), já em hidroponia trifoliateiro ‘Limeira’ atingiu a maior média (10,38 mg kg⁻¹).

Tabela 4. Teores médios de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) (mg.kg⁻¹) nas amostras de folhas de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ produzidas com diferentes porta-enxertos em sistema convencional e hidropônico pelo método do ICP.

Cultivares	Cu		Fe		Mn		Zn	
	conv.	hidrop.			conv.	hidrop.	conv.	hidrop.
C. Swingle	264,80 a +	8,05 a -	109,63 a		48,68 a	19,83 b -	131,30 a +	8,68 a -
L. Cravo	248,47 a +	6,83 a -	86,13 ab		52,40 a	27,18 a -	128,68 a +	9,93 a -
T. Limeira	180,53 a +	8,95 a -	77,88 b		35,25 a	22,03 ab -	96,03 a +	10,38 a -
T. Rubidoux	155,38 a +	8,90 a -	85,92 ab		45,97 a	22,03 ab -	97,97 a +	9,83 a -
C. Índio	203,40 a +	7,55 a -	104,88 a		53,83 a	22,25 ab -	139,60 a +	6,95 a -
CV (%)	19,40	13,81	23,67		20,84	13,73	28,19	21,37

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Faixas de interpretação dos teores de nutrientes nas folhas, baixo (-) e alto (+), de acordo com Quaggio et al. (2022)

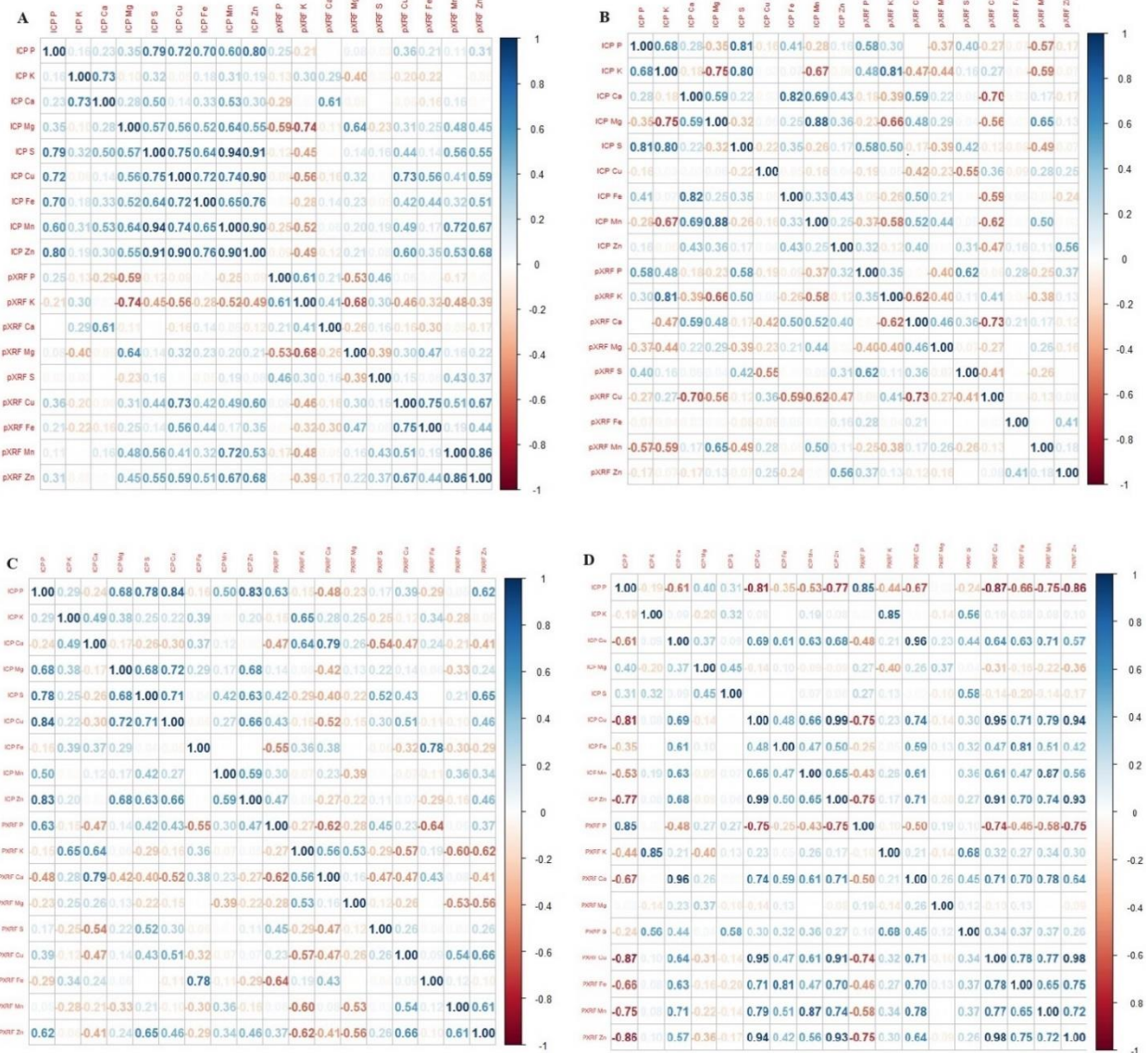
Inversamente ao que foi observado na fase de porta-enxertos para esses micronutrientes, na muda enxertada, as concentrações em cultivo convencional foram muito superiores àquelas obtidas das plantas em sistema hidropônico.

Ao longo do processo de formação das mudas, em cultivo convencional foram realizadas quatro adubações complementares de macro e três de micronutrientes, via solo e por meio de pulverizações foliares, respectivamente. O fertilizante foliar utilizado continha em sua composição as seguintes proporções de micronutrientes: 0,5% de Cu, 0,1% de Fe, 0,5% de Mn e 4% de Zn. Enquanto em hidroponia a solução nutritiva fornecida às plantas durante todo o período de formação das mudas não se alterou.

Principalmente para Zn, a alta porcentagem (4%) desse micronutriente fornecida na formulação do fertilizante foliar usado nas adubações complementares em cultivo

convencional pode explicar as altas concentrações foliares obtidas. As aplicações de Zn podem ocasionar deficiência de Fe e o aumento na concentração de Zn em solução nutritiva pode causar a diminuição no teor de Ca, Mg e S (Malavolta, 2006). Essas interações entre os elementos podem explicar as altas concentrações de Zn e por consequência os baixos teores de Ca e Mg nas mudas.

O teor foliar dos nutrientes nos porta-enxertos, aos 270 dias após a semeadura, foi avaliada por meio do ICP-OES e também por meio do equipamento pXRF. A correlação entre os dois métodos de avaliação para os porta-enxertos cultivados em sistema hidropônico está apresentada na Figura 2 A. No sistema hidropônico, alguns nutrientes apresentaram altas correlações entre o valor obtido por meio do pXRF e o que foi constatado na análise química por ICP. Entre os elementos que apresentaram os maiores índices de correlação de Pearson estão os micronutrientes Cu (0,73), Mn (0,72) e Zn (0,68). Enquanto no sistema convencional, a maior correlação observada foi para o macronutriente K (0,81) (Figura 2 B).



Lopes (2016) de 0,61 a 0,80 a correlação pode ser considerada forte e igual ou superior a 0,81 muito forte.

Para as avaliações realizadas nas mudas de tangerineira ‘Ponkan’, as correlações para os mesmos elementos avaliados por meio do pXRF e pela análise química de ICP, apresentaram no sistema hidropônico os maiores valores de correlação para os elementos P (0,63), K (0,65), Ca (0,79) e Fe (0,78) (Figura 2 C).

A correlação de Pearson para as mudas de tangerineira ‘Ponkan’ cultivadas em sistema convencional apresentou forte correlação ao comparar os elementos entre os dois métodos de determinação das concentrações de nutrientes nas folhas (Figura 2 D). Correlações fortes foram constatadas para os elementos P (0,85), K (0,85), Fe (0,81) e Mn (0,87). Além destes, uma correlação muito forte foi verificada para o macronutriente Ca (0,96) e os micronutrientes Cu (0,95) e Zn (0,93).

Por essa razão, pode-se afirmar que a partir de análises realizadas por espectroscopia de fluorescência de raios-X portátil é possível prever teores desses nutrientes presentes nas folhas, a partir de uma equação de regressão (Andrade et al., 2023), especialmente para aqueles em que foi observada forte correlação. O uso do pXRF tem muitas vantagens, como o baixo custo, pois não são utilizados reagentes no processo e a rapidez de leitura dos resultados, em que as análises são realizadas em aproximadamente um minuto (Frydrych; Jurowski, 2023).

Embora os resultados obtidos por meio de cada método utilizado sejam numericamente diferentes, as altas correlações possibilitam criar fatores de correção entre os teores obtidos no pXRF os quais podem ser convertidos para as concentrações analisadas no ICP-OES. Para os micronutrientes, Zn, Cu e Mn foram alcançadas altas correlações, tanto para os porta-enxertos cultivados em sistema hidropônico quanto para as mudas de tangerineira ‘Ponkan’ produzidas em sistema convencional.

Os micronutrientes Zn e Cu também apresentaram forte correlação em análises realizadas por Zhou et al. (2022) que compararam os mesmos métodos de determinação de teor de nutrientes usando folhas secas provenientes de diferentes fontes vegetais. Os mesmos autores também encontraram forte correlação entre pXRF e ICP para o micronutriente Fe.

Outro elemento que se destacou nas análises de correlação realizadas foi o Mn, tanto nas mudas de tangerineira em sistema convencional quanto nos porta-enxertos cultivados em hidroponia. Costa et al. (2023) ao avaliarem a concentração dos nutrientes presentes nas folhas de diversas culturas, como soja, feijão, milho, café, eucalipto, goiaba, e manga também encontraram correlação forte entre os métodos ICP e pXRF para Mn, pois em folhas secas a correlação foi de 0,86.

Além desses micronutrientes, é possível, de acordo com as correlações obtidas, prever a concentração foliar de alguns macronutrientes, especialmente P, K e Ca na fase de mudas nos dois sistemas de cultivo, convencional e hidropônico. Já nas folhas avaliadas dos porta-enxertos, somente K no sistema convencional obteve alta correlação.

Assim, apesar da possibilidade de se comparar os resultados e utilizar o pXRF como uma ferramenta de análise foliar, o chamado “padrão ouro” de alta precisão ainda são os métodos analíticos como o ICP-OES (Frydrych; Jurowski, 2023). Além disso, principalmente para elementos mais leves, com número atômico menor, o conteúdo de água pode afetar os resultados lidos no pXRF. Assim, amostras secas como as estudadas nesse trabalho, costumam atingir maiores correlações e melhores resultados de predição de nutrientes, se comparado à análise convencional (Costa et al., 2023).

Neste trabalho, foram obtidas no sistema convencional, ao se avaliarem as mudas, fortes correlações para os macronutrientes P e K, além de uma correlação muito forte para Ca, o que comprova a ocorrência de maiores índices de correlação para os nutrientes essenciais. A concentração de micronutrientes nas folhas, por ser inferior aos macronutrientes, também

pode dificultar a leitura, exigindo que a espessura do material vegetal seja maior. Assim, diversos fatores podem influenciar na leitura e nos resultados obtidos por meio do pXRF (Ribeiro et al., 2021).

As comparações entre os métodos de análise foliar aqui propostos são de extrema importância para a validação do uso do pXRF para a citricultura. Nesse contexto, podem ser calculados modelos de predição das concentrações foliares de macro e micronutrientes. A literatura tem reportado que os dados obtidos pelo pXRF têm sido suficientes para previsões precisas da nutrição mineral das plantas (Andrade et al., 2023). Contudo, são necessários ajustes por meio de equações de regressão para uma maior acurácia dos resultados dos nutrientes presentes nas folhas dessas plantas, especialmente em hidroponia, onde as correlações foram mais fracas se comparado ao cultivo convencional.

4 Conclusão

As concentrações de N e P não apresentaram diferença entre as variedades de porta-enxertos utilizadas. Os porta-enxertos trifoliolateiros apresentaram maior concentração de K no sistema convencional. Em hidroponia e no cultivo convencional, mudas enxertadas em citrumeleiro ‘Swingle’ acumularam mais K nas folhas. Ao se comparar os sistemas de produção, no cultivo hidropônico a concentração de K foi maior para todos os tratamentos. Os níveis de Ca foram inferiores à faixa indicada em citros.

Maiores teores de micronutrientes foram obtidos em cultivo hidropônico na fase de porta-enxertos e sistema convencional nas folhas de tangerineiras ‘Ponkan’ após a enxertia. Os teores foliares obtidos por meio do ICP e pelo pXRF apresentaram fortes correlações entre os métodos, principalmente para os macronutrientes P, K e Ca e os micronutrientes Fe, Mn, Cu e Zn em mudas no sistema convencional.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) (Processo n. APQ-00476-21) pelo apoio financeiro.

Referências

- ACOSTA, M.; QUIÑONES, A.; MUNERA, S.; PAZ, J. M. de; BLASCO, J. **Rapid prediction of nutrient concentration in citrus leaves using Vis-NIR spectroscopy.** *Sensors*, v. 23, n. 14, p. 6530, 2023. <https://doi.org/10.3390/s23146530>
- AGRAWAL, R.; SCHOLAR, I.; KRISHI, G.; VISHWAVIDYALAYA, R. C.; VERMA, A.; SHARMA, G.; KHALKHO, D.; TRIPATHI, M. P. **Hydroponic systems for cultivation of horticultural crops: A review.** *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, v. 9, n. 6, p. 2083-2086, 2020. <https://www.phytojournal.com/archives/2020/vol9issue6/PartAD/9-6-235-915.pdf>
- ALMEIDA, L. V. B. de.; MARINHO, C. S.; MUNIZ, R. de A.; CARVALHO, A. J. C. de. **Disponibilidade de nutrientes e crescimento de porta-enxertos de citros fertilizados com fertilizantes convencionais e de liberação lenta.** *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 34, p. 289-296, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452012000100038>
- ANDRADE, R.; SILVA, S. H. G.; BENEDET, L.; ARAÚJO, E. F. de; CARNEIRO, M. A. C.; CURI, N. **A proximal sensor-based approach for clean, fast, and accurate assessment of the Eucalyptus spp. nutritional status and differentiation of clones.** *Plants*, v. 12, n. 3, p. 561, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12030561>

BARBOSA, V. R.; BIZARI, D. R.; AZEVEDO, F. A. de; YALY, M. C.; RODRIGUES, J.; GONÇALVES, A. O. **Crescimento inicial de citrandarins para produção de mudas cítricas**. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente*, v. 13, n. 1, e13235, 2023.

<https://doi.org/10.4322/2359-6643.13235>

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R.; FERRAREZI, R. S.; MEDINA, C. L. **Padrão nutricional de mudas de citros**. *Vivecitrus, Conplant, Boletim Técnico*, 40 p., 2008. ISBN 978-85-62812-00-2.

BONAFINI, F. C. **Estatística II**. Pearson, 1. ed. 2015. Disponível em: <
<https://plataforma.bvirtual.com.br>>. Acesso em: 23 jul. 2024.

BUFFON, S. B.; ZUCOLOTO, M.; PASSOS, O. S.; BARBOSA, D. H. S. G.; ALTOÉ, M. S.; MORAIS, A. L. de. **Initial production and fruit quality of fifty-seven sweet orange varieties on four rootstocks in Southern state of Bahia**. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 43, p. e-765, 2021. <https://doi.org/10.1590/0100-29452021765>

CARVALHO, S. A. de.; GIRARDI, E. A.; MOURÃO FILHO, F. de A. A.; FERRAREZI, R. S.; COLETTA FILHO, H. D. **Advances in citrus propagation in Brazil**. *Revista Brasileira De Fruticultura*, v. 41, n. 6, e-422, 2019. <https://doi.org/10.1590/0100-29452019422>

CARVALHO, S. A.; GRAF, C. C. D.; VIOLANTE, A. R. **Produção de material básico e propagação**. In: MATTOS JUNIOR, D de; NEGRI J. D. de; PIO R. M.; Pompeu Júnior J (Ed.). *Citros. Instituto Agronômico e Fundag*, p. 317-344, 2005.

COHEN, S.; NAOR, A. **The effect of three rootstocks on water use, canopy conductance and hydraulic parameters of apple trees and predicting canopy from hydraulic conductance**. *Plant, Cell & Environment*, v. 25, n. 1, p. 17-28, 2002.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2002.00795.x>

COSTA, M. V.; LIMA, G. J. O.; GUILHERME, L. R. G.; CARNEIRO, M. A. C.; RIBEIRO, B. T. **Towards direct and eco-friendly analysis of plants using portable X-ray fluorescence spectrometry: A methodological approach.** *Chemosphere*, v. 339, p. 139613, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139613>

CRUZ, M. A. da; NEVES, C. S. V. J.; CARVALHO, D. U. de; COLOMBO, R. C.; LEITE JÚNIOR, R. P.; TAZIMA, Z. H. **'Navelina'sweet orange trees on five rootstocks in Northern Parana state, Brazil.** *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 41, n. 3, p. e-006, 2019. <https://doi.org/10.1590/0100-29452019006>

DHAKER, D. L ; MAURYA, S.; KUMHAR, G. **Hydroponics techniques in agriculture.** *Agriculture & Environment*, v. 2, 2021.

FIMBRES-ACEDO, Y.E.; TRAVERSARI, S.; CACINI, S.; COSTAMAGNA, G.; GINEPRO, M.; MASSA, D. Testing the Effect of High pH and Low Nutrient Concentration on Four Leafy Vegetables in Hydroponics. *Agronomy*, v. 13, n. 41, 2023. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010041>

FOCHESATO, M. L.; SOUZA, P. V. D. de.; SCHÄFER, G.; MACIEL, H. S. **Produção de mudas cítricas em diferentes porta-enxertos e substratos comerciais.** *Ciência Rural*, v. 36, n. 5, p. 1397-1403, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000500008>

FOCHESATO, M. L.; SOUZA, P. V. D. de; SCHÄFER, G.; MACIEL, H. S. **Crescimento vegetativo de porta-enxertos de citros produzidos em substratos comerciais.** *Ciência Rural*, v. 37, p. 970-975, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000400008>

FRYDRYCH, A.; JUROWSKI, K. **Portable X-ray fluorescence (pXRF) as a powerful and trending analytical tool for in situ food samples analysis: a comprehensive review of**

application-State of the art. TrAC Trends in Analytical Chemistry, p. 117165, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117165>

GIRARDI, E. A.; MOURÃO FILHO, F. de A. A.; ALVES, A. S. R. **Mudas de laranjeira 'valência' sobre dois porta-enxertos e sob diferentes manejos de adubação. Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, p. 855-864, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000082>

GIRARDI, E. A.; POMPEU JUNIOR, J.; SOBRINHO, J. T.; SOARES FILHO, W. dos S.; PASSOS, O. S.; CRISTOFANI-YALY, M.; SEMPIONATO, O. R.; STUCHI, E. S.; DONADIO, L. C.; MATTOS JUNIOR, D. de; BASSANEZI, R. B.; GARCIA, L. A. P.; AYRES, A. J. **Guia de reconhecimento dos citros em campo: um guia prático para o reconhecimento em campo de variedades de laranjeira-doce e outras espécies de citros cultivadas no estado de São Paulo e Triângulo Mineiro. Fundecitrus**, 158 p., 2021. Disponível em: < https://www.fundecitrus.com.br/comunicacao/manual_detalhes/guia-dereconhecimento-dos-citros-em-campo/91 >.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental. FEALQ**, 15. ed., 451 p., 2009.

KUMAR, S.; AWASTHI, O. P.; DUBEY, A.; SHARMA, R. **Effect of different rootstocks on growth, leaf sclerophylly and chlorophyll fractions of Kinnow mandarin. Indian Journal of Horticulture**, v. 74, n. 4, p. 505-509, 2017. DOI: [10.5958/0974-0112.2017.00098.6](https://doi.org/10.5958/0974-0112.2017.00098.6)

LOPES, L. F. D. **Métodos Quantitativos. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria**, 1. ed., 2016.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas. Editora Agronômica Ceres**, 638 p. 2006.

MALIKOUSKI, R. G.; PEIXOTO, M. A.; FERREIRA, F. M.; MORAIS, A. L. DE; ALVES, R. S.; ZUCOLOTO, M.; BARBOSA, D. H. S. G.; BHERING, L. L. **Genotypic diversity and genetic parameters of 'Tahiti' acid lime using different rootstocks. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 58, p. e02768, 2022. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2023.v58.02768>

MAPA. **Instrução Normativa nº48 de 24/09/2013. Decreto nº 5.153, de 23 de julho de 2004, nas Instruções Normativas nº 09, de 2 de junho de 2005, nº 24, de 16 de dezembro de 2005 e nº 48, de 24 de setembro de 2013 e o que consta do Processo nº 21000.005235/2012-18. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2013.**

MARQUES, L. O. D.; MELLO-FARIAS, P.; OLIVEIRA, R. P. de; DINI, M.; SANTOS, R. F. dos; Malgarim, M. B.; SOARES FILHO, W. dos S. **Nursery performance of potentially promising rootstocks for citriculture in the south of Brazil. Ciência Rural**, v. 52, n. 1, p. e20200227, 2021. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200227>

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F.; REBOITA, M. S. **Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, p. 129-56, 2018. <https://doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60896>

MATTOS JÚNIOR, D. de; BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A. **Nutrição dos citros. In: MATTOS JÚNIOR, D. de; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JÚNIOR, J. (Ed.). Citros.: Instituto Agrônômico e Fundag**, p. 198-219, 2005.

MATTOS JÚNIOR, D.; BOARETTO, R. M.; CORRÊA, E. R. de L.; ABREU, M. F. de.; CARVALHO, S. A. de. **Disponibilidade de boro em substrato para produção de porta-enxertos de citros em fase de sementeira. Bragantia**, v. 67, p. 983-989, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000400022>

MATTOS JÚNIOR, D.; RAMOS, U. M.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, P. R. **Nitrogênio e cobre na produção de mudas de citros em diferentes porta-enxertos.** *Bragantia*, v. 69, p. 135-147, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100018>

OLIVEIRA, V. de S.; ZUCOLOTO, M.; FERREIRA, L. de S.; BARBOSA, D. H. S. G.; SOARES FILHO, W. dos S.; PASSOS, O. S. **Productive performance of sweet orange trees on different rootstocks, in the Extreme South of the State of Bahia.** *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 46, p. e-737, 2024. <https://doi.org/10.1590/0100-29452024737>

POMPEU JÚNIOR, J. **Porta-enxertos.** In: MATTOS JUNIOR, D. de; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JÚNIOR, J. (Ed.). *Citros. Instituto Agrônômico e Fundag*, p. 317-344, 2005.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR., D.; BOARETTO, R. M.; ZAMBROSI, F. C. B.; CANTARELLA, H. **Citros (Gênero *Citrus*).** In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR., D.; BOARETTO, R. M.; VAN RAIJ, B. *Boletim 100: recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. IAC*, 2022.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JÚNIOR, D.; CANTARELLA, H. **Manejo da fertilidade do solo na citricultura.** In: MATTOS JUNIOR, D. de; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JÚNIOR, J. (Ed.). *Citros. Instituto Agrônômico e Fundag*, p. 483-507, 2005.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing.** *R Foundation for Statistical Computing*, (2024). Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.

RIBEIRO, B.; BORGES, C.; GUILHERME, L.; CURI, N. **Foliar analysis via portable X-ray fluorescence spectrometry: Experimental considerations.** *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, v. 186, p. 106320, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2021.106320>.

SAU, S.; GHOSH, S. N.; SARKAR, S.; GANTAIT, S. **Effect of rootstocks on growth, yield, quality, and leaf mineral composition of Nagpur mandarin (*Citrus reticulata* Blanco.), grown in red lateritic soil of West Bengal, India.** *Scientia horticulturae*, v. 237, p. 142-147, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.015>.

SHARMA, R.; DUBEY, A.; AWASTHI, O. P.; KAUR, C. **Growth, yield, fruit quality and leaf nutrient status of grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.): Variation from rootstocks.** *Scientia Horticulturae*, v. 210, p. 41-48, 2016. DOI:10.1016/j.scienta.2016.07.013

SHIMIZU, G. D.; MARUBAYASHI, R. Y. P.; GONÇALVES, L. S. A. **AgroR: experimental statistics and graphics for agricultural sciences.** R package version 1.3.6., 2024. Disponível em: < <https://cran.r-project.org/web/packages/AgroR/index.html> >.

SILVA, G. A. da; LANDAU, E. C. **Evolução da produção de tangerina (*Citrus reticulata*, Rutaceae).** In: LANDAU, E. C.; SILVA, G. A. da; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARÃES, D. P. (Ed.). *Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: produtos de origem vegetal.* **Embrapa**, v. 2, p. 1273-1300, 2020. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1122548>

VELAZQUEZ-GONZALEZ, R. S.; GARCIA-GARCIA, A. L.; VENTURA-ZAPATA, E.; BARCEINAS-SANCHEZ, J. D. O.; SOSA-SAVEDRA, J. C. **A review on hydroponics and the technologies associated for medium-and small-scale operations.** *Agriculture*, v. 12, n. 5, p. 646, 2022. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050646>

WEI, T.; SIMKO, V. **R package 'corrplot': Visualization of a Correlation Matrix.** Version 0.92, 2021. <https://github.com/taiyun/corrplot>.

ZHOU, G.; WEI, Q.; LI, B.; ZENG, X.; LIU, G. **Establishment and optimization of a hydroponic system for root morphological and nutritional analysis of citrus.** *Scientia Agricola*, v. 77, n. 4, p. e20180261, 2019. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0261>

ZHOU, S.; CHENG, Q.; WEINDORF, D. C.; YANG, B.; YUAN, Z.; YANG, J. **Determination of trace element concentrations in organic materials of “intermediate-thickness” via portable X-ray fluorescence spectrometry.** *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, v. 37, n. 11, p. 2461-2469, 2022. <http://dx.doi.org/10.1039/D2JA00213B>

ARTIGO 3 – Análises fisiológicas de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ sobre diferentes porta-enxertos em cultivo convencional e hidropônico

ROSSI, Maíra Ferreira de Melo. Análises fisiológicas de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ sobre diferentes porta-enxertos em cultivo convencional e hidropônico. **Revista Ceres**, 2024. (versão preliminar)

RESUMO

O sistema de produção de mudas cítricas envolve diversas normas que visam garantir maior controle fitossanitário e genético das plantas comercializadas. Uma alternativa para a produção de mudas de alta qualidade é o sistema hidropônico, que pode agregar vantagens como o uso eficiente da água, controle sobre os nutrientes e rendimento por área. Outro fator que reflete na qualidade das mudas são as variedades de porta-enxertos que influenciam nas respostas fisiológicas da combinação utilizada. O objetivo deste trabalho foi avaliar os parâmetros fisiológicos de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ sobre diferentes porta-enxertos em dois sistemas de cultivo, convencional e hidropônico. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, sendo os tratamentos constituídos por cinco cultivares porta-enxerto: citrumeleiro ‘Swingle’, limoeiro ‘Cravo’, trifoliateiro ‘Limeira’, trifoliateiro ‘Rubidoux’ e citrandarineiro ‘Índio’. Foram avaliadas a fluorescência da clorofila *a* e as trocas gasosas, além do conteúdo de clorofila, a massa seca e a área foliar. A menor área foliar foi obtida nas mudas sobre trifoliateiro ‘Limeira’ e os demais porta-enxertos não apresentaram diferença significativa entre si. O mesmo ocorreu para o conteúdo de clorofila *a* e *b*, que também não apresentou diferença entre as variedades. Os demais parâmetros fotossintéticos não se diferenciam estatisticamente entre si, exceto para o coeficiente de dissipação fotoquímico, que atingiu maiores valores em hidroponia para as mudas enxertadas sobre citrumeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’.

Palavras-chave: atividade fotossintética; *Citrus*; fluorescência da clorofila; trocas gasosas.

Physiological analyses of ‘Ponkan’ mandarin seedlings on different rootstocks in conventional and hydroponic cultivation

ABSTRACT

The citrus seedling production system involves various regulations aimed at ensuring greater phytosanitary and genetic control of commercialized plants. An alternative for producing high-quality seedlings is the hydroponic system, which can offer advantages such as efficient water use, control over nutrients, and yield per area. Another factor that affects seedling quality is the choice of rootstocks, which affect the physiological responses of the graft combination. The objective of this study was to evaluate the physiological parameters of 'Ponkan' mandarin seedlings on different rootstocks in two cultivation systems: conventional and hydroponic. The experimental design was randomized blocks, with treatments comprising five rootstock cultivars: ‘Swingle’ citrumelo, ‘Rangpur’ lime, ‘Limeira’ trifoliata, ‘Rubidoux’ trifoliata, and ‘Indio’ citrandarin. Chlorophyll *a* fluorescence and gas exchange were evaluated, as well as chlorophyll content, dry mass, and leaf area. The smallest leaf area was obtained in seedlings on ‘Limeira’ trifoliata, while the other rootstocks showed no significant difference among themselves. The same was true for chlorophyll *a* and *b* content, which also did not differ among the varieties. The other photosynthetic parameters did not differ statistically among themselves, except for the photochemical dissipation coefficient, which reached higher values in hydroponics for seedlings grafted onto ‘Swingle’ citrumelo and ‘Rangpur’ lime.

Keywords: *Citrus*; chlorophyll fluorescence; gas exchange; photosynthetic activity.

1 INTRODUÇÃO

A compreensão sobre as reações químicas que ocorrem na fotossíntese é essencial para o entendimento da fisiologia dos citros. Por sua ampla distribuição geográfica e por se tratar de uma cultura perene, as árvores cítricas estão sujeitas a grandes variações sazonais do ambiente de produção, assim como ao longo de seu ciclo de crescimento, desde a formação das mudas até a fase produtiva, além das mudanças ambientais que ocorrem naturalmente nos climas subtropicais brasileiros (Ribeiro & Machado, 2007).

Fatores como seca, salinidade, temperaturas extremas e diferentes intensidades de luz têm impacto significativo no crescimento dos citros e na qualidade e produtividade dos frutos, por esse motivo os efeitos das condições ambientais sobre as plantas cítricas têm sido amplamente estudados (Terán *et al.*, 2024; Balfagón *et al.*, 2022). A influência dos sistemas de produção no desempenho fotossintético pode ser determinante para o crescimento em mudas de tangerineira ‘Ponkan’ (*Citrus reticulata* Blanco).

Da mesma forma, os porta-enxertos também podem influenciar nos atributos de qualidade, pois afetam a partição dos fotoassimilados para os tecidos da planta, sendo que espécies tolerantes à seca, por exemplo, induzem o aumento na absorção de água e do crescimento sustentado pelas raízes (Miranda *et al.*, 2021). As mudas cítricas comerciais são enxertadas e a união da copa e do porta-enxerto pode melhorar a qualidade das plantas, propiciando resistência aos estresses bióticos e abióticos (Mouhaya *et al.* 2010; Shankar *et al.*, 2023).

Cada combinação copa e porta-enxerto pode gerar diferenças morfológicas nas folhas e outras partes das plantas, assim, a avaliação da área foliar, massas secas e suas razões podem auxiliar no entendimento dos processos fisiológicos, como a transpiração e a fotossíntese (Lei *et al.*, 2006). A relação copa/porta-enxerto é determinante na forma final do sistema radicular, o qual interfere na fisiologia das plantas, além disso os porta-enxertos

podem se distinguir em relação à tolerância à seca, à salinidade e a doenças (Medina *et al.*, 2005). A taxa de assimilação de CO₂ e a transpiração também são influenciadas pelos porta-enxertos (Medina; Machado, 1998).

A avaliação de parâmetros fotossintéticos possibilita maior exatidão para determinar a sanidade e qualidade das plantas. A fluorescência de clorofila é uma ferramenta eficiente para análises não destrutivas que visam monitorar os mecanismos do aparelho fotossintético em diversos ambientes, o que possibilita obter informações detalhadas sobre o processo fotossintético sem danificar a amostra (Xu *et al.*, 2023). A adaptação de árvores frutíferas pode ser avaliada também pelo conteúdo de clorofila e pela atividade fotossintética nas folhas, por meio do rendimento quântico do fotossistema II, a dissipação fotoquímica, não fotoquímica e o transporte de elétrons (Santos *et al.*, 2022; Tsiupka *et al.*, 2023).

Diferentes condições no ambiente de produção de mudas, tais como alterações em temperatura, incidência de luz solar e disponibilidade hídrica podem afetar a eficiência fotossintética das plantas. Uma alternativa para a produção de mudas cítricas é o sistema hidropônico. A crescente preocupação com a gestão dos recursos naturais, como a água, sua disponibilidade e impactos ambientais promove o estudo de estratégias mais sustentáveis e entre as tecnologias desenvolvidas para o melhor uso da água está o sistema hidropônico do tipo 'Floating' (Colares *et al.*, 2020). Entre as outras vantagens do uso da hidroponia nos cultivos, pode se citar o elevado rendimento em áreas com alta densidade de plantas, o que torna o sistema economicamente viável, além do uso eficiente da água e dos nutrientes e o maior controle do ambiente de produção (Swain *et al.*, 2021).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar parâmetros fisiológicos de mudas de tangerineira 'Ponkan' sobre diferentes porta-enxertos em dois sistemas de cultivo, convencional e hidropônico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados experimentos, conduzidos simultaneamente, em dois locais na Universidade Federal de Lavras (UFLA), Minas Gerais, Brasil. A produção de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ (*Citrus reticulata* Blanco) foi realizada em sistema convencional utilizando sacolas plásticas e substrato comercial no Setor de Fruticultura, enquanto a produção em sistema hidropônico, com tubetes contendo vermiculita, foi conduzida no Setor de Plantas Ornamentais Horto Botânico, ambos pertencentes ao Departamento de Agricultura (DAG) da Escola de Ciências Agrárias de Lavras (ESAL). O município de Lavras-MG está localizado à latitude 21° 14' sul e 44° 59' oeste e altitude de 919 metros. O clima local é caracterizado como Cwa, temperado quente com período seco no inverno (Martins *et al.*, 2018).

Os tratamentos consistiram em cinco porta-enxertos utilizados para a formação de mudas: citrumeleiro ‘Swingle’ [*Citrus paradisi* Macfad. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.], limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osb.), trifoliateiro ‘Limeira – IAC382’ [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.], trifoliateiro ‘Rubidoux’ [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] e citrandarineiro Índio [*Citrus sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. ‘English’].

A semeadura dos porta-enxertos foi realizada em 06 de julho de 2022, em ambiente protegido, revestido por tela antiafídeo, com cobertura plástica e irrigação por nebulização intermitente, localizado no Setor de Fruticultura. Foram utilizadas bandejas plásticas de 187 células contendo tubetes de 50 cm³, preenchidos com vermiculita. Aos três meses após a semeadura, com aproximadamente 10 cm de altura, os porta-enxertos foram transplantados para outros recipientes, sendo que metade foi conduzida no sistema convencional de produção de mudas e a outra metade foi utilizada no cultivo hidropônico.

O delineamento experimental utilizado para cada local foi de blocos casualizados, com cinco tratamentos, quatro blocos e 18 plantas por parcela, totalizando assim 360 plantas por experimento.

No sistema convencional os porta-enxertos foram transplantados para sacolas plásticas com dimensão de 18 x 30 cm e capacidade de 3,1 dm³, preenchidas com substrato comercial composto por 20% de casca de pinus estabilizada e 80% condicionador de solo classe A (fibra de celulose e cinzas). Foram adicionados ao substrato oito gramas por recipiente de fertilizante de liberação controlada Basacote Plus 9M contendo: 16% de nitrogênio (N), 8% de fosfato (P₂O₅), 12% de óxido de potássio (K₂O), 2% de óxido de magnésio (MgO), 5% de enxofre (S), 0,02% de boro (B), 0,05% de cobre (Cu), 0,4% de ferro (Fe), 0,06% de manganês (Mn), 0,015% de molibdênio (Mo) e 0,02% de zinco (Zn). Nessa fase, foram realizadas irrigações, desbaste de plantas, controle de plantas daninhas e aplicações de inseticidas conforme necessário.

No sistema hidropônico, os porta-enxertos foram transplantados para tubetes de 280 cm³ preenchidos com vermiculita e dispostos em grades plásticas que serviram como suporte, em ambiente protegido com cobertura plástica e laterais com tela antiafídeo. As grades contendo os tubetes foram alocadas em “piscinas” no sistema ‘Floating’, com dimensões 3,00 x 0,60 x 0,20 m, dispostas em bancadas de 0,8 m de altura. Dessa forma, o fundo dos tubetes e, conseqüentemente, as raízes dos porta-enxertos ficaram em contato permanente com a solução nutritiva.

A solução padrão utilizada foi composta por 720 g de Max Sal Hidrogood Fert[®] NPK 10-09-28: 10% de nitrogênio (N), 9% de fosfato (P₂O₅), 28% de óxido de potássio (K₂O), 3,38% de magnésio (Mg), 4,3% de enxofre (S), 0,06% de boro (B), 0,01% de cobre (Cu), 0,05% de manganês (Mn), 0,07% de molibdênio (Mo), 0,02% de zinco (Zn) e 0,007% de níquel (Ni); 540 g de Calcium (Calcium Nitrate 15,5-0-0 + 26,5 CaO) e 40 g de EDTAFe

(Quelato de Ferro EDDHA), diluídos em 1000L de água. O pH e a condutividade elétrica, mensurados semanalmente, variaram entre 5,4 a 6,3 e 1,75 a 1,9 mS.cm⁻¹, respectivamente (Fimbres-Acedo *et al.*, 2023) para acompanhamento das condições da solução nutritiva, substituída mensalmente. No cultivo hidropônico também foram realizados o controle de plantas daninhas, desbrotas e aplicações de inseticida para controlar eventuais pragas.

A enxertia foi realizada nos dois experimentos, seis meses após o transplântio dos porta-enxertos, quando estes atingiram diâmetro de caule adequado, em torno de 6 mm. Borbulhas da variedade copa de tangerineira ‘Ponkan’ (*Citrus reticulata* Blanco) foram enxertadas por meio da técnica de borbulhia em “T” invertido a altura de 10 a 20 cm do colo das plantas. Foi feito amarrio com fita de enxertia e realizada a envergadura do porta-enxerto logo acima da enxertia para o forçar o pegamento.

Foram realizadas quatro adubações complementares, após a enxertia, com fertilizante na formulação 4-14-8 (4% de N, 14% de P₂O₅ e 8% de K₂O) aplicando-se 20 g por planta e três adubações de fertilizante foliar Complex 151[®] (Nutriplant), de composição N (5%), P₂O₅ (11%), K₂O (16%), Ca (2%), Mg (2%), S (5%), B (1,5%), Cu (0,5%), Fe (0,1%), Mn (0,5%), Mo (0,2%), Zn (4%), utilizando-se 40 g diluídos em 20 L de água em cada aplicação. As adubações foram realizadas de acordo com as recomendações de Carvalho *et al.* (2005). As plantas foram tutoradas e conduzidas em haste única até atingirem tamanho de uma muda comercial, quando, então, foram realizadas as análises fisiológicas.

Foram coletados os dados de temperatura nos dois locais de produção de mudas, sistema convencional e hidropônico, por meio de Datalogger de temperatura modelo HT-810 Instrutherm. As médias mensais desde o transplântio para cada sistema de cultivo até a fase de muda pronta para a comercialização estão apresentadas na Figura 1.

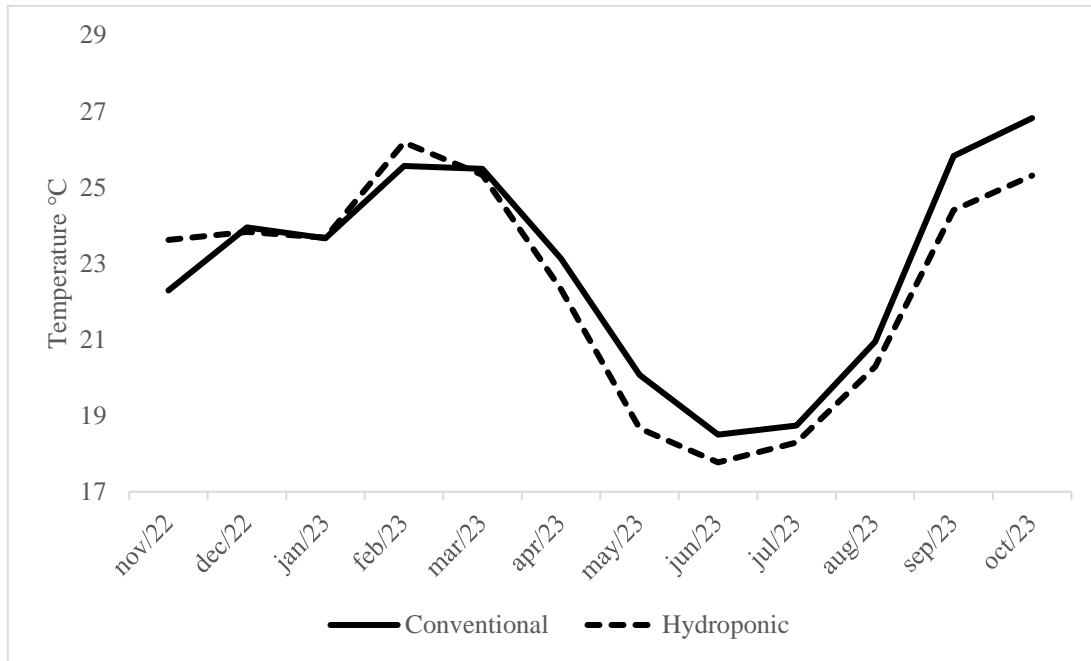


Figura 1. Temperatura (°C) média mensal dentro de telados nos quais foram produzidas as mudas de tangerineira ‘Ponkan’, em cultivo convencional e hidropônico.

Aos seis meses após a enxertia, foram selecionadas três folhas expandidas por planta, localizadas no terço médio, para 3 plantas de cada parcela, no cultivo hidropônico e no sistema convencional. Para determinação do índice de clorofila foliar, foi utilizado um medidor eletrônico ClorofiLog modelo CFL1030 marca Falker, sendo determinados clorofila *a*, *b* e total. Nas mesmas folhas foram avaliadas a fluorescência da clorofila *a* e as trocas gasosas. As medições de fluorescência da clorofila foram obtidas com o analisador de rendimento de fotossíntese MINI-PAM II (HeinzWalz, Effeltrich, Alemanha).

As folhas foram adaptadas ao escuro por 30 minutos antes de se realizar as medições de fluorescência. Foram obtidos os valores de fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), nível de fluorescência em estado estacionário indicando o estabelecimento de fotossíntese mais estável e intensa (F_s) e níveis máximo (F_m') e mínimo (F_0') de fluorescência no claro. Foi calculada a fluorescência variável ($F_v = F_m - F_0$); o rendimento quântico fotoquímico máximo do fotossistema II (F_v/F_m); o coeficiente de extinção fotoquímica, também chamado de quenching fotoquímico [$qP = (F_m' - F_s)/(F_m' - F_0')$], o coeficiente de

dissipação não fotoquímico [$NPQ = (F_m - F_m')/F_m'$] e a taxa de transporte de elétrons [$ETR = (Y) \cdot (PAR) \cdot (0,84) \cdot (0,5)$], onde Y corresponde a produção de quantum do PSII e PAR se refere às medidas da radiação fotossinteticamente ativa em $\mu\text{mol elétrons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. O valor médio de coeficiente de absorção da folha é de 0,84 e a fração de luz absorvida pelo complexo antena do fotossistema II utilizado foi de 0,5.

As medições de trocas gasosas foram realizadas com um analisador de gases por infravermelho (IRGA), modelo LI-6400XT (Li-COR Biosciences, Lincoln, Nebraska, EUA). Os dados foram coletados entre 8h e 10h da manhã, horário de maior atividade fotossintética (Ribeiro *et al.* 2009), sobre $400 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ e PAR de $900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Foram avaliadas as variáveis: taxa de assimilação fotossintética (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração intracelular de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol air}^{-1}$) e transpiração (E, $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). A eficiência do uso da água (WUE) foi obtida pela razão entre a taxa fotossintética e a transpiração.

Após essas análises as folhas foram destacadas das plantas e digitalizadas em um scanner de mesa modelo A3 Scanner (1200S, Mustek, China). A área foliar foi determinada usando o software de análises de imagens ImageJ. Essas folhas, por fim, foram colocadas em estufa a 65°C até atingirem peso constante, então foi mensurada a massa seca dessas folhas, a área foliar específica (área foliar/massa seca) e a razão entre a área foliar e a clorofila total.

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk, Bartlett e Durbin-Watson para que fossem verificados os pressupostos de normalidade dos erros, homogeneidade das variâncias e independência dos erros, respectivamente. Para cada variável foi realizada a análise de variância (ANOVA) a 5% de significância e foi calculada a razão entre os quadrados médios do erro das análises individuais de cada experimento, cultivo convencional e hidropônico, para verificar a homogeneidade dos experimentos avaliados. Foi

realizada, então, a Análise Conjunta, quando a razão foi inferior a 7, para comparar os porta-enxertos nos dois experimentos (Gomes, 2009).

As médias foram comparadas com o teste de Tukey, a nível de 5% de significância. Para as análises que resultaram em interação significativa entre sistemas de cultivo e tratamentos (variedades de porta-enxertos), foi aplicado o teste de médias para as variedades porta-enxerto e para os sistemas de cultivo (experimentos). Foi utilizado o AgroR Shiny, aplicativo Shiny que integra o pacote AgroR do Software R (Shimizu *et al.*, 2024) para a realização das análises.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as análises de fluorescência de clorofila e trocas gasosas resultaram em interação não significativa entre os fatores, exceto para o coeficiente de dissipação fotoquímica (qP quenching fotoquímico). Além disso, o teste de comparação de médias para essas variáveis não apresentou diferença significativa entre as variedades estudadas, somente entre os locais para o coeficiente de dissipação fotoquímica.

As análises de área foliar (AF), área foliar específica, pigmentos fotossintetizantes clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total ($a + b$) e a relação área foliar sobre clorofila total não apresentaram interação significativa entre locais e variedades. A área foliar específica, clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total das folhas das mudas de tangerineira ‘Ponkan’ não apresentaram diferenças significativas entre os porta-enxertos.

As variedades de porta-enxertos propiciaram diferenças significativas na área foliar das mudas de tangerineira ‘Ponkan’ (Tabela 1). O limoeiro ‘Cravo’ atingiu área foliar de 28,79 cm² entre as mudas avaliadas, contudo, só apresentou diferença significativa das folhas de mudas sobre a variedade trifoliato ‘Limeira’, que obteve a menor área foliar (18,99 cm²). Para a área foliar específica, obtida pela razão entre a área foliar e a massa seca,

numericamente a maior média (34,76) observada foi sobre o porta-enxerto citrumeleiro ‘Swingle’, porém não foi observada diferença significativa entre as variedades.

Tabela 1. Área foliar (AF), área foliar específica (razão área foliar/massa seca - AF/MS), pigmentos fotossintetizantes clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), clorofila total (*a* + *b*) e razão AF/clorofila total de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ produzidas com diferentes porta-enxertos em sistema convencional e hidropônico

Cultivares	(AF)	(AF/MS)	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	<i>a</i> + <i>b</i>	AF/ <i>a</i> + <i>b</i>
C. Swingle	27,50 a	34,76 a	40,68 a	58,04 a	98,70 a	0,28 a
L. Cravo	28,79 a	32,02 a	40,93 a	56,28 a	97,21 a	0,30 a
C. Índio	24,59 ab	30,80 a	40,49 a	60,38 a	100,45 a	0,25 ab
T. Rubidoux	21,87 ab	34,47 a	40,69 a	58,41 a	99,11 a	0,22 ab
T. Limeira	18,99 b	32,50 a	40,95 a	62,70 a	103,67 a	0,18 b
CV (%)	14,57	7,96	1,56	6,98	4,64	16,63

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância; área foliar em cm²; massa seca em gramas.

Em mudas de *Citrus sinensis* (L). Osbeck sobre os porta-enxertos citranges ‘Carrizo’ e ‘Troyer’, *Poncirus trifoliata* L., limoeiro ‘Cravo’ e limoeiro ‘Rugoso’, a área foliar das mudas produzidas em limoeiro ‘Cravo’ (17,35 cm²) foi maior e significativamente superior àquelas produzidas sobre *Poncirus trifoliata* (14,75 cm²), aos 7 meses após a enxertia (Khan *et al.*, 2020). Enquanto mudas de variedades de *Citrus reticulata* Blanco sobre *Poncirus trifoliata* aos 150 dias após a enxertia atingiram médias de área foliar de 25,73 cm² e 27,61 cm² (Bhandari *et al.*, 2021). Assim, se comparado a outros trabalhos, as médias de área foliar obtidas em hidroponia e em cultivo convencional atingiram altos valores, o que pode permitir às mudas um bom desenvolvimento. Grandes áreas foliares proporcionam excelentes superfícies para a produção de fotossintatos, assim quanto maior a área foliar maior a fotossíntese. Contudo, as folhas grandes e planas podem ser prejudiciais em condições

estressantes, pois evidencia uma ampla área para a evaporação de água, o que pode acarretar excesso de absorção da radiação solar e rápido esgotamento de água (Taiz *et al.*, 2021).

Não houve diferença significativa entre os porta-enxertos para a variável área específica, diferentemente da área foliar, que apresentou diferenças significativas, o que pode ser explicado, em parte, pelos diversos fatores que podem afetar o crescimento das plantas. Assim, mesmo que na relação área foliar sobre massa seca não tenham sido verificadas diferenças, outros fatores podem afetar os parâmetros fisiológicos. As taxas de acúmulo de biomassa de uma planta dependem de diversos fatores ambientais e genéticos, os quais podem influenciar na fotossíntese por área foliar, respiração celular e duração da área foliar fotossinteticamente ativa, por esse motivo a produtividade e o crescimento vegetal podem ser quantificados com base na massa seca (Kerbaudy, 2019).

Os pigmentos fotossintetizantes clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total ($a + b$), não apresentaram diferenças significativas entre os porta-enxertos utilizados na formação das mudas (Tabela 1). Os resultados aferidos para os pigmentos fotossintetizantes demonstram que as clorofilas não foram significativamente afetadas pelos porta-enxertos, proporcionando, assim, comportamento semelhante entre as mudas avaliadas. Os índices aferidos pelo equipamento são proporcionais à absorbância real das clorofilas.

O índice de clorofila *a* obtido variou de 40,49 a 40,95, enquanto a clorofila *b* atingiu níveis maiores, de 56,28 para limoeiro ‘Cravo’ até 62,70 para trifoliateiro ‘Limeira’. Da mesma forma, os índices de clorofila total ($a + b$) apresentaram comportamento semelhante ao observado para a clorofila *b*, com valores numericamente maiores para trifoliteiro ‘Limeira’ (103,67) e o menor para limoeiro ‘Cravo’ (97,21), como descrito na Tabela 1, porém, estatisticamente iguais. Barman & Choudhury (2022) obtiveram proporção semelhante da distribuição dos pigmentos fotossintetizantes, utilizando-se de espectrofotômetro em folhas

maduras da espécie *Citrus limon*, concentrações médias de clorofila *a* de 36,85, clorofila *b* 38,93 e clorofila total de 75,79.

A razão área foliar sobre clorofila total, apresentou diferenças significativas de acordo com o porta-enxerto utilizado para a formação das mudas, assim como a área foliar, em que trifoliato 'Limeira' atingiu o menor valor, estatisticamente diferente de citrumeleiro 'Swingle' e limoeiro 'Cravo', que apresentaram as maiores médias. Como as concentrações de clorofila não diferenciam significativamente entre si, as diferenças entre os porta-enxertos para essa variável podem ser explicadas pela área foliar, a qual foi mais extensa nessas duas variedades.

Folhas grandes e planas com uma extensa área proporcionam às plantas superfícies ideais para a produção de fotossintatos (Taiz *et al.*, 2021), enquanto o conteúdo de clorofila nas folhas é frequentemente utilizado como um indicador de stress e crescimento (Nofrizal *et al.*, 2022). Os teores de clorofila e a área foliar são intimamente associados, principalmente em relação à eficiência fotossintética (Liberato *et al.*, 2021). Um alto índice de área foliar também pode ser explicado por condições climáticas favoráveis (Bhandari *et al.*, 2021), já que as mudas foram mantidas em condições de cultivo protegido, em casa de vegetação com telado antiafídeo, e embora não tenha sido utilizado nenhum tipo de sombreamento, as mudas não foram expostas ao pleno sol.

Por outro lado, o sombreamento pode proporcionar às plantas um maior conteúdo de clorofila *b* se comparado àquelas produzidas a pleno sol, devido ao aumento da capacidade de interceptação de luz na atividade do fotossistema II sob baixa irradiância. Assim, sabe-se que a maior parte da clorofila total está associada ao complexo antena do fotossistema I, correspondente a cerca de metade da clorofila *a* e a maior parte da clorofila *b* (Kerbaui, 2019). Como observado no presente estudo, os teores de clorofila *b* foram superiores aos obtidos de clorofila *a*.

Contudo, grandes áreas foliares também podem proporcionar maiores perdas de água por transpiração. Além disso, pode ocorrer uma redução na área foliar das plantas em resposta a estresses como déficit hídrico e salinidade. Assim, diversos fatores podem afetar a área foliar e o acúmulo de biomassa nas culturas, como a qualidade e intensidade da radiação solar, as condições de plantio como o substrato utilizado (Aimi *et al.*, 2019) e a nutrição das plantas (Gallegos-Cedillo *et al.*, 2021).

A absorção da radiação solar pelas plantas é de extrema importância para a realização da fotossíntese. Na fase fotoquímica a energia transferida ao centro de reação gera a excitação dos elétrons da clorofila *a*, P₆₈₀ do fotossistema II e P₇₀₀ do fotossistema I (Fagan *et al.*, 2022). A integridade desses fotossistemas pode ser medida com a fluorescência da clorofila *a* no fotossistema II (PS II), onde a razão entre as fluorescências variável e máxima (Fv/Fm) pode variar de 0,78 a 0,83 (Medina *et al.*, 2005). Para todos os porta-enxertos avaliados, a eficiência fotoquímica obtida nas folhas de tangerineira ‘Ponkan’ foi de cerca de 0,81, sem diferença significativa entre as cultivares (Tabela 2).

Tabela 2. Fluorescência da clorofila *a* de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ produzidas com diferentes porta-enxertos em sistema convencional e hidropônico: eficiência fotoquímica potencial do fotossistema II (Fv/Fm); coeficiente de dissipação fotoquímica (quenching fotoquímico - qP); coeficiente de dissipação não fotoquímico (NPQ) e taxa de transporte de elétrons (ETR).

Cultivares	Fv/Fm	qP		NPQ	ETR μmol m ⁻² s ⁻¹
		convencional	hidropônico		
C. Swingle	0,8102 a	0,3288 Ba	0,4140 Aa	0,4720 a	12,6471 a
L. Cravo	0,8145 a	0,3206 Ba	0,4327 Aa	0,4490 a	14,3436 a
T. Limeira	0,8164 a	0,3491 Aa	0,3864 Aa	0,4854 a	11,3486 a
T. Rubidoux	0,8154 a	0,4090 Aa	0,3469 Aa	0,5015 a	12,9982 a
C. Índio	0,8158 a	0,3415 Aa	0,3734 Aa	0,4868 a	13,1123 a
CV (%)	0,9	12,34		30,69	13,86

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Resultados semelhantes foram obtidos em mudas de laranjeira ‘Valência’ de seis meses, enxertadas em limoeiro ‘Cravo’ e citrumeleiro ‘Swingle’. Às 10h da manhã ambos porta-enxertos atingiram eficiência quântica máxima próxima de 0,80 (Machado *et al.*, 2010). Em tangerineira ‘Ponkan’, a eficiência do fotossistema II, em plantas de três anos de idade, enxertadas sobre limoeiro ‘Cravo’ atingiu valores próximos a 0,80, sendo que após dias de estresse por déficit hídrico foi verificado decréscimo da relação Fv/Fm (Cruz *et al.*, 2009).

Os valores ligeiramente maiores observados nas mudas avaliadas podem ser explicados pela maior eficiência quântica das plantas C3 em temperaturas inferiores a 30 °C, embora a fotossíntese tanto das plantas C3 quanto das C4 apresente comportamento semelhante na etapa linear da curva de resposta à luz. Dessa forma, em baixas intensidades de luz e em temperaturas inferiores a 30 °C, as plantas C3 são mais eficientes que as plantas C4 em realizar a fotossíntese, pois a fixação de CO₂ pela via C4 tem custo energético maior se comparado à C3 (Kerbaui, 2019).

Entre as variáveis de fluorescência da clorofila *a*, medidas pelo fluorômetro, a única que resultou em interação significativa para os fatores variedades de porta-enxertos (tratamentos) e sistemas de cultivo foi o quenching fotoquímico (qP), também chamado de coeficiente de dissipação fotoquímica. Assim, foi possível comparar os sistemas utilizados, sendo que em hidroponia limoeiro ‘Cravo’ (0,43) e citrumeleiro ‘Swingle’ (0,41) foram superiores ao cultivo convencional, com valores em torno de 0,32. Porém, entre os porta-enxertos utilizados para a formação das mudas de tangerineira ‘Ponkan’ não foram verificadas diferenças significativas em nenhum dos dois sistemas de cultivo.

Em estudo sobre os efeitos da alta temperatura em mudas de nove meses de idade, de laranjeira ‘Pêra’, infectadas por *Xylella fastidiosa*, foram encontrados os menores valores de

qP a 35 °C de aproximadamente 0,80 para plantas saudáveis e 0,67 em plantas infectadas, em que o aumento na intensidade da luz causou redução no qP, o que pode ser atribuído ao fechamento dos centros de reação, resultante da saturação luminosa da fotossíntese (Ribeiro *et al.*, 2003).

Assim, diferenças no ambiente de cada sistema de cultivo podem ter influenciado na dissipação fotoquímica. Além disso, foi observado no experimento alta eficiência quântica o que pode reduzir a dissipação fotoquímica (qP) (Silva *et al.*, 2021).

A fluorescência medida nas folhas pode ser descrita como a dissipação de energia pela emissão de luz, dessa forma, ocorrem processos de absorção de luz e emissão de fluorescência. Os valores obtidos pelas medições de qP podem indicar o crescimento saudável das plantas, já que os equipamentos que medem a fluorescência podem detectar quando as plantas sofrem diferentes tipos de estresse, e, nesses casos, a emissão de fluorescência nas folhas tende a aumentar, prejudicando a fotossíntese (Kerbaui, 2019).

As folhas necessitam dissipar o excedente de energia luminosa que é absorvida quando são expostas a luz, para que o aparelho fotossintético não seja danificado, por esse motivo existem rotas de dissipação que abrangem o quenching não fotoquímico (NPQ) além da fluorescência da clorofila por meios não fotoquímicos, entre eles o mais relevante compreende a transferência de energia luminosa absorvida do transporte de elétrons (ETR) para a produção de calor (Taiz *et al.*, 2021). Tanto para o coeficiente de dissipação não fotoquímico (NPQ) quanto para a taxa de transporte de elétrons (ETR) não houve diferença significativa nas folhas das mudas entre os porta-enxertos avaliados.

Em mudas de laranja 'Pêra' de nove meses de idade, NPQ variou de valores abaixo de 0,3 até 1,5 conforme ocorria o aumento do fluxo de fótons fotossintéticos (Ribeiro *et al.*, 2003). Contudo em outros trabalhos foram observados valores maiores, Machado *et al.* (2013) obtiveram em laranja 'Valência', de seis meses de idade, enxertadas em limoeiro 'Cravo' e

citrumeleiro ‘Swingle’ valores próximos a 3,2 para os dois porta-enxertos utilizados (Machado *et al.*, 2013). Da mesma forma, Magalhães Filho *et al.* (2009) encontraram NPQ próximo a 3,3 nas medidas iniciais, em laranjeira ‘Valência’ com seis meses de idade, ao estudar as respostas da fluorescência em diferentes temperaturas de substrato.

Em plantas saudáveis ocorrem maiores taxas fotossintéticas, altos valores de qP e menores de NPQ, o que deixa evidente que as reações fotoquímicas da fotossíntese podem ser demonstradas pelos parâmetros de fluorescência da clorofila (Ribeiro *et al.*, 2003). Independente de estresses abióticos ou bióticos, as plantas cítricas mostram aumento linear de NPQ de acordo com o incremento do excesso relativo de energia luminosa no fotossistema II (Ribeiro & Machado, 2007). Portanto, a dissipação não fotoquímica da fluorescência da clorofila ocorre para que o excesso de luz absorvida seja dissipado na forma de calor, o que é considerada uma forma de adaptação e resposta mais rápida da membrana fotossintética ao excesso da luz, compreendida como uma forma de fotoproteção das plantas (Ruban, 2016).

Na taxa de transporte de elétrons foram observados resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho, em folhas de mudas de laranjeira ‘Natal’ conduzidas em casa de vegetação, nas quais a ETR atingiu valores próximos de $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ às 8h da manhã, elevando sua taxa de elétrons ao longo do dia, atingindo o ETR máximo de cerca de $75 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ próximo às 14h (Medina *et al.*, 2005).

Os baixos valores obtidos neste trabalho podem ter sido influenciados pela incidência de luz no local de avaliação onde as mudas foram formadas. A intensidade e a qualidade da luz estão entre os principais fatores que interferem na taxa de transporte de elétrons. Em condições de baixa intensidade luminosa, a taxa de transporte de elétrons é limitada, porque menos fótons estão disponíveis para excitar os elétrons. Do mesmo modo, conforme a intensidade da luz aumenta, a ETR também se eleva até atingir o ponto de saturação, quando

outros fatores, como a disponibilidade de CO₂, podem limitar a fotossíntese (Araldi *et al.*, 2011; Burger *et al.*, 2012).

Contudo, os demais parâmetros obtidos pelo fluorômetro (aparelho de amplitude de pulso modulada: MINI-PAM) demonstraram que não ocorreram condições de estresse, de modo que as condições ambientais não afetaram significativamente a fotossíntese e, portanto, o crescimento das mudas nos dois sistemas estudados. Dessa forma, as medidas obtidas para a taxa de transporte de elétrons podem ter sido influenciadas por condições do ambiente como a incidência da radiação solar no momento das medições, sendo que ao longo do dia podem ocorrer variações naturais de acordo com o fluxo de fótons incidente nas folhas.

As medições de trocas gasosas realizadas nas mudas, obtidas a partir do analisador de gases infravermelho (IRGA), não apresentaram diferenças significativas entre os porta-enxertos avaliados (Tabela 3). A taxa de assimilação de CO₂ (A) variou de 8,34 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em mudas enxertadas sobre trifoliateiro ‘Rubidoux’ até 9,50 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para citrumeleiro ‘Swingle’. Em mudas de *Citrus sinensis* (L.) Osbeck aos 11 meses após o transplante, irrigadas com solução nutritiva, a assimilação fotossintética também atingiu média de assimilação fotossintética próxima de 9 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Jia *et al.*, 2021).

Tabela 3. Taxa de assimilação fotossintética (A), condutância estomática (g_s), concentração intracelular de CO₂ (C_i), taxa de transpiração (E) e eficiência do uso da água (A/E= WUE) de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ produzidas com diferentes porta-enxertos em sistema convencional e hidropônico.

Cultivares	A	g _s	C _i	E	WUE
	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol air}^{-1}$	$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	
C. Swingle	9,50 a	0,14 a	253,78 a	2,98 a	3,22 a
L. Cravo	8,87 a	0,14 a	257,54 a	2,87 a	3,10 a
T. Limeira	8,93 a	0,13 a	250,04 a	2,77 a	3,22 a
T. Rubidoux	8,34 a	0,12 a	245,70 a	2,64 a	3,28 a
C. Índio	8,94 a	0,13 a	246,83 a	2,76 a	3,27 a
CV (%)	21,61	31,95	4,98	24,24	5,62

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Ao avaliar mudas de dois anos de idade de laranjeira ‘Valência’ sob déficit hídrico e enxertadas sobre os porta-enxertos citrumeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’, o tratamento controle (com irrigação) obteve taxas de assimilação entre 8 e 12 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, enquanto as plantas sob déficit hídrico apresentaram taxas inferiores, principalmente aquelas enxertadas em limoeiro ‘Cravo’ (Miranda *et al.*, 2021).

Em climas subtropicais com disponibilidade de água e temperatura adequada, são esperadas taxas maiores de fotossíntese. As plantas perenes de metabolismo C3, como as plantas cítricas, em condições naturais, apresentam taxas fotossintéticas baixas, sendo os valores máximos em torno de 13 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ durante avaliações na primavera (Ribeiro & Machado, 2007). Nas folhas de citros, a resistência à difusão do CO_2 até o cloroplasto diminui a pressão parcial, assim, a baixa assimilação de CO_2 pode ser explicada pela baixa pressão parcial nos locais de carboxilação, de cerca de 8 Pa inferior à concentração intracelular de CO_2 (Syvertsen & Lloyd, 1994; Medina *et al.*, 2005).

As diferenças nas taxas fotossintéticas podem ocorrer em resposta às condições do ambiente onde as plantas realizam seu crescimento, principalmente devido à temperatura que altera a demanda bioquímica e a evapotranspiração, as quais podem afetar a condutância estomática (Ribeiro & Machado, 2007). Assim como a assimilação de CO_2 , a condutância estomática não apresentou diferença significativa entre os porta-enxertos, os valores obtidos não apresentaram grande variação, alternando de 0,12 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para trifoliateiro ‘Rubidoux’ a 0,14 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para citrumeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’.

Em plantas cítricas expostas à luz e sem condições de estresse, taxas de assimilação de CO_2 nas folhas entre 4 e 10 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ são atingidas por uma abertura estomática de 0,1 a 0,3 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Medina *et al.*, 2005). Dessa forma, a condutância estomática obtida

neste trabalho, medida nas folhas de tangerineira ‘Ponkan’, está de acordo com a média esperada para plantas cítricas. Diferentemente do observado neste estudo, onde os porta-enxertos foram estatisticamente iguais, Machado *et al.* (2010) ao avaliarem mudas de laranjeira ‘Valência’, com seis meses de idade, enxertadas sobre limoeiro ‘Cravo’ e citrumeleiro ‘Swingle’, observaram diferenças entre os porta-enxertos utilizados, sendo a condutância das folhas sobre citrumeleiro ‘Swingle’(entre 0,10 a 0,14 mol H₂O m⁻² s⁻¹) inferior à obtida em limoeiro ‘Cravo’(aproximadamente 0,17 mol H₂O m⁻² s⁻¹), a temperatura de 20°C. Os pequenos valores de condutância estomática obtidos estão de acordo com o esperado para plantas saudáveis sem condições estressantes. Em locais com estresse pelo calor, por exemplo, as plantas tendem a aumentar sua condutância estomática, para esfriar suas folhas por meio da transpiração (Taiz *et al.*, 2021).

A concentração intracelular de CO₂ obtida nas mudas enxertadas em citrumeleiro ‘Swingle’ foi de 253,78 μmol CO₂ mol air⁻¹, em limoeiro Cravo 257,54 μmol CO₂ mol air⁻¹ e em trifoliatoeiro ‘Limeira’ 250,04 μmol CO₂ mol air⁻¹, já trifoliatoeiro ‘Rubidoux’ e citrandarineiro ‘Índio’ atingiram médias menores. Jia *et al.* (2021) obtiveram concentrações semelhantes em mudas de laranjeira de 11 meses irrigadas com solução nutritiva, aproximadamente 230 a 270 μmol CO₂ mol air⁻¹, que variaram de acordo com a posição da folha na planta avaliada.

Em laranjeira ‘Valência’ aos seis meses de idade, enxertadas em limoeiro ‘Cravo’, Magalhães Filho *et al.* (2009) também atingiram valores próximos a 250 μmol CO₂ mol air⁻¹ à temperatura média de 20 °C, sendo que temperaturas superiores a 30°C, induziram maior condutância estomática e redução na concentração de CO₂ na câmara subestomática, o que pode ser explicado pelo maior fixação e difusão de CO₂ nas células do mesófilo e consequentemente maiores valores de condutância nesta região.

Estes dados salientam a importância da temperatura na assimilação fotossintética, condutância estomática e concentração intracelular de CO₂, sendo esses parâmetros diretamente relacionados. No presente estudo, as médias de temperatura nos sistemas de cultivo foram de 22,91 °C no sistema convencional e de 22,47 °C em hidroponia (Figura 1). A temperatura e a pressão influenciam as medidas de atividade fotossintética, na qual aumentos significativos da assimilação fotossintética são obtidos quando ocorre aumento na concentração intracelular de CO₂, em que maior pressão (2,5 kPa) diminuiu em 50% a taxa de fotossíntese líquida, sendo assim a pressão de 1,2 kPa a melhor opção (Habermann *et al.*, 2003). Em citros, o aumento da concentração de CO₂ nas células do mesofilo mostra que o enriquecimento de CO₂ na atmosfera pode causar incremento na produtividade, principalmente em cultivos protegidos, como a produção de mudas em estufas (Medina *et al.*, 2005).

Conforme a taxa fotossintética aumenta, a concentração intracelular de CO₂ também cresce linearmente até que a fotossíntese se iguale à respiração, o que é chamado ponto de compensação, sendo que acima dele, a fotossíntese é estimulada até um determinado limite (Medina *et al.*, 2005). A transpiração também aumenta linearmente em função do aumento da condutância estomática, onde a abertura estomática permite a entrada de CO₂, contudo ocorre perda de água pela transpiração devido ao gradiente de concentração da água entre a superfície foliar e a atmosfera (Taiz *et al.*, 2021).

As maiores taxas de transpiração, embora não tenha ocorrido diferença estatística entre as variedades de porta-enxertos avaliadas, foram observadas nos porta-enxertos citrumeleiro ‘Swingle’ (2,98 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) e limoeiro ‘Cravo’ (2,87 mmol H₂O m⁻² s⁻¹). Terán *et al.* (2024) ao estudarem os efeitos do caulim em plantas de citrange ‘Carrizo’ (*Poncirus trifoliata* L. Raf. × *Citrus sinensis* L. Osbeck) de um ano de idade obtiveram no tratamento controle (25 °C), não submetidas a condições de estresse abiótico por calor e intensa luminosidade,

transpiração inferior a 1,5, com aplicação de caulim taxa de transpiração próxima de $2 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e sob estresse por calor valores próximos a $3 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Contudo, Jia *et al.* (2021) também alcançaram taxas de transpiração em folhas de *Citrus sinensis* próximas a $3 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em plantas sem condições estressantes e nutricionalmente saudáveis.

Taxas mais altas de transpiração podem ser explicadas pelo fato de que as plantas cítricas atingem maior transpiração diurna à medida que são menos afetadas pelo déficit hídrico (Ribeiro & Machado, 2007). Entre as principais respostas das plantas ao ambiente está a modulação da absorção de água e as perdas por transpiração, que exercem importante função no crescimento, assim, as condições de luz, umidade, temperatura e balanço hídrico influenciam a eficiência fotossintética e o crescimento das plantas (Medina *et al.*, 2005).

A razão entre a taxa fotossintética e a transpiração quantifica a eficiência do uso da água (WUE), também chamada de razão de transpiração, que permite às plantas regular a perda de água e a absorção de CO_2 (Taiz *et al.*, 2021). De acordo com Medina *et al.* (2005), em citros, a eficiência do uso da água é em torno de $3 \mu\text{mol mmol}^{-1}$. Para as plantas C3, devido ao funcionamento dos estômatos neste tipo fotossintético, a eficiência de uso da água varia de 1 a $3 \text{ g CO}_2/\text{kg H}_2\text{O}$ (Kerbaudy, 2019), assim os citros, entre as plantas C3, usualmente apresentam alta eficiência. As razões obtidas para os porta-enxertos avaliados no presente estudo foram de 3,10 em limoeiro ‘Cravo’ a 3,27 em citrandarineiro ‘Índio’ e 3,28 em trifoliatoeiro ‘Rubidoux’, contudo sem diferença significativa entre as variedades. As medidas obtidas evidenciam a alta eficiência no uso da água pelas mudas tanto em cultivo convencional quanto hidropônico.

Assim, a eficiência das plantas cítricas em limitar a perda de água ao mesmo tempo em que absorve CO_2 ocorre, possivelmente, pela alta resistência estomática dos citros, que resistem a perda de água em maior proporção do que à entrada de CO_2 no estroma dos cloroplastos. Contudo em situações de déficit hídrico, em laranjeiras, essa vantagem não é

mantida pois ocorre aumento simultâneo na resistência do mesofilo e dos estômatos, diferentemente de outras plantas onde a resistência estomática normalmente acontece antes (Medina *et al.*, 2005).

Esses parâmetros permitem afirmar que as mudas produzidas tanto em hidroponia quanto em sistema convencional não estavam sob condições estressantes, o que possibilitou altas taxas fotossintéticas, essenciais ao crescimento dessas plantas.

4 CONCLUSÃO

Não houve diferença entre os sistemas de produção e variedades de porta-enxertos para os parâmetros fisiológicos avaliados, exceto para o quenching fotoquímico (qP) entre os sistemas, para a área foliar e a razão área foliar/clorofila total entre os porta-enxertos.

O sistema hidropônico propiciou maior qP para as variedades limoeiro ‘Cravo’ e citrumeleiro ‘Swingle’ em comparação ao sistema convencional.

As mudas de tangerineira ‘Ponkan’ atingiram parâmetros fotossintéticos adequados, independentemente do porta-enxerto e sistema de produção de mudas utilizado.

AGRADECIMENTOS, APOIO FINANCEIRO E DIVULGAÇÃO COMPLETA

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) (Processo n. APQ-00476-21) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- Aimi SC, Araujo MM, Fermino MH, Tabaldi LA, Zavistanovicz TC & Mieth P (2019). Substrate and fertilization in the quality of *Myrocarpus frondosus* seedlings. *Floresta*, 49:831–840. DOI: [10.5380/rf.v49i4.59748](https://doi.org/10.5380/rf.v49i4.59748)
- Araldi R, Velini ED, Giroto M, Carbonari CA, Jasper SP & Trindade MLB (2011). Efeitos na taxa de transporte de elétrons de plantas daninhas após aplicação de amicarbazone. *Planta Daninha*, 29(3):647–653. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000300019>
- Balfagón D, Gomez-Cadenas A, Rambla JL, Granell A, de Ollas C, Bassham DC, Mittler R & Zandalinas SI (2022). Gamma-aminobutyric acid plays a key role in plant acclimation to a combination of high light and heat stress. *Plant Phys* 188(4):2026–2038. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiac010>
- Barman U & Choudhury RD (2022). Smartphone image based digital chlorophyll meter to estimate the value of citrus leaves chlorophyll using Linear Regression, LMBP-ANN and SCGBP-ANN, *Journal of King Saud University* 34(6):2938-2950. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.01.005>.
- Bhandari N, Basnet M & Khanal S (2021). Standardization of Grafting Time of Mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) in Central Mid Hill of Nepal, *International Journal of Fruit Science*, 21(1):599-608. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1875964>
- Burger MCM, Oliveira GS, Menezes ACS, Vieira PC, Silva MFGF & Veiga TAM (2012). Ácido myrsinoico a e derivado: inibidores da fotossíntese in vitro. *Química Nova*, 35(7):1395–1400. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000700020>

Carvalho AS, Graf CCD & Violante AR (2005) Produção de material básico e propagação. In: Mattos Junior D de, De Negri JD, Pio RM & Pompeu Júnior J (Ed.). Citros. Instituto Agronômico e Fundag. p. 317-344.

Colares G, Dell'Osbel N, Wiesel P, Oliveira G, Lemos P, Silva F, Lutterbeck C, Kist L & Machado E (2020). Floating treatment wetlands: a review and bibliometric analysis. *Science of The Total Environment*. 714:136776. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.136776](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136776)

Cruz MCM, Siqueira DL, Salomão LCC & Cecon PR (2009). Fluorescência da clorofila *a* em folhas de tangerineira 'Ponkan' e limeira ácida 'Tahiti' submetidas ao estresse hídrico. *Revista Brasileira De Fruticultura*, 31(3):896–901. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452009000300037>

Fagan EB, Dourado Neto D, Rodrigues JD, Ono EO & Reis MRD (2022). *Fisiologia vegetal: fotossíntese, relações hídricas e nutrição mineral*. Editora Pecege, 190 p.

Fimbres-Acedo YE, Traversari S, Cacini S, Costamagna G, Ginepro M, Massa D (2023). Testing the Effect of High pH and Low Nutrient Concentration on Four Leafy Vegetables in Hydroponics. *Agronomy*, 13 (41). <https://doi.org/10.3390/agronomy13010041>

Gallegos-Cedillo VM, Diánez F, Nájera C & Santos M (2021). Plant agronomic features can predict quality and field performance: a bibliometric analysis. *Agronomy*, 11(11):2305. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112305>

Gomes FP (2009). *Curso de estatística experimental*. FEALQ, 15. ed. 451 p.

Habermann G, Machado EC, Rodrigues JD & Medina CL (2003). Gas exchange rates at different vapor pressure deficits and water relations of 'Pera'sweet orange plants with citrus variegated chlorosis (CVC). *Scientia Horticulturae*, 98(3):233-245.

Jia Y, Xu H, Wang Y, Ye X, Lai N, Huang Z, Chen LL & Guo J (2021). Differences in morphological and physiological features of citrus seedlings are related to Mg transport from the parent to branch organs. *BMC Plant Biology*, 21(1):239. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03028-z>

Kerbaui GB (2019). *Fisiologia vegetal*. 3. ed. Guanabara Koogan, 430 p.

Khan MN, Hayat F, Asim M, Iqbal S, Ashraf T & Asghar S (2020). Influence of citrus rootstocks on growth performance and leaf mineral nutrition of 'Salustiana' sweet orange [*Citrus sinensis* (L.) obsk]. *Journal of Pure and Applied Agriculture*, 5(1):46-53. <https://ojs.aiou.edu.pk/index.php/jpaa/article/view/1939>

Lei Y, Yin C & Li C (2006). Differences in some morphological, physiological, and biochemical responses to drought stress in two contrasting populations of *Populus przewalskii*. *Physiologia Plantarum*. 127:182–191. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00638.x>

Liberato EMS, Leonel S, Souza JMA & Napoleão GM (2021). Substrate mixing formulations for Citrus nursery management. *Nativa*, 9(5), 500-507. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i5.12777>

Machado DFSP, Machado EC, Machado RS & Ribeiro RV (2010). Efeito da baixa temperatura noturna e do porta-enxerto na variação diurna das trocas gasosas e na atividade fotoquímica de laranja 'Valência'. *Revista Brasileira De Fruticultura*, 32(2):351–359. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000064>

Machado DFSP, Ribeiro RV, Silveira JAG, Magalhães Filho JR & Machado EC (2013). Rootstocks induce contrasting photosynthetic responses of orange plants to low night

temperature without affecting the antioxidant metabolism. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 25(1) :26–35. <https://www.scielo.br/j/txpp/a/6gGG55jRzd5tXcQq4nDkqrH/>

Magalhães Filho JR, Machado EC, Machado DFSP, Ramos RA & Ribeiro RV (2009). Variação da temperatura do substrato e fotossíntese em mudas de laranjeira 'Valência'. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(9):1118–1126. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000900008>

Martins FB, Gonzaga G, Santos DF & Reboita MS (2018). Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. *Revista Brasileira de Climatologia*, 14:129-159. <https://doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60896>

Medina CL & Machado EC (1998). Trocas gasosas e relações hídricas em laranjeira 'Valência' enxertada sobre limoeiro 'Cravo' e trifoliata e submetida à deficiência hídrica. *Bragantia*, 57(1):15-22.

Medina CL, Rena AB, Siqueira DL & Machado EC (2005). Fisiologia dos citros. In: Mattos Junior D, De Negri JD, Pio RM, Pompeu Júnior J (Ed.). *Citros*. Instituto Agrônômico e Fundag, p. 146-195.

Miranda MT, Silva SF, Silveira NM, Pereira L, Machado EC & Ribeiro RV (2021). Root osmotic adjustment and stomatal control of leaf gas exchange are dependent on citrus rootstocks under water deficit. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(1):11-19. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10069-5>

Mouhaya W, Allario T, Brumos J, Andrés F, Froelicher Y, Luro F, Talon M, Ollitrault P & Morillon R (2010). Sensitivity to high salinity in tetraploid citrus seedlings increases with water availability and correlates with expression of candidate genes. *Funct Plant Biol* 37:674–685. <https://doi.org/10.1071/FP10035>

- Nofrizal AY, Sonobe R, Yamashita H, Seki H, Mihara H, Morita A & Ikka, T (2022). Evaluation of a one-dimensional convolution neural network for chlorophyll content estimation using a compact spectrometer. *Remote Sensing*, 14(9), 1997. <https://doi.org/10.3390/rs14091997>
- Ribeiro RV & Machado EC (2007). Some aspects of citrus ecophysiology in subtropical climates: re-visiting photosynthesis under natural conditions. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4) :393–411. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400009>
- Ribeiro RV, Machado EC, Oliveira RF & Pimentel C (2003). High temperature effects on the response of photosynthesis to light in sweet orange plants infected with *Xylella fastidiosa*. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 15(2) :89–97. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202003000200004>
- Ribeiro RV, Machado EC, Santos MG & Oliveira RF (2009). Photosynthesis and water relations of well-watered orange plants as affected by winter and summer conditions. *Photosynthetica* 47:215–222. <https://doi.org/10.1007/s11099-009-0035-2>
- Ruban AV (2016). Nonphotochemical chlorophyll fluorescence quenching: mechanism and effectiveness in protecting plants from photodamage. *Plant Physiol*, 170(4):1903-1916. doi:10.1104/pp.15.01935
- Santos RIN, Castro GLS, Teixeira GIS, Silvestre WVD, Silva GB & Pinheiro HA (2022). Leaflet gas exchange and chlorophyll fluorescence evidence the sensitivity of young açai palms to progressive drought. *Acta Physiologiae Plantarum*, 44(3):31. <https://doi.org/10.1007/s11738-022-03362-1>
- Shankar K, Awasthi OP, Dubey AK, Singh A, Prakash J & Dolatabadian A (2023). Rootstock mediated alteration in morphology and photosystem in sweet orange (*Citrus sinensis*) scion

cv. Pusa Sharad under NaCl stress. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 93(10):1103-1107. DOI:[10.56093/ijas.v93i10.139420](https://doi.org/10.56093/ijas.v93i10.139420)

Shimizu GD, Marubayashi RYP & Gonçalves LSA (2024). AgroR: experimental statistics and graphics for agricultural sciences. R package version 1.3.6. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/AgroR/index.html>>.

Silva TA, Brito MEB, Conceição IH, Nunes EDS, Souza DS & Martins GO (2021). Photochemical quenching is indicative of ionic stress on ‘Tahiti’ acid lime grafted on citrus genotypes. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*, 25(6):409–414. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n6p409-414>

Swain A, Chatterjee S & Vishwanath M (2021). Hydroponics in vegetable crops: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 10(6):629-634.

Syvertsen JP & Lloyd D (1994). Citrus. In: Schaffer B & Andersen PC (Ed.). *Handbook of environmental physiology of fruit crops*. CRC Press, 2:65-99.

Taiz L, Zeiger E, Moller IM & Murphy A (2021). *Fundamentos de fisiologia vegetal*. 6. ed. Artmed.

Terán F, Vives-Peris V, López-Climent MF, Gómez-Cadenas A & Pérez-Clemente RM (2024). Palliative effects of kaolin on citrus plants under controlled stress conditions of high temperature and high light intensity. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43(2):486-499. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-11103-y>

Tsiupka V, Tsiupka S, Plugatar Y, Bulavin I & Komar-Tyomnaya L (2023). Assessment of the Drought-Tolerance Criteria for Screening Peach Cultivars. *Horticulturae*, 9(9):1045. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9091045>

Xu C, Wang Y, Yang H, Tang Y, Liu B, Hu X & Hu Z (2023). Cold acclimation alleviates photosynthetic inhibition and oxidative damage induced by cold stress in citrus seedlings. *Plant Signaling & Behavior*, 18(1). <https://doi.org/10.1080/15592324.2023.2285169>