UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel

Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar

Dissertação

Efeito de substratos e da biofortificação com zinco sobre aspectos agronômicos e conteúdo de fitoquímicos de microverdes

Luis Otavio da Fonseca Dias

Pelotas, 2022

Luis Otavio da Fonseca Dias

Efeito de substratos e da biofortificação com zinco sobre aspectos agronômicos e conteúdo de fitoquímicos de microverdes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientadora: Prof[a]. Dr[a]. Roberta Marins Nogueira Peil

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Rogério Mauch

Coorientador: Prof. Dr. Cesar Valmor Rombaldi

Pelotas, 2022

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

D541e Dias, Luis Otavio da Fonseca

Efeito de substratos e da biofortificação com zinco sobre aspectos agronômicos e conteúdo de fitoquímicos de microverdes / Luis Otavio da Fonseca Dias ; Roberta Marins Nogueira Peil, orientadora ; Carlos Rogério Mauch, Cesar Valmor Rombaldi, coorientadores. — Pelotas, 2022.

84 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

1. *Beta vulgaris* L.. 2. *Brassica oleracea* L. *var. capitata f. rubra*. 3. *Lactuca sativa* L.. 4. *Ocimum basilicum* L.. 5. Cultivo sem solo. I. Peil, Roberta Marins Nogueira, orient. II. Mauch, Carlos Rogério, coorient. III. Rombaldi, Cesar Valmor, coorient. IV. Título.

CDD : 630.2745

Luis Otavio da Fonseca Dias

Efeitos de substratos e da biofortificação com zinco sobre aspectos agronômicos e conteúdo de fitoquímicos de microverdes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Data da defesa: 23 de fevereiro de 2022

Banca examinadora:

Profª Drª. Roberta Marins Nogueira Peil (orientadora) - Doutora em Agronomia pela Universidade de Almeria

Profª. Drª. Claudia Simone Madruga Lima - Doutorado em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

Profª Drª. Tatiana da Silva Duarte - Doutorado em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

Profª Drª. Valdirene Camatti Sartori - Doutorado em Processos Biotecnológicos pela Universidade Federal do Paraná

Aos meus pais, Jorge Luis e Jussara, e minha namorada Tainã, por todo amor e incentivo.

dedico.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de participar do programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar.

Ao CNPq pela consessão da bolsa de estudos.

A Empresa Isla Sementes pela colaboração e doação das sementes.

A professora Roberta Marins Nogueira Peil, por me orientar sempre com muita paciência e carinho, por acreditar em minha capacidade profissional.

Ao professor Carlos Rogério Mauch pela coorientação.

Ao professor Cesar Valmor Romaldi, por tornar possivel a realização das analises de pós-colheita.

Aos colegas e amigos, Aline Pereira, Cristiane Neutzling, Mussa Salé, Fabiane Kletke, Josiele Dutra, Lais Perin e Viviane Ritter, pela disposição a me ajudarem sempre que precisei.

Aos estagiários, Dener Oliveira, Diego Lucas e Bruna Neitzke, por toda sua ajuda e apoio.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Claudia Lima, Prof. Tatiane Duarte e Prof. Valdirene Sartori, pelo aceite do convite.

Aos meus pais Jorge Luis e Jussara, pelo apoio e amor que foi dado sempre.

Ao meu irmão Ayel, pelo apoio e amizade, sobretudo por acreditar no meu potencial e me incentivar.

Agradeço à minha namorada Tainã Rosa da Silva, por todo apoio e confiança depositada em mim.

A todos que de alguma forma contribuiram para a realização deste trabalho.

*“*Se as coisas são inatingíveis... ora!
Não é motivo para não querê-las...
Que tristes os caminhos, se não fora
A mágica presença das estrelas!”

Mário Quintana

Resumo

DIAS, Luis Otavio da Fonseca. **Efeito de substratos e da biofortificação com zinco sobre aspectos agronômicos e conteúdo de fitoquímicos de microverdes.** 2022. 84f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Os microverdes são plantas colhidas prematuramente, geralmente, até três semanas após a germinação, quando apresentam as folhas cotiledonares completamente expandidas e túrgidas e a primeira folha verdadeira em estágio inicial de desenvolvimento. A pesquisa com microverdes constitui um ramo promissor na ciência, existindo poucos estudos destinados a avaliar distintos aspectos nesta área da produção vegetal. Diante desse contexto, este trabalho de pesquisa teve duas frentes de atuação: o estudo de substratos e da biofortificação agronômica com zinco e seus efeitos sobre aspectos relacionados ao crescimento, produção e conteúdo de compostos fitoquímicos dos microverdes. Dois experimentos foram conduzidos em um sistema de cultivo sem solo de fácil manejo, empregando bandejas plásticas preenchidas com camada de substrato de 1 cm de altura e fornecimento automático de solução nutritiva por subirrigação, instalado em estufa plástica. O primeiro teve a finalidade de avaliar o cultivo de microverdes de alface, beterraba, repolho roxo e manjericão em substratos convencionais, empregados corriqueiramente na produção de mudas de hortaliças (Carolina Soil®-mudas, casca de arroz carbonizada e a mistura de ambos) e substratos alternativos (fibra têxtil e tecido de juta). Os resultados obtidos com o experimento 1 indicam que o substrato Carolina Soil®-mudas apresenta-se como o meio mais adequado quanto à conciliação de crescimento, produtividade e conteúdo de ácido L-ascórbico e de carotenóides. A fibra têxtil, para o repolho roxo e o manjericão, assim como a casca de arroz carbonizada e a mistura Carolina Soil®-mudas + casca de arroz carbonizada, para as quatro espécies, apresentam-se como alternativas promissoras. De maneira geral, o cultivo em juta traz prejuízos ao crescimento, à produtividade e ao conteúdo de ácido L-ascórbico e carotenóides. Porém, propicia maior conteúdo de compostos fenólicos totais nos tecidos de beterraba e repolho roxo. O segundo experimento refere-se à avaliação do aumento da concentração de zinco (0, 5, 10, 20, e 30 mg L^{-1}) da solução nutritiva de Hoagland a 50% de concentração e seus efeitos sobre a biofortificação de microverdes de beterraba, manjericão e repolho roxo. Os resultados obtidos no experimento 2 permitem concluir que a suplementação da solução nutritiva com 5 ou 10 mg L^{-1} de zinco possibilita o aumento no conteúdo de zinco nos tecidos dos microverdes avaliados desde o mínimo de 115% até o máximo de 586%, em relação ao conteúdo presente em microverdes produzidos com a mesma solução padrão com dose zero de Zn, sem haver redução do crescimento, rendimento de massa fresca e conteúdo de compostos fitoquímicos das plantas. A suplementação com doses de 20 e 30 mg L^{-1} deve ser desconsiderada, pois, mesmo não havendo prejuízos aos parâmetros avaliados, os níveis de Zn no tecido vegetal podem alcançar valores potencialmente tóxicos para o ser humano.

Palavras-chave: *Beta vulgaris* L.; *Brassica oleracea L. var. capitata f. rubra*; *Lactuca sativa* L.; *Ocimum basilicum* L.; cultivo sem solo; solução nutritiva.

Abstract

DIAS, Luis Otavio da Fonseca. **Effect of substrates and zinc biofortification on agronomic aspects and phytochemical content of microgreens.** 2022. 84f. Dissertation (Master in Agronomy) - Graduate Program in Family Agricultural Production Systems, Agronomy School Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas.

Microgreens are plants harvested prematurely, usually up to three weeks after germination, when the cotyledonary leaves are fully expanded and turgid and the first true leaf is at an early stage of development. Research about microgreens is a promising branch of science, and there are few studies aimed at evaluating different aspects in this area of crop production. Given this context, this research work had two fronts: the study of substrates and agronomic biofortification with zinc and its effects on aspects related to plant growth, production and content of phytochemical compounds in microgreens. Two experiments were conducted in a very simple soilless cultivation system, using plastic trays filled with a 1 cm height substrate layer and automatic supply of nutrient solution by sub-irrigation, installed in a plastic greenhouse. The first aimed to evaluate the cultivation of lettuce, beet, red cabbage and basil microgreens in conventional substrates, commonly used for raise vegetable seedlings (Carolina Soil®-seedlings, carbonized rice husk and a mixture of both) and alternative substrates (textile fiber and jute). The results obtained from the experiment 1 indicated that the substrate Carolina Soil®-seedlings is the most suitable medium regarding the conciliation of growth, yield and content of L-ascorbic acid and carotenoids. Textile fiber, for red cabbage and basil, as well as carbonized rice husk and the mixture Carolina Soil®-seedlings + carbonized rice husk, for the four species, are promising alternatives. In general, the cultivation in jute causes damage to plant growth, yield and content of L-ascorbic acid and carotenoids. However, it provides a higher content of total phenolic compounds in beet and red cabbage tissues. The second experiment refers to the evaluation of the increase in zinc concentration (0, 5, 10, 20, and 30 mg L-1) of Hoagland's nutrient solution at 50% concentration and its effects on the biofortification of beet, basil and red cabbage microgreens. The obtained results in experiment 2 allow us to conclude that the supplementation of the nutrient solution with 5 or 10 mg L-1 of zinc allows an increase in the zinc content in the tissues of the microgreens evaluated from a minimum of 115% to a maximum of 586%, in relation to the content present in microgreens produced with the same standard solution with zero dose of Zn, without any reduction in plant growth, fresh yield and content of phytochemical compounds. Supplementation with doses of 20 and 30 mg L-1 should be disregarded, because, even with no damage to the parameters evaluated, Zn levels in plant tissue can reach potentially toxic values for humans.

Keywords: *Beta vulgaris* L.; *Brassica oleracea* L. *var. capitata f. rubra; Lactuca sativa* L.; *Ocimum basilicum* L.; soilless cultivation; nutrient solution.

Lista de Figuras

Artigo I ……...…….....….....37

Figura 1 - Efeito do substrato – substrato comercial Carolina Soil® (SC); casca de arroz carbonizada (CAC); a mistura substrato comercial Carolina Soil® + casca de arroz carbonizada (SC + CAC), juta e fibra têxtil – sobre o conteúdo de ácido L-ascórbico em microverdes de alface (A), beterraba (B), repolho roxo (C) e manjericão (D). Letras distintas indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey (p ≤ 0,05). PF: peso fresco. Pelotas, Brasil, 2022.....47

Figura 2 - Efeito do substrato − substrato comercial Carolina Soil® (SC); casca de arroz carbonizada (CAC); a mistura substrato comercial Carolina Soil® + casca de arroz carbonizada (SC + CAC), juta e fibra têxtil – sobre o conteúdo de carotenóides totais em microverdes de alface (A), beterraba (B), repolho roxo (C) e manjericão (D). Letras distintas indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey (p ≤ 0,05). PF: peso fresco. Pelotas, Brasil, 2022.....49

Figura 3 - Efeito do substrato − substrato comercial Carolina Soil® (SC); casca de arroz carbonizada (CAC); a mistura substrato comercial Carolina Soil® + casca de arroz carbonizada (SC + CAC), juta e fibra têxtil – sobre o conteúdo de compostos fenólicos totais em microverdes de alface (A), beterraba (B), repolho roxo (C) e manjericão (D). Letras distintas indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey (p ≤ 0,05). PF: peso fresco. Pelotas, Brasil, 2022.....51

Artigo II ……...……..……..……..…....55

Figura 1 - Relação entre a concentração de zinco (Zn) da solução nutritiva e a massa seca (A), a massa fresca (B) e o conteúdo de Zn nos tecidos (C) de microverdes de beterraba, repolho roxo e manjericão. PF: peso fresco.....64

Figura 2 - Conteúdo de zinco (Zn) de microverdes de beterraba, repolho roxo e manjericão em resposta às concentrações de Zn da solução nutritiva (0, 5 e 10 mg L^{-1}). As barras verticais representam a média de três repetições. Letras distintas indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey (P < 0,05). PF: peso fresco.....66

Apêndices ……...…....82

Apêndice 1 - Vista geral dos substratos, nas bancadas de cultivo com recirculação da solução nutritiva.....83

Apêndice 2 - Microverdes de alface, beterraba e repolho roxo ao atingir o ciclo estabelecido.....83

Apêndice 3 - Microverdes de alface, beterraba e repolho roxo na bancada de cultivo.....84

Lista de Tabelas

PROJETO DE PESQUISA……..…….…..…..19

Tabela 1 – Recursos Necessário.....29
Tabela 2 – Cronograma de execução de pesquisa 30

ARTIGO I: Aspectos agrnômicos e fitoquímicos de microverdes cultivados em meios alternativos frente a substratos convencionais.....37

Tabela 1 – Massa seca, massa fresca e altura de microverdes de alface, beterraba, repolho roxo e manjericão, aos 13 dias após a semeadura em diferentes substratos. Pelotas, Brasil, 2022.....46

ARTIGO II: Biofortificação Agronomica com Zinco: Respostas biométricas e fitoquímicas de microverdes de beterraba, repolho roxo e manjericão.....55

Tabela 1 - Efeito da concentração de zinco da solução nutritiva sobre a massa seca, a massa fresca, a altura e o conteúdo de zinco no tecido de microverdes de beterraba, repolho roxo e manjericão.....65
Tabela 2 - Efeito da concentração de zinco (Zn) da solução nutritiva sobre o conteúdo de ácido L-ascórbico, carotenoides totais e compostos fenólicos totais de microverdes de beterraba, repolho roxo e manjericão.....67

Sumário

Resumo 8

Abstract 9

1 INTRODUÇÃO 14

2 PROJETO DE PESQUISA 19

2.1 IDENTIFICAÇÃO 21

2.1.1 Instituição 21

2.1.2 Equipe 21

2.2 ANTECEDENTES E JUSTIFICATIVA 22

2.3 OBJETIVOS 25

2.3.1 Objetivo geral 25

2.3.2 Objetivos específicos 25

2.4 MATERIAL E MÉTODOS 25

2.5 RECURSOS NECESSÁRIOS 29

2.6 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DE PESQUISA 30

2.7 DIVULGAÇÃO PREVISTA 30

2.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 31

3 RELATÓRIO DE TRABALHO DE CAMPO 33

4 ARTIGO I: Aspectos agronômicos e fitoquimicos de microverdes cultivados em meios alternativos frente a substratos convencionais 37

5 ARTIGO II: Biofortificação agronômica com zinco: Respostas biométricas e fitoquímicas de microverdes de beterraba, repolho roxo e manjericão 55

6 CONCLUSÕES GERAIS 75

Referências 77

Apêndices 82

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a saúde e a busca por alimentos saudáveis têm crescido nos últimos anos. A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda um consumo diário de 400 g de frutas e hortaliças por pessoa para a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis. Porém, a realidade de consumo de hortaliças e frutas no Brasil é baixa, quando comparada a da América do Norte e a dos países europeus. Essa realidade impõe a necessidade de criar opções alimentares mais eficientes, a fim de otimizar os recursos disponíveis e a mão-de-obra, produzir alimentos com qualidade, aparência, sabor e valor nutritivo, as quais são características exigidas pelo mercado atual.

Neste sentido, os microverdes, constituem uma nova classe de produtos vegetais que surgem para contribuir com a demanda de alimentos saudáveis. Microverdes é um termo de marketing para designar uma classe de alimentos específicos, representada por plantas jovens, colhidas normalmente na sua fase de plântula, entre 7 a 21 dias após a semeadura, que se encontram com as folhas cotiledonares expandidas e são produzidas partir de sementes de hortaliças, leguminosas, cereais, espécies silvestres, espécies fibrosas e até mesmo ervas aromáticas comestíveis. Podem ser utilizados como ingredientes para saladas, sopas e sanduíches, entre outras opções. Atualmente, ganharam popularidade como uma nova tendência culinária, destacando-se pela sua coloração e textura, agregando também sabor aos pratos (XIAO et al., 2012).

Na década de 80, os microverdes começaram a surgir em menus dos chefes de São Francisco, na Califórnia, sendo que na década seguinte sua popularidade foi crescendo na parte sul da Califórnia. Inicialmente, não haviam muitas variedades oferecidas. Aquelas disponíveis incluíam: beterraba, couve, coentro, manjericão e rúcula. Quando comparados aos brotos, os microverdes podem ser cultivados em ambiente protegido ou ao ar livre, apresentam um ciclo mais longo, e a parte comestível é constituída apenas pela parte aérea (Di Gioia & Santamaria, 2015).

No Brasil, não há registros oficiais sobre a produção e a produtividade de microverdes. Apesar disso, é notório o crescimento da sua popularidade em grupos

de mercados específicos.

Os microverdes podem constituir uma boa fonte de vitaminas. Em estudo realizado com 25 espécies de microverdes, foram encontradas maiores concentrações de ácido ascórbico, carotenóides, filoquinonas e tocoferóis, para os microverdes de repolho roxo, coentro, amaranto-granada e rabanete daikon verde, respectivamente. Em comparação com as concentrações nutricionais nas folhas maduras. Foi avaliada também a composição mineral de 30 espécies de microverdes da família Brassicaceae, as quais apresentaram-se como fontes significativas de ferro, zinco, cálcio e potássio (XIAO et al., 2012; 2016).

A possibilidade de cultivo em diferentes ambientes e o ciclo curto, aliados ao alto preço de mercado dos microverdes, faz com que a sua popularidade venha crescendo na área urbana, atraindo pessoas interessadas em produzi-los (TREADWELL et al., 2020; IŞIK et al., 2020).

A produção comercial de microverdes pode ser realizada em diversos ambientes. Há produtores que cultivam em campo aberto, ambiente protegido do tipo estufa agrícola e em sistemas indoor. No entanto, o microclima promovido pelo ambiente protegido, favorável ao crescimento e desenvolvimento das plantas, aliado ao seu baixo custo frente ao cultivo indoor, fazem da estufa de cultivo uma opção interessante, uma vez que,além de proteger as plantas de chuvas e ventos fortes, possibilita estender a produção a estações do ano desfavoráveis ao cultivo no campo.

Os sistemas de cultivos sem solo, caracterizados pelo emprego de bandejas ou leitos de semeadura contendo uma pequena camada de substrato, são geralmente utilizados para a produção de microverdes. O substrato pode ser selecionado de acordo com o manejo do produtor, assim como, a utilização de água pura ou solução nutritiva para a irrigação.

Entre os principais gargalos na produção dos microverdes estão: germinação lenta e/ou morte de sementes, desenvolvimento de patógenos e crescimento desuniforme das plantas na bandeja (BERGŠPICA et al., 2020; IŞIK et al., 2020).

Para a produção, é necessária a utilização de sementes não tratadas e não peletizadas, devido a sua forma de consumo que normalmente é realizada *in natura*. A semente apresenta um dos maiores obstáculos no custo de produção,

tendo em vista que são necessárias em grande quantidade. A densidade de semeadura utilizada para o cultivo dessas plantas é de uma a quatro sementes por cm^2, em função do peso da semente (DI GIOIA et al., 2015).

Neste contexto, o substrato deve apresentar características que proporcionem eficiência na germinação e emergência de plântulas, além de fornecer oxigênio e possibilitar a eliminação de CO_2. Desde modo, é importante ser provido de boas características físicas, químicas e biológicas/ sanitárias para obtenção de plantas de qualidade (DA CUNHA et al., 2014).

No que se refere às características físicas, o substrato deve apresentar porosidade superior a 85% do volume total, boa capacidade de retenção de água e um bom nível de aeração. Quanto às características químicas, um substrato adequado para o cultivo de microverdes deve ter um pH entre 5,5 e 6,5 e uma condutividade elétrica inferior a 0,5 dS m^{-1} (GIOIA & SANTAMARIA, 2015). Também, é fundamental que o substrato seja inócuo do ponto de vista de contaminação biológica, pois a presença de microorganismos patogênicos como *Salmonella* e *Escherichia coli*, podem apresentar risco ao ser humano no consumo de microverdes, pois esses produtos são consumidos geralmente sem tratamento térmico e procedimentos de descontaminação. Atualmente, não há leis estabelecidas de segurança específica para a produção dos microverdes no Brasil (BERGŠPICA et al., 2020; IŞIK et al., 2020).

Os substratos utilizados no Brasil, geralmente, são constituídos de materiais comumente empregados na produção hortícola, como a turfa (MUCHJAJIB et al., 2015; NOLAN et al., 2018; IŞIK et al., 2019; EL-NAKHEL et al., 2021), mantas de fibra de coco (MUCHJAJIB et al., 2015; NOLAN et al., 2018; TREADWELL et al., 2020) e substratos comerciais (WIETH et al., 2019). Materiais descartados da indústria têxtil podem ser usados como alternativa de baixo custo para produção de microverdes, na Itália pesquisas com a utilização de fibra têxtil e tecido de juta, foram desenvolvidas com a possibilidade de encontrar material de baixo custo, natural e renovável para a produção dos microverdes testados (DI GIOIA et al., 2016; BULGARI et al., a 2017).

Neste sentido, é importante estudar produtos encontrados nas diferentes regiões do país a fim de promover o seu uso como substrato agrícola, assim podendo reduzir os custos de produção (ANDRIOLO et al., 1999). Sendo assim, a

casca de arroz carbonizada, subproduto abundante da indústria arrozeira no sul do Brasil, é um material que apresenta algumas das características adequadas para utilização como substrato. Em decorrência do processo de carbonização, é um material inócuo, característica muito importante para o uso na produção de microverdes. Já é utilizada, pura ou em misturas, há vários anos para enraizamento de estacas de diversas espécies (KÄMPF & JUNG, 1990) e cultivo de outras, como o morangueiro e hortaliças de fruto (PEIL et al., 2021).

Estudos mostram que os microverdes são influenciados através do substrato, demonstrando características diferentes de rendimento, qualidade e contaminação microbiológica (MURPHY et al., 2010; MUCHJAJIB et al., 2014; DI GIOIA et al., 2015; WIETH et al., 2019). No entanto, estudos científicos publicados sobre a associação entre o substrato e a qualidade quanto às características fitoquímicas dos microverdes são desconhecidos.

Portanto, é necessário estudar o comportamento de outros meios de cultivo, com alto potencial para a germinação e características de viabilidade de uso, como o baixo custo.

Além disso, até o momento, nenhum estudo relativo a aspectos de segurança alimentar associada ao consumo de microverdes foi documentado no Brasil.

Neste sentido, a biofortificação agronômica de microverdes é uma ferramenta que vem ao encontro de necessidades nutricionais específicas da população. Estima-se que um terço da população mundial é deficiente em zinco. A fim de amenizar este problema, nos últimos anos, têm-se desenvolvido diferentes estratégias para enriquecer os alimentos. A biofortificação agronômica é uma delas e objetiva adicionar nutrientes à planta por meio de aplicação de fertilizantes via solo, foliar ou semente (BONIERBALE et al., 2011; MUTHAYYA et al., 2013; SALTZMAN et al., 2013).

Em estudo com biofortificação agronômica com zinco e ferro, encontram-se resultados positivos de aumento de concentração mineral nas doses mais baixas das concentrações em microverdes de brássicas, o que possibilita, na prática, enriquecimento dos microverdes em zinco e ferro, com economia de produto. No mesmo estudo, observou-se também uma variação entre os teores dos minerais no tecido vegetal de acordo com cada espécie trabalhada (GIOIA et al., 2019).

Desta forma, através de estudos sobre a biofortificação agronômica de microverdes, busca-se estabelecer a dose ideal do mineral que eleve a sua concentração no tecido vegetal, sem causar prejuízos a outros aspectos produtivos importantes, como o crescimento, o rendimento e a qualidade das plantas.

Considerando o crescimento e a popularidade de alimentos “gourmetizados”, estudos relacionados ao substrato e biofortificação agronômica nas condições do estado do Rio Grande do Sul são escassos. Logo, torna-se necessária a realização de pesquisas com foco nestes aspectos para a otimização da produção de diferentes espécies de microverdes, com baixo impacto ambiental e baixo custo de produção.

Dentro deste contexto, esta dissertação foi formalizada em dois artigos científicos. No primeiro artigo, foi estudado o efeito de substratos usualmente empregados na produção de hortaliças e de substratos sintéticos alternativos sobre o crescimento, a produção e a caracterização fitoquímica dos microverdes de alface, beterraba, repolho roxo e manjericão. No segundo artigo, buscou-se avaliar o efeito da concentração de zinco na solução nutritiva sobre o crescimento, o rendimento e a qualidade nutricional de microverdes de beterraba, repolho roxo e manjericão.

2 PROJETO DE PESQUISA

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA FAMILIAR

Projeto de Dissertação:

Substratos e nutrientes minerais para a produção de microverdes

Luis Otavio da Fonseca Dias

Pelotas, 2019

2.1 IDENTIFICAÇÃO

2.1.1 Instituição

Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Departamento de Fitotecnia (DFt), Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar.

2.1.2 Equipe

- Luis Otavio da Fonseca Dias – Discente do Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar - Responsável.
- Roberta Marins Nogueira Peil – Profª. Departamento de Fitotecnia, FAEM/UFPel. Orientadora.
- Aline Soares Pereira - Discente do Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Bolsista CAPES-FAEM/ UFPel. Participante.
- Cristiane Neutzling - Discente do Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Bolsista CAPES - FAEM/UFPel. Participante.
- Fabiane Kletke de Oliveira - Discente do Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Bolsista CAPES- FAEM/ UFPel. Participante.
- Josiele Garcia Dutra - Discente do Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agricola Familiar. Participante
- Mussa Mamudo Salé - Discente do Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Bolsista CAPES-FAEM/ UFPel. Participante.

2.2 ANTECEDENTES E JUSTIFICATIVA

Microverdes, se referem a um termo de marketing para descrever uma categoria de produtos vegetais específicos, com altura entre 2,5 a 7,6 cm e a colheita realizada entre 7 e 14 dias após sua germinação (XIAO et al., 2012). Os microverdes fornecem intensos sabores, cores vibrantes e qualidade nutricional. Atualmente, são comercializados em mercados e restaurantes especializados, e ganharam popularidade como uma nova tendência culinária nos últimos anos. E um produto diferenciado, sua demanda vem aumentando no Brasil. A produção de microverdes pode ser uma opção para os agricultores familiares, pelo seu alto valor agregado, necessidade de pequenas áreas e ciclo curto. Além de serem cultivados em ambientes protegidos em propriedades rurais, também são cultivados em ambiente urbano (XIAO et al., 2012; DI GIOIA et al., 2015).

Os microverdes são colhidos na fase de plântula, sendo o seu manejo considerado simples. Ocupam pouco espaço, apresentam ciclo curto e alta rotatividade das plantas produzidas. De maneira geral, o sistema de produção envolve o emprego de um substrato, disposto em leitos, sobre bancadas situadas em ambiente protegido do tipo estufa e com uso de fertirrigação (GIOIA et al., 2016).

No Brasil há poucas pesquisas relacionadas aos microverdes, incluindo estudos sobre meios de cultivo. As avaliações realizadas por Wieth et al. (2019) no Brasil indicam que o substrato comercial Carolina Soil® mostrou maior produtividade de microverdes de rúcula (Eruca sativa).

De maneira geral os meios de cultivos devem ter pH na faixa de 5,5 a 6,5, com uma condutividade elétrica inferior a 500 mS/cm e a capacidade de retenção agua (55:77%) e aeração (20:30%) (KYRIACOU et al., 2016).

Devido às suas propriedades físico-químicas, altamente polar, com elevada capacidade de adsorção para metais de transição e moléculas orgânicas polares, a turfa e misturas a base de turfa, são alguns dos substratos mais utilizados para produzir microverdes. No entanto, a turfa tem um custo alto, principalmente em locais que não dispõem da matéria prima para extração. Além disso, as crescentes preocupações ambientais estão levando à busca por substratos com fontes mais facilmente renováveis, sem comprometer a qualidade e produtividade dos microverdes (FRANCHI, 2004; DI GIOIA et al., 2015; MUCHJAJIB et al., 2015).

Outro ponto importante, quando se trata de substrato é a sua composição microbiana. Alguns estudos relatam que os substratos com turfa apresentam crescimento microbiano de *Escherichia coli*, que pode ser nociva para humanos. Pesquisas mostram alternativas de baixo custo de origem natural e renovável, como por exemplo: celulose, algodão, juta e diferentes fibras (DI GIOIA et al., 2015).

Com respeito ao segundo fator que pode ser manejado para melhorar as respostas produtivas e nutricionais dos microverdes, em países nos quais a produção está mais consolidada, diversos estudos indicam os efeitos de diferentes fontes e momentos de aplicação de nutrientes minerais sobre a produção e qualidade de microverdes (ZIELINSKA-DAWIDZIAK et al., 2014; PRZYBYSZ et al., 2016).

Neste sentido, o uso de uma solução nutritiva completa é habitual (DI GIOIA et al., 2015), porém diversas pesquisas indicam a possibilidade de obter respostas iguais ou melhores dos microverdes com o uso de fertilizantes simples (MURPHY et al., 2010) ou somente com água em interação com substratos comerciais previamente fertilizados (WIETH et al., 2018). A utilização de soluções preparadas somente com um fertilizante, fonte de um ou dois elementos nutrientes, frente ao uso de uma solução nutritiva completa, pode representar uma simplificação do processo produtivo e uma alternativa de redução de mão de obra e dos custos para a produção na agricultura familiar.

Adicionalmente, o momento de aplicação da fertirrigação deve ser considerado, sendo no pré-plantio e/ou na pós-emergência, um elemento que pode modificar o desenvolvimento dos microverdes. Pesquisas mostram que ureia, nitrato de amônio, nitrato de cálcio e sulfato de amônio podem influenciar o desenvolvimento das plantas. Os resultados mostram que no pré-plantio os microverdes com doses aplicadas de nitrato de cálcio apresentaram maior peso fresco e peso médio de parte aérea (MURPHY & PILL, 2010; MURPHY et al., 2010).

No contexto da nutrição mineral, o manejo da relação amônio:nitrato ($NH4^+$:$NO3^-$): no período de inverno vem se tornando uma alternativa promissora, dentro do cultivo de microverdes. Pesquisas mostram que a proporção adequada de $NH4^+$:$NO3^-$ na solução nutritiva pode aliviar os efeitos negativos causados pela baixa radiação solar, a qual é recorrente no sul do Brasil. Os resultados mostram que ocorre uma melhoria no teor de clorofila, faixa de crescimento e fotossíntese, protegendo o cloroplasto e variando a

arquitetura da raiz (HU LINLI et al., 2015).

No que se refere ao uso da fertirrigação para enriquecimento específico de determinados elementos minerais nos microverdes, os estudos indicam respostas positivas com a aplicação de fontes de magnésio (PRZYBYSZ et al., 2016; BROADLEY et al., 2010) e de ferro (ZIELIŃSKADAWIDZIAK et al., 2014; PRZYBYSZ et al., 2016).

Em relação ao magnésio, um importante nutriente para nutrição humana, sabe-se que é pouco disponível, principalmente nos cereais. Deste modo, alguns trabalhos propuseram ampliar o enriquecimento de microverdes com magnésio, sem prejudicar o rendimento ou modificar as concentrações de outros íons. No entanto, os autores relatam que os resultados podem ser diferentes dependendo das espécies pesquisadas (BROADLEY et al., 2010; PRZYBYSZ et al., 2016).

Já, quanto ao ferro, sabe-se que culturas hidropônicas, cuja a solução nutritiva contém alta concentração de $FeSO_4$, acumulam elevado teor de ferro na forma de ferritina, nutriente importante para a obtenção de alimentos bioativos, excelente para pessoas que optam por uma fonte de ferro de origem vegetal. Estudos realizados com o enriquecimento de Fe em hortaliças apresentou um aumento considerável deste elemento, principalmente na alfafa (*Medicago sativa*). Os brotos enriquecidos com Fe mantiveram outros íons importantes, porem o seu acúmulo de biomassa sofreu uma leve redução. Outro ponto interessante na pesquisa é que brotos de rabanete (*Raphanus raphanistrum*) e alfafa (*Medicago sativa*) demonstraram ser os mais apropriados para enriquecimento com Fe, pois acumulavam quantidades consideráveis de Fe, com níveis ainda aceitáveis de biomassa acumulada e geração relativamente baixa de espécies reativas de oxigênio (ZIELIŃSKA-DAWIDZIAK et al., 2014; PRZYBYSZ et al., 2016).

Um gargalo importante na produção de microverdes e onde, uma vez mais, pode-se empregar a nutrição mineral como ferramenta para contorna-lo, é a baixa durabilidade na pós-colheita. Portanto, para melhorar a aceitação de microverdes em supermercados ou até mesmo em feiras, é necessário desenvolver técnicas de pré-colheita e/ou pós-colheita, objetivando maior tempo de prateleira. Os microverdes são cortados e colhidos no estágio de desenvolvimento inicial, fazendo com que a planta apresente maior estresse, levando à senescência e, por consequência, diminuindo a vida útil do produto. Evidencias mostram que o cálcio realiza um papel fundamental para o

crescimento e desenvolvimento das plantas, além das suas funções celulares. Resultados de pesquisas indicam que o cloreto de cálcio na concentração de 10mmol/L aplicado em pré-colheita na cultura dos brócolis, aumentou a biomassa, melhorou a qualidade visual e estendeu a vida útil, que era de 7 a 10 dias, para 14 a 21 dias (KOU et al., 2014; KOU et al., 2015).

A adequação dos microverdes à produção agrícola familiar e a sua ampla aceitação nos mercados impulsionam a realização de pesquisas que busquem conhecer como se comportam as plantas sob diferentes meios de cultivos e manejo nutricional, com a finalidade de que o processo produtivo seja mais viável, barato, não tóxico para as plantas, que não comprometa a composição nutricional e, ao mesmo tempo, seja inócuo para a saúde humana.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo geral

- Estudar substratos e a aplicação de fertilizantes simples frente a aplicação de solução nutritiva completas para a produção de microverdes de alface, beterraba, majericão e repolho roxo.

2.3.2 Objetivos específicos

- Estudar substratos que possibilitem a obtenção de microverdes isentos de contaminação bacteria e que propiciem um elevado rendimento comercial e qualidade pós-colheita;

- Avaliar o efeito da elevação da concentração de Zn na solução nutritiva sobre o crescimento, o rendimento e a qualidade nutricional, no que se refere ao conteúdo de Zn e de compostos fitoquímicos.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos serão conduzidos no Campo Experimental e Didático do Departamento de Fitotecnia (DFt), da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), no Campus da Universidade Federal de Pelotas, situado no município de Capão do Leão, Rio Grande do Sul. A localização geográfica aproximada é:

latitude 31°52’ S, longitude 52°21’ W e altitude média de 13 metros acima do nível do mar.

As atividades relacionadas aos experimentos serão conduzidas em estufa modelo “teto em arco”, disposta no sentido leste - oeste, com dimensões de 10 m x 18 m e 5 m de altura máxima e 3,5 m de pé direito, compreendendo uma área de 180 m², com estrutura metálica, e aberturas para ventilação através de duas portas situadas uma em cada extremidade e cortinas laterais. O filme plástico utilizado para cobertura da estufa é polietileno de baixa densidade de 150 µm de espessura. O solo apresenta-se nivelado e coberto com filme de polietileno dupla face (branco/preto) de 200 µm de espessura, com face branca exposta.

O manejo do ambiente da estufa será efetuado apenas com ventilação natural, através da abertura e fechamento das janelas laterais às 8 horas e às 18 horas respectivamente. Em dias de baixas temperaturas, precipitação, ventos muito fortes ou alta umidade relativa do ambiente externo, a estufa será fechada parcial ou totalmente, dependendo das condições climáticas.

Os experimentos serão realizados entre os anos de 2019 e 2020. Múltiplas baterias de experimentos serão realizadas com as espécies: alface (*Lactuca sativa* L.), beterraba (*Beta vulgaris* L.), repolho roxo (*Brassica oleracea* L*. var. capitata f. rubra*) e manjericão (*Ocimum basilicum* L.) as sementes serão obtidas da Empresa Isla Sementes. O ajuste metodológico necessário para cada um dos experimentos definirá o número de vezes que cada um será repetido.

A produção de microverdes será realizada em uma bancada ou leito de cultivo, com as dimensões 0,90 m x 2,50 m, subdivididas em cinco parcelas de 0,90 m x 0,50 m. Bandejas retangulares de 18 cm x 21 cm, sem compartimentação, e perfuradas, serão preenchidas com 1 cm de substrato. As sementes serão colocadas uniformemente sobre o substrato umedecido, na densidade de 0,01 g cm^{-2}.

Os leitos de cultivo serão forrados, internamente, com o uso de filme dupla face brancopreto, será colocado uma “tela volley” dentro do leito de cultivo, impedindo que as raízes fiquem aderidas no fundo. Após a semeadura, as bandejas serão tapadas por três dias, para criar um ambiente escuro, deste modo, aumenta-se as chances de germinação.

Cada um dos três leitos de cultivos receberá 50 bandejas, que será utilizada por diferentes experimentos.

Experimento 1: O objetivo deste experimento é de estudar diferentes substratos, buscando alternativas que possibilitem um elevado rendimento e ausência de contaminação por organismos prejudiciais à saúde humana. Serão utilizados, inicialmente, cinco diferentes substratos: Carolina Soil®, casca de arroz carbonizada, a mistura Carolina Soil® + casca de arroz carbonizada (50:50%), tecido de juta e fibra têxtil de cor branca.

O substrato que apresentar as melhores respostas, dentre os cincos utilizados, será selecionado para a realização dos demais experimentos.

Para a solução nutritiva completa será utilizada como referência Hu Linli et al (2015).

Experimento 2: Tem a finalidade de estudar doses de cloreto de cálcio ($CaCl_2$) e compara-las à solução nutritiva completa visando contribuir para um período de vida útil maior de microverdes. As plantas serão pulverizadas, diariamente, durante 10 dias, somente com cloreto de cálcio, em diferentes concentrações (1mmol/L, 10mmol/L, 20mmol/L), solução nutritiva completa será e o controle, realizado com H_2O.

Experimento 3: O objetivo é comparar o efeito de diferentes concentrações de nitrato de cálcio, aplicado em pré-plantio, incorporado no substrato, e pós-plantio, com aplicação foliar. As plantas serão pulverizadas com diferentes concentrações de nitrato de cálcio 0mmol/L, 30mmol/L, 60mmol/L) e uma solução completa.

Experimento 4: Para este estudo serão testadas diferentes doses de magnésio para o enriquecimento dos microverdes. Durante o crescimento das plantas, serão aplicadas doses de magnésio (Mg) nas concentrações de 0 mg/L, 50 mg/L, 100 mg/L, 200 mg/L e 300 mg/L. O Mg será usado na forma de sulfato de magnésio ($MgSO_4.7H_2O$).

Experimento 5: O objetivo deste experimento é verificar qual a dose mais adequada para o enriquecimento de ferro nos microgeens. Serão aplicadas doses de Fe nas concentrações 0 mg/ L, 6 mg/L, 12 mg/L, 24 mg/L e 36 mg/L. O Fe será disponibilizado na forma de Fe-EDDHA (6%).

Experimento 6: Com o propósito de amenizar os efeitos de baixa radiação solar no período de inverno, as plantas serão fertirrigadas com uma solução nutritiva completa, com variações na relação NH_4^+: NO_3^- : 0:100, 10:90, 15:85 e 25:75. A solução nutritiva será totalmente renovada semanalmente para evitar efeitos de depleção.

Para avaliação do crescimento das plantas, serão retiradas amostras do centro de cada bandeja 10 dias após a semeadura. O ajuste do tempo para a coleta dos microverdes poderá ser necessário em função da espécie e da época do ano. A amostra terá o tamanho de 10x10cm. As amostras serão avaliadas quanto à altura dos microverdes, com régua graduada e à matéria fresca e seca acumulada pelas plantas ao final de cada um dos experimentos. As plantas serão pesadas para obtenção de massa fresca e secas em uma estufa de ventilação forçada a 65°C, até peso constante, para a obtenção de massa seca.

Para avaliação das propriedades químicas dos substratos utilizados, serão avaliados o conteúdo de macronutrientes e micronutrientes, pH, condutividade elétrica (CE) e relação C/N. Para avaliação das propriedades físicas, serão analisados a porosidade total, densidade seca, densidade de partícula, porosidade total, espaço de aeração e a capacidade de retenção de água.

Amostras de cada bandeja serão retiradas para a realização das análises qualitativas dos microverdes. Em função do objetivo e dos tratamentos de cada experimento, as análises poderão ser específicas a cada um dos experimentos e nem todas as avaliações descritas serão realizadas em todos os experimentos. Com exceção das análises da composição química do tecido vegetal, que serão realizadas no Departamento de Solos da FAEM/UFPEL, todas as demais, serão feitas no Laboratório de Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Uma bateria de ensaios será realizada para avaliar a durabilidade pós-colheita dos microverdes em condições de refrigeração. O conteúdo de cálcio, magnésio, ferro e potássio do tecido vegetal será analisado. Em relação à caracterização físico-química serão analisados: sólidos solúveis totais, pH, acidez total titulável, ácido ascórbico, ácido fólico e atividade antioxidante as análises microbiológicas serão realizadas para avaliar as características de contaminação dos cinco meios de cultivo utilizados no experimento 1, através de contagem e identificação de colônias microbianas, isoladas a partir dos microverdes cultivados em cada substrato.

O deleitamento experimento será em blocos ao acaso, com três repetições e parcelas subdivididas, resultantes da combinação dos níveis dos fatores descritos no item 3.1, com os cinco níveis de espécie vegetal. Cada parcela será constituída por uma subdivisão da bancada de cultivo. A sub

parcela corresponderá a duas bandejas para cada espécie. Os resultados serão submetidos à análise de variância (P≤ 0,05) e teste de hipóteses através da análise bifatorial, visando-se obter os efeitos principais dos fatores envolvidos e sua interação. Quando verificadas diferenças significativas, as médias serão comparadas pelo teste de Tukey (P≤ 0,05) ou por análise de regressão.

2.5 RECURSOS NECESSÁRIOS

Orçamento dos materiais e equipamentos a serem adquiridos para a execução do trabalho de dissertação, 2019 – 2021. Pelotas, RS – 2021.

O orçamento descrito abaixo contém valores aproximados, para o material que será necessário adquirir para a execução do projeto. No entanto, serão utilizados equipamentos já existentes na instituição (identificados por *).

Tabela 1 - Material de consumo

Discriminação	**Unid.**	**Quant.**	**Preço Total (R$)**
Tabuas para bancadas*	un	-	100,00
Bandejas	un	50	187,00
Sementes	Pct	-	100,00
Tela engomada vôlei	un	-	4,00
Substrato comercial	saco	1	35,00
Casca de arroz carbonizada	m^3	1	22,00
Juta	m	1	11,50
Fibra têxtil	m	1	13,00
Fertilizantes solúveis	-	-	700,00
Filme dupla face	m	3	51,00
Borrifador	un	4	120,00
Sacos de papel	Pct	2	60,00
Subtotal			1.403,50

2.6 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DE PESQUISA

As atividades previstas durante a execução do projeto estão descritas abaixo:

Tabela 2 – Atividades previstas

Ano	Atividades	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2019	**Disciplinas**			X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Revisão Literatura			X	X	X	X	X	X				
	Organização Estufas							X	X				
	Experimento 1									X			
	Analise Lab. 1									X			
	Experimento 2										X		
	Análises Lab. 2										X		
	Experimento 3											X	
	Analise Lab. 3											X	
	Limpeza exp.												X
2020	**Disciplinas**			X	X	X	X	X					
	Experimento 4	X											
	Analises Lab. 4	X											
	Experimento 5						X						
	Analises exp. 5						X						
	Limpeza exp.							X					
	Análises e Resultados		X	X	X	X	X	X					
	Elaboração da Dissertação							X	X	X	X	X	X
2021	**Defesa Dissertação**		X										

2.7 DIVULGAÇÃO PREVISTA

Os resultados obtidos, através da execução do projeto serão publicados em congressos, reuniões técnico-científicas, e revistas científicas, assim como farão parte de uma dissertação de mestrado apresentada pela Universidade Federal de Pelotas do Curso de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar.

2.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOLO, J.L., Fisiologia das culturas protegidas. Santa Maria: UFSM. 142p 1999.

BECKMANN, M. Z. Et al. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 36, n. 1, p. 86-92, 2006.

BROADLEY, M. R.; WHITE P. J. Eats roots and leaves. Can edible horticultural crops address dietary calcium, magnesium and potassium deficiencies. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 69, n. 4, p. 601-612, 2010.

DI GIOIA, F.; SANTAMARIA, P. Microgreens-Novel fresh and functional food to explore all the value of biodiversity. Bari: **ECO-logica srl**, 2015.

FRANCHI, José Guilherme. **A utilização de turfa como adsorvente de metais pesados.** 2004. 198 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica), Universidade de São Paulo, 2004.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; PEREIRA A. B. Balanço de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com pepineiro. **Bragantia**, p. 139-147, 2001.

HU, L. et al. Moderate ammonium: nitrate alleviates low light intensity stress in mini Chinese cabbage seedling by regulating root architecture and photosynthesis. **Scientia Horticulturae**, v. 186, p. 143-153, 2015.

KOU, L. et al. Effects of pre-and postharvest calcium treatments on shelf life and postharvest quality of broccoli microgreens. **HortScience**, v. 50, n. 12, p. 1801-1808, 2015.

KOU, L. et al. Pre-harvest calcium application increases biomass and delays senescence of broccoli microgreens. **Postharvest biology and technology**, v. 87, p. 70-78, 2014.

KYRIACOU, M. et al. Micro-scale vegetable production and the rise of

microgreens. **Trends in food science & technology**, v. 57, p. 103-115, 2016.

MUCHJAJIB, U. et al. Evaluation of organic media alternatives for the production of microgreens in Thailand. In: **XXIX International Horticultural Congress on Horticulture**: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014): 1102. 2014. p. 157-162, 2015.

MURPHY, C.; LLORT, K. F.; PILL, W. G. Factors affecting the growth of microgreen table beet. **International journal of vegetable science**, v. 16, n. 3, p. 253-266, 2010.

MURPHY, C.; PILL, W. Cultural practices to speed the growth of microgreen arugula (roquette; Eruca vesicaria subsp. sativa). **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 85, n. 3, p. 171-176, 2010.

PRZYBYSZ, A. et al. Vegetable sprouts enriched with iron: Effects on yield, ROS generation and antioxidative system. **Scientia horticulturae**, v. 203, p. 110-117, 2016.

PRZYBYSZ, A. et al. The effects of Mg enrichment of vegetable sprouts on Mg concentration, yield and ROS generation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 10, p. 3469-3476, 2016.

WIETH, A.R., PINHEIRO, W.D., DUARTE, T.S., SILVA, M.A.S., PEIL, R.M.N. Produção de microgreens em diferentes substratos e concentrações de solução nutritiva. **XII ENCONTRO BRASILEIRO DE HIDROPONIA IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROPONIA**, p. 109, 2019.

XIAO, Z. et al. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. **Journal of agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 31, p. 7644-7651, 2012.

ZIELINSKA-DAWIDZIAK, M. et al. The safety of food supplemented in iron with sprouted in abiotic stress legumes seeds-heavy metal pollution. International **Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering**, v. 67, p. 23-27, 2014.

3 RELATÓRIO DO TRABALHO DE CAMPO

Inicialmente, foi feito contato com a Empresa Isla Sementes para averiguar a possibilidade de uma parceria, para a utilização das sementes de microvedes da empresa nos experimentos. O projeto de pesquisa foi encaminhado para os responsáveis da empresa Isla e obtivemos resposta positiva. A Empresa cedeu a quantia de 100 gramas de sementes de microverdes de alface e salsa, 600 gramas de sementes de beterraba e repolho rox, e 50 gramas de manjericão, conforme planejamento do projeto de pesquisa.

Antes de dar início aos experimentos, em setembro de 2019, foi necessária a construção de três bancadas de cultivos com as dimensões 0,90 m x 2,50 m, subdivididas em cinco parcelas de 0,9 m x 0,50 m, totalizando 15 parcelas. As bancadas foram forradas internamente com filme dupla face branco-preto. Após, telas foram colocadas na base de cada uma das repartições das bancadas, com a finalidade de impedir que as raízes ficassem aderidas ao fundo.

O sistema de cultivo empregado foi com a reutilização da solução nutritiva, no qual a solução nutritiva drenada é coletada e reutilizada no sistema novamente. Abaixo de cada um dos 15 compartimentos, havia um reservatório individual com uma bomba de aquário inserida com a função de elevar a solução para as bancadas de cultivo. O retorno da solução nutritiva, ocorria através de um ralo acoplado em cada compartimento das bancadas.

Neste período, também foi realizada a limpeza da estufa e demais estruturas presentes no local. Conforme a programação, em novembro de 2019 todo o material necessário já havia sido adquirido e preparado.

Seriam realizados no ano de 2020 seis experimentos distintos. O primeiro buscou trabalhar meios de cultivos alternativos para a produção de microverdes, e os demais experimentos pretendiam analisar a aplicação de fertilizantes simples. Devido a pandemia covid 2019, os experimentos foram prejudicados. No momento de suspensão das atividades presenciais no Campus Capão do Leão, o primeiro experimento estava sendo realizado e chegou a ser finalizado, faltando a execução dos demais.

Com o cenário vivenciado, no ano de 2021, foi dada a continuidade aos experimentos na estufa, porém, os objetivos da pesquisa foram parcialmente

alterados. Levando em consideração o maior impacto e geração de conhecimento e os possíveis efeitos benéficos da biofortificação do ponto de vista de segurança alimentar, notou-se a importância de trabalhar com esse tema, sendo o mesmo inserido no escopo da pesquisa.

Ao todo foram realizados seis experimentos, 2 científicos e quatros experimentos pilotos, que tiveram a finalidade de conhecer o desenvolvimento do cultivo dos microverdes, através dos quais foi possível determinar: densidade de semeadura adequada, quais as espéices de microverdes que melhor se desenvolvem no sistema de cultivo, turno de irrigação ideal e melhor disposição das bandejas nas bancadas de cultivo.

Dois experimentos foram realizados para constar no corpo da dissertação, o primeiro referente à análise de diferentes meios de cultivos (Experimento 1) e, o segundo referente à biofortificação com zinco (Experimento 2).

Durante o período experimental, o controle de temperatura e umidade relativa do ar, no interior da estufa, foi realizado com abertura e fechamento diário das cortinas laterais. Pela manhã, as cortinas laterais eram abertas para ventilar e remover a umidade, no final da tarde a estufa era fechada, correspondendo o horário de abertura, em geral, das 08 às 18 horas. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram coletados por meio de um termo-higrômetro digital.

A sanitização foi executada no início de cada experimento, com a limpeza das bancadas e das bandejas de cultivo com hipoclorito, além disso, foram utilizadas luvas de látex para manusear todos os materiais, com a finalidade de evitar a contaminação humana nas plantas.

O experimento 1 foi conduzido entre 08 e 20 de março de 2020, e tratou do estudo sobre meios de cultivo alternativos para a produção de microverdes de alface, beterraba, repolho roxo e manjericão. Para as análises de laboratório, foram necessários cerca de 30 dias adicionais.

O experimento 2 tratou da biofortificação com zinco na produção de microverdes de beterraba, repolho roxo e manjericão.

Houve a instalação de um primeiro experimento 2 em fevereiro de 2021, porém, no dia 10 de fevereiro de 2021, por conta de um forte temporal, o plástico de cobertura do teto da estufa rompeu-se por completo, obrigando a fazer de forma emergencial, a troca de local das bancadas de cultivos para

outra estufa de cultivo, sendo que os prejuízos acarretados levaram à necessidade de descarte do experimento em andamento naquele momento.

Nova semeadura foi realizada em 01 de março de 2021 e o período experimental prolongou-se por 15 dias.

No período final do ciclo, observou-se um número considerável de formigas locomovendo-se sobre as bancas de cultivos. Por se tratar dos últimos dias do experimento e as plantas não apresentarem sinais de infestação, optou-se por não realizar controle das formigas.

O material vegetal seco foi levado ao Laboratório de Análise de Tecidos Vegetais do Departamento de Solos para determinação do conteúdo de zinco. O tempo despendido para a totalidade das análises laboratoriais pós-experimento foi de 60 dias, aproximadamente.

Ao término do experimento, os equipamentos foram desmontados e a estufa limpa.

4 ARTIGO I: Aspectos agronômicos e fitoquimicos de microverdes cultivados em substratos alternativos frente a substratos convencionais

(*Segundo as normas da Revista Caatinga*)

ASPECTOS AGRONÔMICOS E FITOQUÍMICOS DE MICROVERDES CULTIVADOS EM SUBSTRATOS ALTERNATIVOS FRENTE A SUBSTRATOS CONVENCIONAIS

RESUMO – A produção de microverdes envolve o emprego de um substrato que deve apresentar características favoráveis ao cultivo em bandejas, tais como manutenção da umidade sem causar sujidade, baixo custo e permitir a obtenção de elevada produtividade de plantas, aliada à alta qualidade nutricional. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de substratos usualmente empregados na produção de hortaliças [substrato comercial (SC) Carolina Soil® mudas; casca de arroz carbonizada (CAC); e a mistura SC+CAC 50% v/v] e de substratos sintéticos alternativos (tecido de fibra de juta e fibra têxtil de cor branca) sobre o crescimento, a produtividade e a caracterização fitoquímica de microverdes de alface, beterraba, repolho roxo e manjericão. Os substratos foram colocados em bandejas plásticas retangulares, com dimensões de 20 cm x 13 cm, em camada de 1 cm de altura. Aos 13 dias após a semeadura, foram avaliados: massa seca (MS), massa fresca (MF), altura, ácido L-ascórbico, carotenoides totais e compostos fenólicos totais. Considerando o conjunto de espécies avaliadas, o SC apresenta-se como o substrato mais adequado quanto à conciliação de crescimento, produtividade e conteúdo de ácido L-ascórbico e de carotenóides. A fibra têxtil, para o repolho roxo e o manjericão, assim como a CAC e a mistura SC+CAC, para as quatro espécies, apresentam-se como alternativas promissoras. De maneira geral, o cultivo em juta traz prejuízos ao crescimento, à produtividade e ao conteúdo de ácido L-ascórbico e carotenóides. Porém, propicia maior conteúdo de compostos fenólicos totais nos tecidos de beterraba e repolho roxo.

Palavras-chave: *Beta vulgaris* L.; *Brassica oleracea* L. *var. capitata f. rubra*.; *Lactuca sativa* L.; *Ocimum basilicum* L.; *microgreens*.

AGRONOMIC AND PHYTOCHEMICAL ASPECTS OF MICROGREENS CULTIVATED IN ALTERNATIVE MEDIA VS. CONVENTIONAL SUBSTRATES

ABSTRACT – The production of microgreens involves the use of a growing medium or substrate that must present favorable characteristics for cultivation in trays, such as maintaining humidity without causing dirt, low cost and allowing high productivity of plants with high nutritional quality. Thus, the objective of this work was to study the effect of substrates usually used in the production of vegetables [commercial substrate (SC) Carolina Soil® seedlings; carbonized rice husk (CAC); and the mixture SC+CAC

50% v/v] and alternative synthetic substrates (jute fiber fabric and white textile fiber) on growth, productivity and phytochemical characterization of microgreens from lettuce, beetroot, red cabbage and basil. The substrates were placed in rectangular plastic trays, with dimensions of 20 cm x 13 cm, in a layer of 1 cm in height. At 13 days after sowing, the following were evaluated: dry mass (DM), fresh mass (MF), height, L-ascorbic acid, total carotenoids and total phenolic compounds. Considering the set of evaluated species, SC presents itself as the most suitable medium regarding the conciliation of growth, productivity and content of L-ascorbic acid and carotenoids. Textile fiber, for red cabbage and basil, as well as CAC and the SC+CAC mixture, for the four species, present are promising alternatives. In general, the cultivation of jute causes damage to growth, productivity and the content of L-ascorbic acid and carotenoids. However, it provides a higher content of total phenolic compounds in beet and red cabbage tissues.

Keywords: *Beta vulgaris* L.; *Brassica oleracea* L. *var. capitata f. rubra*.; *Lactuca sativa* L.; *Ocimum basilicum* L.; *microgreens*.

INTRODUÇÃO

Microverdes, também chamados de microgreens, se referem a um termo de *marketing* para descrever uma categoria de produtos vegetais específicos, com altura de 6 a 10 cm e a colheita realizada entre 7 e 21 dias após sua germinação (XIAO et al., 2016; TREADWELL et al., 2020). Atualmente, são comercializados em mercados e restaurantes especializados, pois nos últimos anos ganharam popularidade como uma nova tendência culinária. Por ser um produto diferenciado, sua demanda vem aumentando no Brasil.

Os microverdes fornecem intensos sabores, cores vibrantes e qualidade nutricional. Pesquisas indicam que o conteúdo de nutrientes minerais e de compostos fitoquímicos presentes nos microverdes são muito elevados, em comparação com os da planta adulta (XIAO et al., 2016; GHOORA et al., 2020; EL-NAKHEL et al, 2021).

Substâncias antioxidantes, como ácido ascórbico, carotenóides e flavonóides, entre outros compostos fenólicos, são recomendados na dieta humana, pois essas substâncias auxiliam no combate de espécies de oxigênio livre e reativo que são produzidas pelo corpo humano. Sendo assim, é importante o consumo de quantidades diárias de hortaliças, que apresentam na sua composição subtâncias antioxidantes que são capazes de contribuir para dar resistência às paredes dos vasos sanguíneos, aos ossos, tendões e dentes (AMES; SHIGENAGA; HAGEN, 1993).

Sua produção pode ser uma opção para os agricultores familiares, pelo alto valor

agregado, necessidade de pequenas áreas e baixo investimento inicial. Além de serem cultivados em ambientes protegidos em propriedades rurais, também podem ser cultivados em ambiente urbano (DI GIOIA; SANTAMARIA, 2015; MICHELL et al., 2020; DODE et al., 2021).

O manejo da produção é considerado simples, o ciclo de cultivo é curto e há alta rotatividade de plantas. De maneira geral, o sistema de produção envolve o emprego de um substrato, disposto em bandejas, as quais são colocadas sobre bancadas situadas em ambiente protegido, sendo a irrigação realizada somente com água ou com solução nutritiva. (KYRIACOU et al., 2016).

A comercialização pode ocorrer nas próprias bandejas, junto ao substrato, aumentando a vida de pós-colheita. Neste sentido, o material empregado como substrato deve apresentar características favoráveis ao cultivo em bandejas, tais como manutenção da umidade sem causar sujidade a partir de resíduos aderidos às plantas, baixo custo e permitir a obtenção de elevada produtividade de microverdes com alta qualidade nutricional.

Pesquisas relatam a utilização de meios de cultivo como: turfa, fibra têxtil, fibra de juta, vermiculita, espuma fenólica, fibra de coco e substratos comerciais (MURPHY; LLORT; PILL, 2010; DI GIOIA; SANTAMARIA, 2015; WIETH; PINHEIRO; DUARTE, 2019). Materiais alternativos de baixo custo de origem natural e renovável podem se tornar eficazes para o cultivo (DI GIOIA et al., 2017). No entanto, o uso de materiais sintéticos como substrato pode trazer a vantagem da ausência de contaminantes biológicos e de resíduos físicos nos microverdes.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é estudar o efeito de substratos usualmente empregados na produção de hortaliças e de substratos sintéticos alternativos sobre o crescimento, a produtividade e a caracterização fitoquímica das plantas, buscando alternativas que possibilitem um elevado rendimento para a produção de microverdes de alta qualidade de alface, beterraba, repolho roxo e manjericão.

MATERIAL E MÉTODOS

Quatro experimentos foram conduzidos sob as mesmas condições e simultaneamente no período entre 08 e 20 de março de 2020, cada um correspondente a uma espécie de microverde: alface cerbiatta (*Lactuca sativa* L.), beterraba shankar (*Beta vulgaris* L.), repolho roxo krishana (*Brassica oleracea* L. *var. capitata f. rubra*) e manjericão shanti (*Ocimum basilicum* L.). As sementes, próprias para o cultivo de

microverdes, apresentavam poder germinativo de 98%, 91%, 98% e 98% e um número aproximado de sementes por grama de 955, 90, 247 e 555 para alface, beterraba, repolho roxo e manjericão, respectivamente.

O ambiente de cultivo foi uma estufa coberta com polietileno de baixa densidade, localizada no Campo Experimental e Didático do Departamento de Fitotecnia (DFt), da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), no Campus da Universidade Federal de Pelotas, situado no município de Capão do Leão, Rio Grande do Sul. A localização geográfica aproximada é: latitude 31°52' S, longitude 52°21' W e altitude média de 13 metros acima do nível do mar.

O manejo do ambiente da estufa foi efetuado apenas com ventilação natural, através da abertura e fechamento das janelas laterais às 8 horas e às 18 horas, respectivamente.

As temperaturas máximas e mínimas do ar assim como a umidade relativa no interior da estufa foram monitoradas diariamente, utilizando um registrador de dados (Termohigrômetro digital; Incoterm®) instalado próximo às bancadas de produção. A temperatura média foi de 26,7 ºC, com média das mínimas de 20,0 ºC e das máximas de 33,4 ºC. A umidade relativa média foi de 54,2%, com média das mínimas de 29,7% e das máximas de 78,7%.

Sementes nuas não tratadas das espécies selecionadas, específicas para a produção de microverdes do portfólio da empresa Isla Sementes®, foram semeadas manualmente em bandejas plásticas perfuradas na base, sem compartimentação, retangulares, com área de 260 cm^2 (20 cm x 13 cm), preenchidas com substrato disposto em camada de 1 cm de altura, aproximadamente.

As sementes foram colocadas uniformemente sobre o substrato umedecido, na densidade de 4 sementes cm^{-2} para todas as espécies, o que correspondeu a 0,037 g cm^{-2} e 0,015 g cm^{-2}, respectivamente, para beterraba e repolho. Para o manjericão foi utilizada uma densidade de 0,006 g cm^{-2} e para a alface 0,003 g cm^{-2}. Após a semeadura, as bandejas foram cobertas com tela de sombreamento 100% de cor preta por três dias, para criar um ambiente escuro e, deste modo, propiciar melhores condições para a germinação.

As bandejas foram dispostas em três bancadas de cultivo, com dimensões de 0,90m x 2,50m, subdivididas em cinco parcelas de 0,9m x 0,50m. As bancadas foram forradas internamente com filme de polietileno dupla face branco-preto. Sobre o plástico, na base de cada uma das repartições das bancadas, foram colocadas telas plásticas com a finalidade de impedir que as raízes aderissem ao fundo. Um reservatório de solução nutritiva (15 litros) e uma bomba de aquário foram instalados para a

fertirrigação individual em cada parcela. As bancadas foram instaladas com declividade, relativa à largura, de 2%. Empregou-se o método de subirrigação, com entrada de solução nutritiva em um dos cantos da lateral de maior altura da parcela e drenagem da solução excedente no canto oposto, situado na lateral mais baixa da parcela.

A técnica de cultivo com solução nutritiva recirculante foi utilizada, caracterizando um sistema fechado, com reutilização total da solução drenada. A solução nutritiva foi fornecida por um período de 15min por hora entre às 7:00 e às 19:00, mais duas irrigações de 15 minutos durante a noite.

Empregou-se a solução nutritiva recomentada por Santos et al. (2004) para forragem hidropônica, composta pelas seguintes concentrações de macronutrientes (mmol litro^{-1}): 13,9 de NO_3^-, 1,4 de $H_2PO_4^-$, 1,1 de SO_4^{2-}, 2,1 de NH_4^+, 6,4 de K^+, 3,4 de Ca^{2+} e 1,1 de Mg^{2+}; e micronutrientes (mg litro^{-1}): 5,0 de Fe, 0,05 de Mn, 0,09 de Zn, 0,10 de B, 0,04 de Cu e 0,02 de Mo.

Os quatro experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e três repetições. Os tratamentos corresponderam a três meios de cultivo considerados "convencionais": substrato comercial (SC) Carolina Soil® mudas; casca de arroz carbonizada (CAC); a mistura Carolina Soil® mudas + casca de arroz carbonizada (SC + CAC) com volume 50:50%; e dois meios sintéticos: tecido de fibra de juta e fibra têxtil de cor branca.

O tecido de fibra de juta tem em sua composição 100% juta, com gramatura 328 g m², sendo que duas camadas foram necessárias para atingir 1 cm de altura. A casca de arroz carbonizada foi adquirida através de uma agropecuaria local, assim como o substrato comercial Carolina Soil® mudas, que apresenta na sua composição turfa, vermiculita, casca de arroz torrefado e calcário, pH próximo de 5,5 e condutividade elétrica (CE) 0,7 mS cm^{-1}.

O bloco foi constituído por uma bancada de cultivo, sendo que a cada repartição da bancada correspondeu um tratamento. A unidade experimental foi constituída por duas bandejas.

As avaliações foram realizadas 13 dias após a semeadura, quando as quatro espécies apresentavam as folhas cotiledonares completamente expandidas e túrgidas e a primeira folha verdadeira em estágio inicial de desenvolvimento. A altura média dos microverdes foi obtida a partir da média de três medidas, tomadas com régua graduada, em cada uma das bandejas componentes da unidade experimental. Para efeitos de avalição da massa fresca e seca, os microverdes de uma bandeja de cada repetição foram colhidos através de corte na base das plantas, próximo ao substrato, com tesoura. As plantas foram pesadas para obtenção de massa fresca, sendo na sequência colocadas em

estufa com ventilação forçada a 65°C, até peso constante, para obtenção da massa seca.

Em relação à caracterização fitoquímica, a segunda bandeja da unidade experimental foi enviada ao Laboratório de Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos/FAEM/UFPEL para análise do conteúdo de ácido ascórbico, carotenoides totais e compostos fenólicos totais (COGO et al., 2011; PINTO et al., 2016). Os dados são expressos em $mg.100g^{-1}$ PF (peso fresco).

Os resultados foram submetidos, separadamente para cada uma das espécies, à análise de variância ($P \leq 0,05$) e, quando verificadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) através do software estatístico Sisvar®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância indicou que houve diferenças entre os meios de cultivo quanto à produção de massa seca (MS), massa fresca (MF) e altura dos microverdes das quatro espécies avaliadas.

Para os microverdes de alface, a mistura SC + CAC e a CAC propiciaram as melhores respostas em relação às três variáveis citadas (Tabela 1)., o que sugere influência positiva da casca de arroz carbonizada no crescimento dos microverdes desta espécie. No entanto, o substrato composto somente por SC não diferiu estatisticamente destes e tampouco da juta e da fibra têxtil quanto à MS e à MF produzidas, sendo estes dois últimos os meios nos quais foram obtidas às menores médias de ambas as variáveis (Tabela 1). Em relação à altura dos microverdes de alface (Tabela 1), o cultivo em fibra têxtil resultou em valores estatisticamente semelhantes aos observados em todos os demais substratos. Porém, na juta, embora a altura observada no dia da colheita tenha sido estatisticamente similar à dos microverdes cultivados no SC e na fibra, as plantas apresentaram alturas inferiores à das plantas cultivadas na CAC e na mistura SC + CAC (Tabela 1).

Já para os microverdes de beterraba, repolho roxo e manjericão, as melhores respostas quanto à produção de MS e de MF foram obtidas no cultivo em SC (Tabela1). Este comportamento pode estar associado a particularidades encontradas neste substrato, como uma elevada capacidade de retenção de água (SILVA et al., 2019) e a presença significativa de nutrientes minerais. Corroborando esta afirmativa, em pesquisa realizada por Wieth, Pinheiro e Duarte (2020), foi verificado que o cultivo nos substratos Carolina Soil® mudas −o mesmo substrato comercial avaliado no presente trabalho− e Carolina Soil® orgânico dispensou o fornecimento de solução nutritiva para efeito de diminuição

do ciclo de produção de microverdes de repolho roxo. Cabe destacar que o cultivo dos microverdes de repolho roxo na mistura SC + CAC e dos microverdes de manjericão na CAC propiciou valores de MS e MF semelhantes aos obtidos no SC para ambas as espécies (Tabela 1).

Quanto à altura, o cultivo na CAC, na mistura SC + CAC e na fibra têxtil propiciou valores similares aos observados no cultivo em SC para os microverdes de beterraba, repolho roxo e manjericão (Tabela 1).

O cultivo em fibra têxtil propiciou produção de MF do repolho roxo e do manjericão superior ao cultivo em juta. Tais resultados são divergentes dos obtidos por Di Gioia et al. (2017), que não encontrou diferenças significativas entre a MF de microverdes de brócolis produzidos nos substratos de turfa, fibra têxtil e juta. Para o repolho roxo, a MS também foi maior na fibra têxtil do que no cultivo em juta. Além disso, o cultivo de repolho roxo na fibra têxtil resultou em valores similares de MS aos obtidos na CAC e na mistura SC + CAC, bem como em valores de MF semelhantes aos observados na CAC. Já, no cultivo do manjericão, a fibra têxtil propiciou produção de MS semelhante à obtida na mistura SC + CAC e de MF comparáveis à do cultivo em CAC e na mistura SC + CAC (Tabela 1).

A superioridade do substrato comercial no que se refere à MS e à MF produzidas foi um padrão observado de forma clara somente no cultivo de microverdes de beterraba. De forma similar, o melhor desempenho da fibra têxtil em relação à juta, inclusive equiparando-se quanto à produção de MS e de MF a alguns dos meios considerados convencionais, foi observado somente no cultivo de repolho roxo e do manjericão.

Um aspecto também relevante é que, dentre as características de crescimento, importantes para a comercialização dos microverdes, pode-se destacar a altura da planta, tendo em vista que plântulas maiores que 5 cm são mais adequadas pela facilidade da colheita (KYRIACOU et al., 2016). Neste sentido, foi observado que as espécies beterraba e repolho roxo apresentam vantagem, quando comparadas à alface e ao manjericão, cujas alturas, de maneira geral, foram mais baixas (Tabela 1). Retardar o dia da coleta poderia se configurar como uma medida adequada para alavancar a altura das plântulas destas duas espécies, porém, há que se evitar o estiolamento exagerado, que pode resultar em reflexos negativos na turgescência das plântulas.

Pode-se verificar que para os microverdes de alface, somente a mistura SC + CAC e, para os microverdes de manjericão, somente o SC propiciaram plântulas com altura ligeiramente maior que 5,0 cm (Tabela 1). Para beterraba e repolho roxo, um número maior de alternativas foi identificado, pois os três substratos convencionais, juntamente

com a fibra têxtil, garantiram alturas de plântulas acima de 5,0 cm (Tabela 1).

Os resultados de altura de planta também enfatizam a superioridade da fibra têxtil em relação à juta, pois apesar de que ambos resultaram em médias estatisticamente semelhantes entre si, os valores desta variável no cultivo na fibra também foram estatisticamente semelhantes aos observados nos três substratos convencionais para as quatro espécies (Tabela 1).

Os resultados referentes aos conteúdos de compostos bioativos (Figuras 1, 2 e 3) foram extremamente variáveis em função da espécie avaliada, coincidindo com observações prévias de Xiao et al. (2012).

O repolho roxo foi a espécie que apresentou os maiores valores médios de ácido L-ascórbico, variando de 43,3 a 62,3 $mg.100g^{-1}$ PF, seguido dos microverdes de beterraba (entre 18,3 e 27,3 $mg.100g^{-1}$ PF), de alface (de 7,0 a 11,0 $mg.100g^{-1}$ PF) e, por último, de manjericão (média de 5,6 a 8,0 $mg.100g^{-1}$ PF). Os valores obtidos para o repolho e a beterraba encontram-se dentro da faixa de 20,4 a 147,0 $mg.100g^{-1}$ PF, observada em estudo realizado por Xiao et al. (2012), no qual foram avaliadas diferentes espécies de microverdes. Apesar de que no trabalho de Xiao et al. (2012) os valores observados tenham sido consideravelmente superiores, coincidindo com os presentes resultados, entre as espécies avaliadas, o repolho roxo também foi a que apresentou o maior conteúdo de ácido L-ascórbico.

Para a alface (Figura 1A) e a beterraba (Figura 1B), os valores de ácido L-ascórbico obtidos no cultivo em fibra têxtil foram similares aos obtidos nos três meios convencionais, os quais não diferiram entre si. Quanto ao repolho roxo (Figura 1C), os valores desta variável no cultivo em fibra têxtil foram semelhantes aos observados na CAC, e ambos foram inferiores aos obtidos no SC e na mistura SC + CAC. Para estas três espécies (Figuras 1A, 1B e 1C), o cultivo em juta foi o que resultou nos menores valores de ácido L-ascórbico. Porém, no caso da alface (Figura 1A), não foram detectadas diferenças entre a juta e a fibra têxtil. Com relação ao manjericão (Figura 1D), a análise estatística não indicou efeitos dos meios de cultivo sobre o ácido L-ascórbico.

Tabela 1. Massa seca, massa fresca e altura de microverdes de alface (*Lactuca sativa* L.), beterraba (*Beta vulgaris* L.) , repolho roxo (*Brassica oleracea* L. *var. capitata f. rubra*) e manjericão (*Ocimum basilicum* L.), aos 13 dias após a semeadura em diferentes substratos. Pelotas, Brasil, 2022.

	Massa seca (g m^{-2})			
	Espécie			
Substratos	Alface	Beterraba	Repolho roxo	Manjericão
Substrato comercial[1]	38,8 ab	37,9 a	108,8 a	64,3 a
CAC[2]	51,0 a	23,1 b	87,7 b	57,4 ab
Subst. comercial + CAC	49,4 a	14,7 bc	97,7 ab	48,7 bc
Juta	26,5 b	1,7 c	47,9 c	32,9 d
Fibra têxtil	22,3 b	7,5 c	80,9 b	43,2 cd
CV (%)	20,76	27,40	7,70	7,79
	Massa Fresca (g m^{-2})			
	Espécie			
Substratos	Alface	Beterraba	Repolho roxo	Manjericão
Substrato comercial[1]	1019,7 ab	1884,2 a	2413,0 a	1432,1 a
CAC[2]	1261,1 a	1464,7 b	1785,7 bc	1195,7 ab
Subst. *comercial* + CAC	1355,9 a	1004,7 c	2083,9 ab	1096,8 b
Juta	679,8 b	328,3 d	773,1 d	597,6 c
Fibra têxtil	687,0 b	574,7 d	1437,0 c	929,4 b
CV (%)	15,69	13,08	10,21	9,80
	Altura (cm)			
	Espécie			
Substratos	Alface	Beterraba	Repolho roxo	Manjericão
Substrato comercial[1]	3,1 bc	6,4 a	7,6 a	5,2 a
CAC[2]	4,7 ab	5,9 a	6,5 ab	5,0 ab
Subst. comercial + CAC	5,6 a	5,1 ab	7,1 ab	4,4 ab
Juta	2,6 c	3,9 b	5,0 b	3,2 b
Fibra têxtil	3,8 abc	5,6 ab	6,1 ab	4,6 ab
CV (%)	17,57	11,18	13,60	15,32

[1] Carolina Soil® mudas; [2]CAC: casca de arroz carbonizada; [3] Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De forma geral, ao confrontarem-se os resultados referentes ao conteúdo de ácido L-ascórbico (Figura 1) e os resultados de produção de massa fresca (Tabela 1), confirma-se a informação de que quanto maior o rendimento dos microverdes, mais elevado é o conteúdo deste composto, o que pode ser atribuído ao fato de que o ácido ascórbico é um antioxidante solúvel em água, que atua nas enzimas e regula a fotossíntese e a divisão celular, promovendo características de rendimento mais atrativas (ROSA et al., 2007; DE LA FUENTE et al., 2019;).

A beterraba, (Figura 2B), foi a espécie de microverde que apresentou a maior concentração de carotenóides totais nos tecidos (entre 10,3 e 14,6 mg. $100g^{-1}$ PF), seguida de forma muito próxima pelo repolho roxo (Figura 2C) com 8,6 a 14,3 mg. $100g^{-1}$ PF. Na sequência, tem-se a alface (Figura 2A), com 6,0 a 8,3 mg. $100g^{-1}$ PF, e o manjericão (Figura 2D), com os menores valores, entre 4,6 e 7,6 mg.$100g^{-1}$ PF.

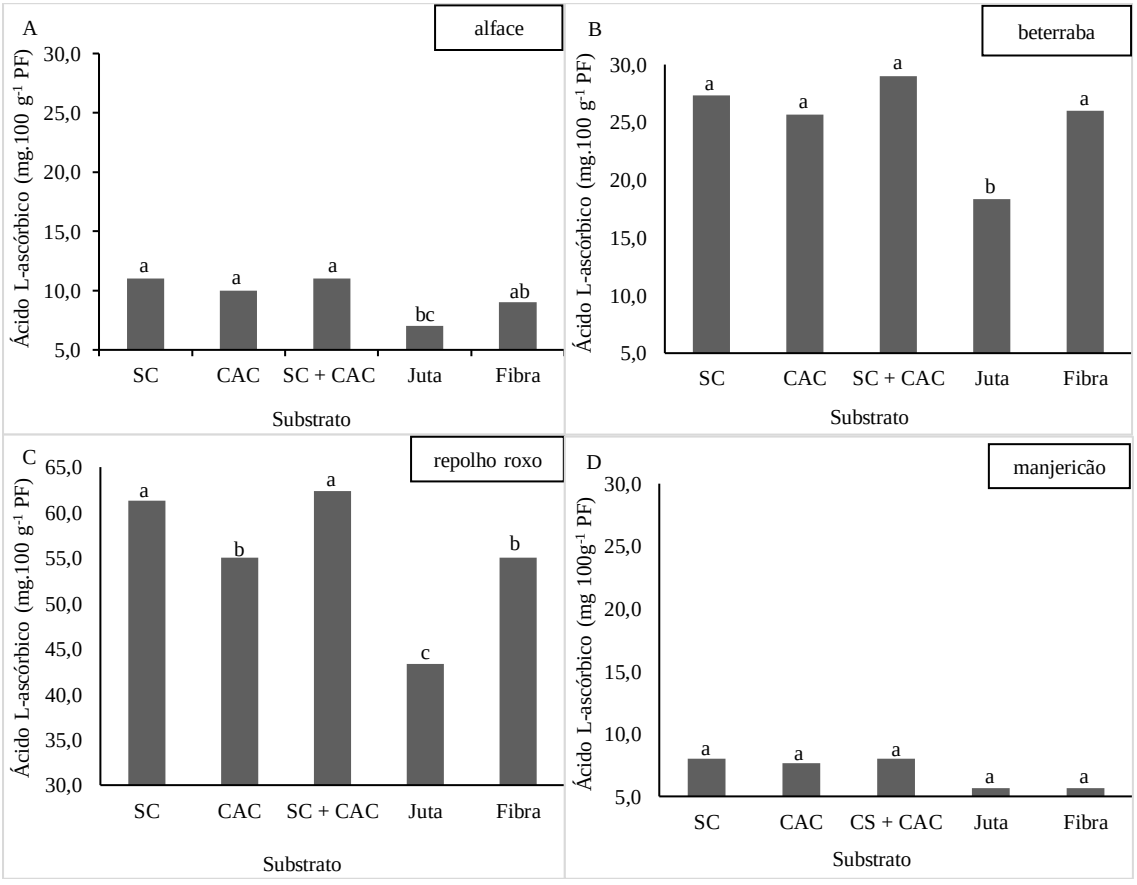


Figura 1: Efeito do substrato − substrato comercial Carolina Soil® (SC); casca de arroz carbonizada (CAC); a mistura substrato comercial Carolina Soil® + casca de arroz carbonizada (SC + CAC), juta e fibra têxtil – sobre o conteúdo de ácido L-ascórbico em microverdes de alface (*Lactuca sativa* L.) (A), beterraba (*Beta vulgaris* L.) (B), repolho roxo (*Brassica oleracea* L. *var. capitata f. rubra*) (C) e manjericão (*Ocimum basilicum* L.) (D). Letras distintas indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). PF: peso fresco. Pelotas, Brasil, 2022.

Pelo fato dos carotenóides constituírem-se em uma das principais classes de fitoquímicos, sendo necessário o seu consumo como precursores de vitamina A, e também exercerem importante atividade antioxidante (PARADISO et al., 2020), é interessante salientar que, mesmo em variadas concentrações (Figura 2), as quatro espécies expressaram boa quantidade deste fitoquímico, considerando que os níveis dos principais carotenóides em microverdes, segundo estudo anterior (XIAO et al., 2012), podem variar de 0,6 a 12,1 mg.100g^{-1} PF.

Para a alface (Figura 2A), a beterraba (Figura 2B) e o manjericão (Figura 2D), as maiores médias foram detectadas no cultivo nos três substratos convencionais indistintamente. No caso do repolho roxo (Figura 2C), o cultivo em SC e SC +CAC resultou em maior conteúdo de carotenóides nos tecidos do que o observado no cultivo em CAC. Inclusive, os valores verificados nestes dois substratos – respectivamente, 13,3 e 14,3 (Figura 2C)− se encontram acima do valor de 11,5 mg.100g^{-1}PF, reportado por Xiao et al. (2012).

Na fibra têxtil, a média não diferiu estatisticamente das obtidas nos três substratos comerciais para a beterraba (Figura 2B) e o manjericão (Figura 2D) e, para o repolho roxo (Figura 2C), foi inferior somente à média detectada no cultivo na mistura SC + CAC. Com exceção da alface (Figura 2A), para a qual o cultivo em fibra resultou nos menores valores, o cultivo em juta foi o que resultou nas menores médias de carotenóides totais para as demais espécies (Figuras 2B, 2C e 2D).

Com relação ao conteúdo de compostos fenólicos totais (Figura 3), de forma semelhante ao observado para o conteúdo de ácido L-ascórbico e de carotenóides, verificaram-se valores mais elevados nos microverdes de beterraba (entre 318,3 e 407,0 mg de ácido gálico.100g^{-1} PF; Figura 3B) e de repolho roxo (de 300,0 a 341,3 mg de ác. gálico.100g^{-1} PF; Figura 3C), em relação aos menores valores detectados no manjericão (média de 128,9 mg de ác. gálico.100g^{-1} PF; Figura 3D) e na alface (média de 110,5 mg de ác. gálico.100g^{-1} PF; Figura 3A). Esta resposta deve-se à presença de pigmentos de antocianinas em alta concentração nas duas espécies, que, quimicamente, são compostos fenólicos pertencentes ao grupo dos flavonóides (PARK et al., 2014).

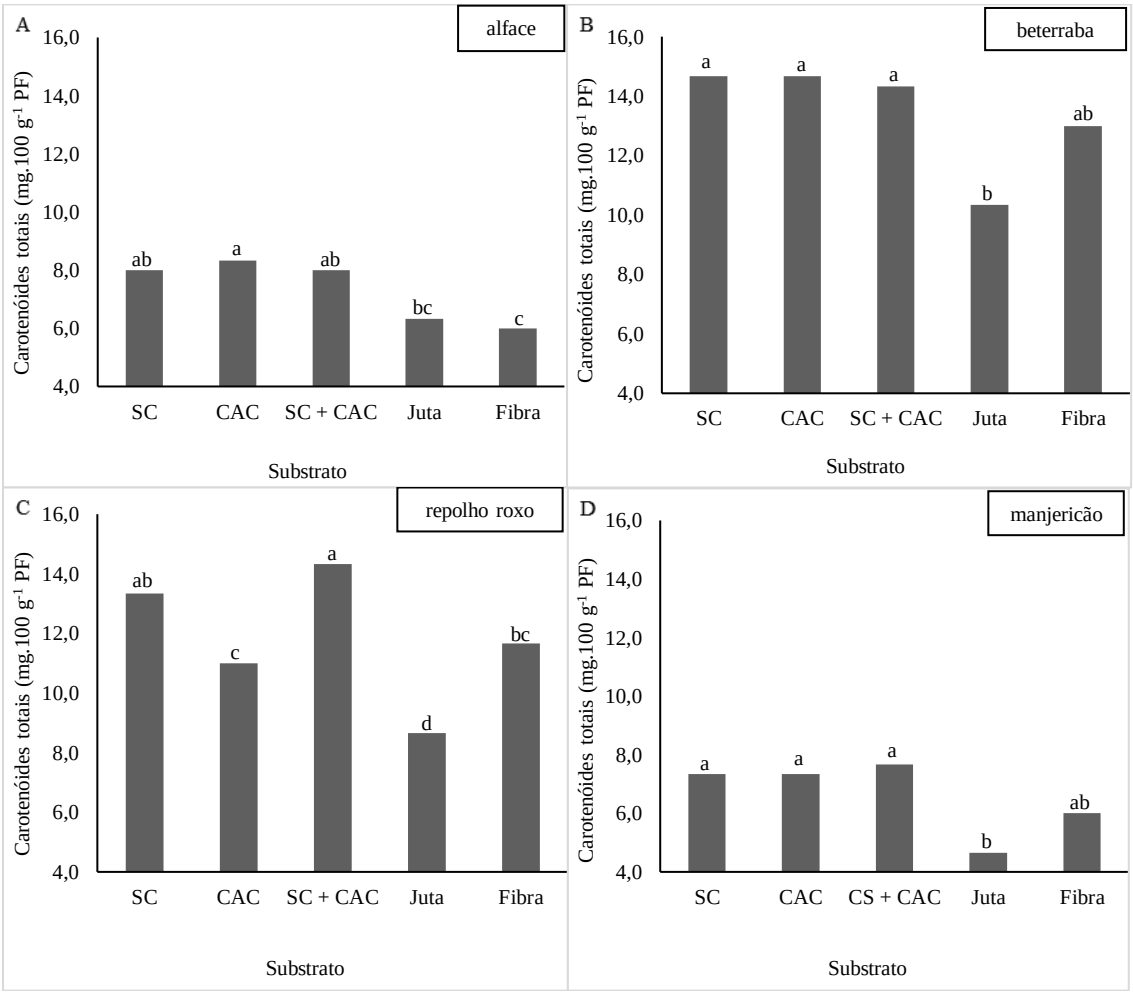


Figura 2: Efeito do substrato − substrato comercial Carolina Soil® (SC); casca de arroz carbonizada (CAC); a mistura substrato comercial Carolina Soil® + casca de arroz carbonizada (SC + CAC), juta e fibra têxtil – sobre o conteúdo de carotenóides totais em microverdes de alface (*Lactuca sativa* L.) (A), beterraba (*Beta vulgaris* L.) (B), repolho roxo (*Brassica oleracea* L. *var. capitata f. rubra*) (C) e manjericão (*Ocimum basilicum* L.) (D). Letras distintas indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). PF: peso fresco. Pelotas, Brasil, 2022.

No entanto, o padrão de respostas aos meios de cultivo quanto ao conteúdo de compostos fenólicos foi bastante distinto. Para as espécies alface (Figura 3A) e manjericão (Figura 3D) não foram detectadas diferenças estatísticas. Porém, o cultivo em juta proporcionou uma maior concentração destes compostos em relação aos demais meios nas plantas de beterraba (Figura 3B) e de repolho roxo (Figura 3C). Para o repolho (Figura 3C), os conteúdos não diferiram entre os demais meios avaliados. Já, para a beterraba (Figura 3B), observou-se uma redução sequencial entre a fibra, a mistura SC + CAC e a CAC (sendo que estes dois meios não diferiram entre si) e o SC. Embora os conteúdos verificados por Santos, Costa e Lima (2020) tenham variado numa faixa superior (entre 385,6 e 929,9 mg de ác. gálico. $100g^{-1}$ PF), concordando com os resultados obtidos no presente trabalho, os autores também observaram efeito dos meios de cultivo solo, fibra de coco e húmus sobre o conteúdo de compostos fenólicos em

microverdes de beterraba.

Associando-se os aspectos relacionados à produção (Tabela 1) com o conteúdo de compostos bioativos (Figuras 1, 2 e 3), o repolho roxo e a beterraba destacam-se entre as espécies estudadas. Porém, a alface e o manjericão não devem ser desconsiderados, pois a variedade de espécies é um requisito do mercado consumidor de microverdes, sendo assim, uma condição essencial a ser mantida em um sistema de produção comercial.

A variedade de respostas entre os microverdes estudados quanto à produção de MS e MF (Tabela 1) e ao conteúdo de compostos bioativos (Figuras 1, 2 e 3) nos diferentes meios de cultivo indica que a adequação de um substrato ao sistema de cultivo de microverdes é altamente dependente da espécie cultivada. Não obstante, de maneira geral, para as quatro espécies, o cultivo em juta resultou em valores inferiores de MS, MF, altura de plantas (Tabela 1), ácido L-ascórbico (Figura 1) e carotenóides totais (Figura 2).

Paralelamente, há que se considerar que uma produção comercial exige praticidade, sendo pouco frutífero empregar distintos substratos em função das espécies cultivadas em uma mesma unidade de produção. Assim, considerando o conjunto de espécies avaliadas, o substrato comercial Carolina Soil® mudas apresenta-se como o mais adequado do ponto de vista de conciliação entre elevada produção (Tabela 1) e conteúdo de compostos fitoquímicos (Figuras 1 e 2).

As características da juta e da fibra têxtil impossibilitaram a realização de análises das propriedades químicas e físicas dos materiais. No entanto, considerando que os tratamentos estavam submetidos a um mesmo regime de fornecimento de solução nutritiva, as respostas inferiores obtidas nos meios sintéticos, principalmente no cultivo em juta, indicam uma inferior disponibilidade de água, sendo assim, os efeitos negativos dos substratos sintéticos, possivelmente, podem ser atribuídos à baixa capacidade de retenção de água dos materiais. A maior concentração de compostos fenólicos totais (Figura 3), notadamente nos microverdes de beterraba e de repolho roxo cultivados em juta, corroboram esta hipótese, uma vez que o déficit hídrico é um dos fatores que impulsionam a produção de tais metabólitos secundários como resposta ao estresse (ANGELO; JORGE, 2007).

Neste sentido, a adequação do regime de fornecimento da solução nutritiva pode ser uma estratégia interessante para impulsionar os bons resultados (Tabela 1; Figuras 1 e 2) observados no cultivo das quatro espécies na CAC e na mistura SC + CAC, com a vantagem da redução de custo. A mesma estratégia pode ser aplicada à fibra têxtil, que apresentou resultados promissores de produção e altura de plantas (Tabela 1) do repolho roxo e do manjericão. Usada como substrato, esta tem algumas vantagens comparada

aos substratos convencionais, principalmente, no que se refere à sua inocuidade biológica e à ausência de sujidade nas plantas. Por outro lado, há também que levar-se em conta o custo do material e a dificuldade para a sua reciclagem.

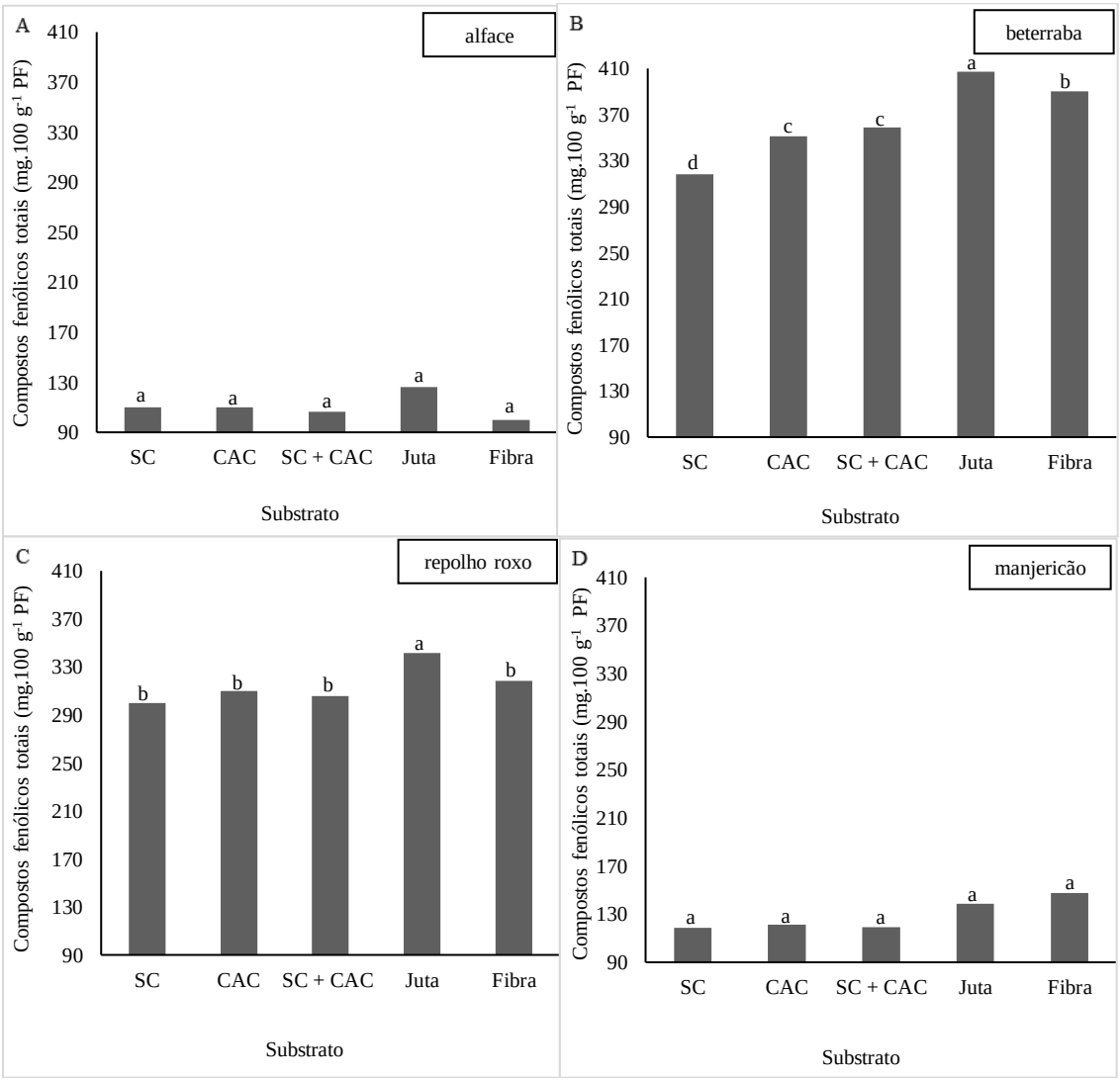


Figura 3: Efeito do substrato − substrato comercial Carolina Soil® (SC); casca de arroz carbonizada (CAC); a mistura substrato comercial Carolina Soil® + casca de arroz carbonizada (SC + CAC), juta e fibra têxtil – sobre o conteúdo de compostos fenólicos totais em microverdes de alface (*Lactuca sativa* L.) (A), beterraba (*Beta vulgaris* L.) (B), repolho roxo (*Brassica oleracea* L. *var. capitata f. rubra*) (C) e manjericão (*Ocimum basilicum* L.) (D). Letras distintas indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$). PF: peso fresco. Pelotas, Brasil, 2022.

CONCLUSÃO

Considerando o conjunto de espécies avaliadas, o substrato comercial Carolina Soil® mudas apresenta-se como o mais adequado do ponto de vista de conciliação de crescimento, produtividade e conteúdo de ácido L-ascórbico e carotenóides totais.

A fibra têxtil, para o cultivo de repolho roxo e de manjericão, assim como a

casca de arroz carbonizada e a mistura desta com o substrato comercial, para as quatro espécies de microverdes, apresentam-se como alternativas promissoras.

De maneira geral, o cultivo em juta traz prejuízos ao crescimento, à produtividade e ao conteúdo de ácido L-ascórbico e carotenóides de microverdes de alface, beterraba, repolho roxo e manjericão. Porém, propicia maior conteúdo de compostos fenólicos totais nos tecidos de beterraba e repolho roxo.

AGRADECIMENTOS

À UFPel pelo apoio institucional. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro. A Empresa Isla sementes pela colaboração.

REFERÊNCIAS

AMES, B. N.; SHIGENAGA, M. K.; HAGEN, T. M. Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 90, n. 17, p. 7915-7922, 1993.

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos uma breve revisão. **Revista do Instituto Adolfo Luiz (Impresso)**, 66 (1), 01-09.

COGO, S. L. et al. Low soil water content during growth contributes to preservation of green colour and bioactive compounds of cold-stored broccoli (*Brassica oleraceae L.)* florets. **Postharvest Biology and Technology**, v. 60, n. 2, p. 158-163, 2011.

DE LA FUENTE, B. et al. Evaluation of the bioaccessibility of antioxidant bioactive compounds and minerals of four genotypes of Brassicaceae microgreens. **Foods**, v. 8, n. 7, p. 250, 2019.

DI GIOIA, F.; SANTAMARIA, P. The nutritional properties of microgreens Las propiedades nutricionales de las micro-hortalizas. **1. Micro-ortaggi, agro-biodiversità e sicurezza alimentare**, p. 41, 2015.

DI GIOIA, F. et al. Physicochemical, agronomical and microbiological evaluation of alternative growing media for the production of rapini (*Brassica rapa L.*) microgreens. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 4, p. 1212-1219, 2017.

DODE, L. B. et al. MICROVERDES: CULTIVO DOMÉSTICO NA PROMOÇÃO DA SAÚDE E BEM-ESTAR. **Expressa Extensão**, v. 26, n. 1, p. 172-181, 2021.

EL-NAKHEL, C. et al. Mineral and Antioxidant Attributes of Petroselinum crispum at Different Stages of Ontogeny: Microgreens vs. Baby Greens. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 857, 2021.

GHOORA, M. D.; BABU, D. R.; SRIVIDYA, N. Nutrient composition, oxalate content and nutritional ranking of ten culinary microgreens. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 91, p. 103495, 2020.

KYRIACOU, M. C. et al. Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. **Trends in Food Science & Technology**, v. 57, p. 103-115, 2016.

MICHELL, K. A. et al. Microgreens: Consumer sensory perception and acceptance of an emerging functional food crop. **Journal of food science**, v. 85, n. 4, p. 926-935, 2020.

MURPHY, C. J.; LLORT, K. F. PILL, W. G. Factors affecting the growth of microgreen table beet. **International journal of vegetable science**, v. 16, n. 3, p. 253-266, 2010.

PARADISO, V. M. et al. Setup of an Extraction Method for the Analysis of Carotenoids in Microgreens. **Foods**, v. 9, n. 4, p. 459, 2020.

PARK, S. et al. Metabolite profiling of phenolics, anthocyanins and flavonols in cabbage (*Brassica oleracea var. capitata*). **Industrial Crops and Products**, v. 60, p. 8-14, 2014.

PINTO, E. P. et al. The effect of postharvest application of UV-C radiation on the phenolic compounds of conventional and organic grapes (*Vitis labrusca*

cv.'Concord'). **Postharvest Biology and Technology**, v. 120, p. 84-91, 2016.

ROSA, J. S. D. et al. Development of a method for vitamin C analysis in food using high performance liquid chromatography and ion exclusion. **Food Science and Technology**, v. 27, n. 4, p. 837-846, 2007.

SANTOS, F. L.; COSTA, E. S. LIMA, C. S. M. Diferentes substratos no desenvolvimento e na pós-colheita de microverdes de beterraba (*Beta vulgaris* L.). **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 21, n. 2, 2020.

SILVA, L. P. et al. Uso de substratos alternativos na produção de mudas de pimenta e pimentão. In: **Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215**. 2019. p. 104-115.

TREADWELL, D. et al. Microgreens: A new specialty crop. **EDIS**, v. 2010, n. 3, 2020.

WIETH, A. R.; PINHEIRO, W. D. DUARTE, T. S. Substratos e concentrações de nutrientes para produção de microgreens de brócolis em sistema hidropônico. **Revista Cultura Agronômica**, v. 28, n. 4, p. 422-434, 2019.

WIETH, A. R.; PINHEIRO, W. D. DUARTE, T. S. Purple cabbage microgreens grown in different substrates and nutritive solution concentrations. **Revista Caatinga**, v. 32, p. 976-985, 2020.

XIAO, Z. et al. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. **Journal of agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 31, p. 7644-7651, 2012.

XIAO, Z. et al. Microgreens of Brassicaceae: Mineral composition and content of 30 varieties. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 49, p. 87-93, 2016.

5 ARTIGO II: Biofortificação agronômica com zinco: Respostas biométricas e fitoquímicas de microverdes de beterraba, repolho roxo e manjericão

(segundo as normas da Revista Scientia Horticulture)

BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO: RESPOSTAS BIOMÉTRICAS E FITOQUÍMICAS DE MICROVERDES DE BETERRABA, REPOLHO ROXO E MANJERICÃO

Resumo

A deficiência nutricional de zinco (Zn) afeta a população em geral, causando prejuízos nas funções bioquímicas e fisiológicas, principalmente às relacionadas a imunidade. A biofortificação agronômica tem o objetivo de aumentar o acúmulo de nutrientes nos vegetais, sendo realizada com aplicações de fertilizantes. Neste sentido, os microverdes constituem uma categoria de alimentos muito promissores, pois o emprego de sistemas de cultivo sem solo associados ao uso de uma solução nutritiva, com concentrações conhecidas de elementos minerais, pode facilitar o protocolo e garantir o controle da qualidade das plantas, que são obtidas em um curto período. Porém, considerando que o limite entre a deficiência e a toxidez de Zn para os vegetais é bastante estreito, é fundamental definir a dose adequada a ser fornecida, sem causar efeitos negativos sobre o crescimento, a produção e a concentração de compostos fitoquímicos importantes para a dieta e/ou que contribuem para uma elevada absorção de Zn pelo organismo humano. Através do emprego de um sistema de cultivo sem solo muito simples, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da elevação da concentração de Zn na solução nutritiva de Hoagland a 50% sobre o crescimento, o rendimento e a qualidade nutricional, no que se refere ao conteúdo de Zn e de compostos fitoquímicos, de microverdes de beterraba, repolho roxo e manjericão. Cinco concentrações de zinco foram estudadas: 0, 5,10, 20 e 30 mg L^{-1}. Foram avaliados: massa seca (MS), massa fresca (MF), teor de zinco no tecido vegetal, altura, ácido L-ascórbico, carotenoides totais e compostos fenólicos totais. Os resultados obtidos permitem concluir que a suplementação da solução nutritiva com 5 ou 10 mg L^{-1} de Zn possibilita o aumento no conteúdo de Zn nos tecidos de microverdes de beterraba, repolho roxo e manjericão desde o mínimo de 115% até o máximo de 586%, em relação

ao conteúdo presente em microverdes produzidos com a mesma solução padrão com dose zero de Zn, sem haver redução do crescimento, produção e conteúdo de compostos fitoquímicos das plantas. A suplementação com doses de 20 e 30 mg L^{-1} deve ser desconsiderada, pois, mesmo não havendo prejuízos aos parâmetros avaliados, os níveis de Zn no tecido vegetal podem alcançar valores potencialmente tóxicos para o ser humano.

Palavras-chave: *Beta vulgaris L.; Brassica oleracea var. capitata f. rubra.; Ocimum basilicum* L.; solução nutritiva.

AGRONOMIC BIOFORTIFICATION WITH ZINC: BIOMETRICS AND PHYTOCHEMICALS RESPONSES OF BEET, RED CABBAGE AND BASIL MICROGREENS

Abstract

The nutritional deficiency of zinc (Zn) affects the general population, causing damage to biochemical and physiological functions, especially those related to immunity. Agronomic biofortification aims to increase the accumulation of nutrients in vegetables, being carried out with fertilizer applications. In this sense, microgreens constitute a very promising food category, as the use of soilless cultivation systems associated with the use of a nutrient solution, with known concentrations of mineral elements, can facilitate the protocol and ensure plant quality control, that are obtained in a short period. However, considering that the limit between Zn deficiency and toxicity for plants is very narrow, it is essential to define the appropriate dose to be provided, without causing negative effects on growth, production and concentration of phytochemical compounds important for the plant. diet and/or that contribute to a high absorption of Zn by the human body. Through the use of a very simple soilless cultivation system, the present work was carried out with the objective of evaluating the effect of increasing the concentration of Zn in Hoagland's 50% nutrient solution on growth, yield and nutritional quality, with regard to the content of Zn and phytochemical compounds, microgreens from beetroot, red cabbage and basil. Five concentrations of zinc were studied: 0, 5, 10, 20 and 30 mg L-1. The following were evaluated: dry mass (DM), fresh mass (MF), zinc content in plant tissue, height, L-ascorbic acid, total carotenoids and total phenolic compounds. The results obtained allow us to conclude that the

supplementation of the nutrient solution with 5 or 10 mg L-1 of Zn allows an increase in the Zn content in the tissues of beetroot, red cabbage and basil microgreens from a minimum of 115% to a maximum of 586%, in relation to the content present in microgreens produced with the same standard solution with zero dose of Zn, without reducing the growth, production and content of phytochemical compounds of the plants. Supplementation with doses of 20 and 30 mg L-1 should be disregarded, because, even with no damage to the parameters evaluated, Zn levels in plant tissue can reach potentially toxic values for humans.

Keywords: *Beta vulgaris* L.; *Brassica oleracea* L*. var. capitata f. rubra*.; *Ocimum basilicum* L.; nutritional solution.

Introdução

O Zinco (Zn) é um elemento essencial para a saúde dos seres humanos, pois realiza funções estruturais. A deficiência nutricional de Zn afeta homens e mulheres, atingindo até crianças e causando prejuízos nas funções bioquímicas e fisiológicas, principalmente às relacionadas a imunidade, além de câncer, infertilidade e atraso no desenvolvimento infantil. Esta deficiência continua se agravando em um mundo pós pandêmico-Covid 19, no qual a desnutrição permanece como um dos principais desafios para a humanidade (CARVALHO e VASCONCELOS, 2013; VENTURA et al., 2020).

Nesse contexto, várias estratégias para a biofortificação têm surgido, incluindo estratégias de melhoramento genético, manejo e adubação. Entre estas, a adubação é a mais fácil de implementar em curto período, sendo denominada biofortificação agronômica. Para o cultivo de microverdes, a biofortificação agronômica vem se tornando uma alternativa para mitigar as deficiências nutricionais que atingem a população e tem o objetivo de aumentar o acúmulo de nutrientes nos vegetais, podendo ser realizada com aplicações de fertilizantes diretamente no solo, via solução nutritiva ou pulverização foliar. As hortaliças, de forma geral, têm grande potencial para concentrar Zn nas hastes e raízes (WHITE e BROADLEY, 2011), sendo a biofortificação uma ferramenta promissora para o incremento do seu conteúdo neste grupo de plantas.

Neste contexto, os microverdes têm ganhado notoriedade nos últimos anos devido às suas propriedades nutricionais e a boa aceitação pelos consumidores. O termo refere-se a uma categoria de produtos vegetais

específicos, com colheita realizada entre 7 e 21 dias após a germinação (XIAO et al., 2012; TREADWELL DD et al., 2020).

Os microverdes fornecem intensos sabores, cores vibrantes e qualidade nutricional. Atualmente, são comercializados em mercados e restaurantes especializados e ganharam popularidade como uma nova tendência culinária. É um produto diferenciado e sua demanda vem aumentando no Brasil. Sua produção pode ser uma opção para agricultores familiares, pelo seu alto valor agregado, necessidade de pequenas áreas e ciclo curto. Além de serem cultivados em ambientes protegidos em propriedades rurais, também são cultivados em ambiente urbano (XIAO et al., 2012; DI GIOIA e SANTAMARIA, 2015).

A adequação dos microverdes à produção agrícola familiar tem potencial, contribuindo para uma produção mais sustentável, uma vez que o cultivo tem um impacto ambiental menor quando comparado a produção de hortaliças maduras, pois estas exigem mais tempo, fertilizantes e insumos.

Entre as propriedades nutricionais mais relevantes deste grupo de plantas, destacam-se as elevadas concentrações de compostos fitoquímicos (XIAO et al., 2012; KYRIACOU et al., 2019).

Em estudos com diferentes espécies de microverdes, Xiao et al. (2012) observaram que as quantidades de vitaminas e carotenoides presentes nestas plantas são superiores quando comparadas com plantas adultas da mesma espécie. A título de exemplo, foram observados para o repolho roxo maiores valores de vitamina C, vitamina E e betacaroteno.

Os microverdes constituem uma categoria de alimentos muito promissores para a biofortificação. O emprego de sistemas de cultivo sem solo associados ao uso de uma solução nutritiva, com concentrações conhecidas de elementos minerais, incluindo microelementos como o Zn, pode facilitar e padronizar o protocolo e, ao mesmo tempo, garantir o controle da qualidade das plantas (DI GIOIA et al., 2019), que são obtidas em um curto período. Adicionalmente, a alta concentração de promotores da absorção de Zn, como o ácido L-ascórbico e o β-caroteno, característica dos microverdes (XIAO et al., 2012), contribuem para uma elevada biodisponibilidade deste elemento.

No entanto, considerando que o Zn é um micronutriente vegetal, cujo limite entre a deficiência e a toxidez é bastante estreito, definir a dose adequada a ser fornecida com vistas à biofortificação, sem causar prejuízo aos microverdes, é fundamental. Pois, em paralelo ao aumento da sua

concentração nos tecidos vegetais, a maior disponibilidade de zinco na solução nutritiva pode resultar em fitotoxidez, com efeitos negativos sobre o crescimento e a produção (Di GIOIA et al., 2019) e, possivelmente, sobre a concentração de compostos fitoquímicos importantes para a dieta e/ou que contribuem para uma elevada absorção de Zn pelo organismo humano.

Em estudo realizado por Gioia et al. (2019), o aumento da concentração de Zn na solução nutritiva até 10 mg L^{-1} elevou o teor deste no tecido vegetal, sem diminuir o crescimento e a produção dos microverdes de rúcula, repolho roxo e mostarda vermelha. Até o momento, são desconhecidos trabalhos adicionais sobre a biofortificação de microverdes com Zn, e não há referências disponíveis com respeito ao efeito que esta prática possa exercer sobre a síntese dos principais compostos fitoquímicos em microverdes.

Considerando que as respostas à biofortificação podem variar em função da espécie vegetal e das condições de cultivo, esse trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da elevação da concentração de Zn na solução nutritiva sobre o crescimento, o rendimento e a qualidade nutricional, no que se refere ao conteúdo de Zn e de compostos fitoquímicos, de microverdes de beterraba, repolho roxo e manjericão.

Material e métodos

O experimento foi conduzido durante o período de 1º a 16 de março de 2021, em uma estufa coberta com filme de polietileno, com cortinas laterais para ventilação natural, na Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)/ Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM)/ Departamento de Fitotecnia (DFT), localizada no Campus Capão do Leão, RS. Durante o período experimental foram coletados os valores máximos e mínimos de temperatura e umidade relativa do ar no interior da estufa, através de um termo-higrômetro digital. A temperatura média foi de 26,2 ºC, com média das mínimas de 18,7 ºC e das máximas de 33,6 ºC. A umidade relativa média foi de 67,4 %, com média das mínimas de 45,8 % e das máximas de 89,0%.

Três espécies de microverdes foram estudadas: beterraba shankar (*Beta vulgaris* L.), repolho roxo krishana (*Brassica oleracea* L. *var. capitata f. rubra*) e manjericão shanti (*Ocimum basilicum* L.). As sementes, provenientes da empresa Isla Sementes® e próprias para o cultivo de microverdes,

apresentavam poder germinativo de 91%, 98% e 98% e um número aproximado de sementes por grama de 90, 247 e 555 para beterraba, repolho roxo e manjericão, respectivamente.

Como recipientes de cultivo, foram utilizadas bandejas plásticas perfuradas na base, sem compartimentação, retangulares, com área de 260 cm^2 (20 cm x 13 cm), preenchidas com 300 ml de vermiculita fina, o que resultou, aproximadamente, em uma camada de substrato de 1 cm de altura.

As sementes das três espécies foram colocadas uniformemente sobre o substrato umedecido no dia 1º de março de 2021. A densidade de semeadura foi definida considerando o número de sementes por grama e o poder germinativo. O equivalente a 0,037, 0,015 e 0,006 g cm^{-2} foram usados com a finalidade de se obter a densidade de 4 sementes cm^{-2} de beterraba, repolho roxo e manjericão, respectivamente. Após a semeadura, as bandejas foram cobertas com tela sombrite 100% preta por quatro dias, para criar um ambiente escuro, propício à germinação.

Os microverdes foram cultivados em um sistema constituído por três bancadas, com as dimensões de 0,90 m x 2,50 m, subdivididas em cinco parcelas de 0,90 m x 0,50 m. As bancadas apresentavam declividade lateral de 2%, garantindo movimentação da solução nutritiva até o dreno situado no ponto de menor cota de cada parcela.

As plantas foram fertirrigadas com a solução nutritiva de Hoagland a 50%, cuja concentração padrão de Zn é de 0,15 mg L^{-1}. Cinco concentrações de Zn (0, 5, 10, 20 e 30 mg L^{-1}) foram analisadas, sendo este fornecido na forma de sulfato de zinco heptahidratado P.A. ($ZnSO_4.7H_2O$ Nuclear®). A solução nutritiva foi preparada com a seguinte concentração de macronutrientes (mmol L^{-1}): 7,6 de NO_3^-, 0,5 de $H_2PO_4^-$, 1,1 de SO_4^{2-}, 0,5 de NH_4^+, 3,0 de K^+, 2,3 de Ca^{2+} e 1,1 de Mg^{2+}; e micronutrientes (mg L^{-1}) 1,2 de Fe, 0,60 de Mn, 0,30 de B, 0,08 de Cu e 0,03 de Mo. Os macronutrientes foram adicionados à solução na forma de sais fertilizantes, como nitrato de cálcio, nitrato de potássio, sulfato de magnésio e fosfato monopotássio. Os micronutrientes, com exceção do ferro, foram adicionados na forma de produtos P.A. (“para análise”), empregando-se sulfato de manganês, sulfato de cobre, molibdato de sódio e ácido bórico. Como fonte de ferro, utilizou-se Ferro EDTA (6%) comercial. Ao final do seu preparo, a solução nutritiva apresentou condutividade elétrica de 1,0 dSm^{-1} e pH 6,0.

As soluções nutritivas, correspondentes às diferentes doses de Zn, foram

armazenadas em reservatórios (15 litros), separadamente para cada uma das parcelas das bancadas. Por meio de uma bomba de baixa potência, a solução nutritiva era impulsionada e liberada, através de um tubo de silicone de 0,60 cm de diâmetro, na lateral superior da parcela, caracterizando um sistema de subirrigação. A frequência da fertirrigação, com pulsos de dois minutos a cada uma hora durante o dia, e a cada três horas no período noturno, foi ajustada por um timer que ativava o conjunto de bombas. A solução drenada era recolhida na porção mais baixa da parcela e reconduzida para o seu respectivo reservatório, caracterizando um sistema fechado, com reutilização total da solução drenada. A reposição total das soluções foi realizada a cada dois dias, a fim de evitar variações significativas na concentração de Zn.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualisados, com 15 tratamentos (três espécies x cinco doses de Zn) e três repetições, sendo cada bloco constituído por uma bancada de cultivo, com cinco parcelas, as quais receberam duas bandejas de cada espécie de microverde.

As avaliações foram realizadas 15 dias após a semeadura, quando as três espécies apresentavam as folhas cotiledonares completamente expandidas e túrgidas e a primeira folha verdadeira em estágio inicial de desenvolvimento. Antes da colheita, a altura média dos microverdes foi obtida a partir de três medidas feitas com régua graduada, no centro e nas duas extremidades de cada uma das bandejas. Na sequência, a totalidade dos microverdes de uma bandeja de cada repetição foi colhida através de corte com tesoura na base das plantas. As plantas foram pesadas para obtenção de massa fresca, sendo logo após colocadas em estufa com ventilação forçada a 65°C, até peso constante, para obtenção da massa seca.

O material seco foi triturado em moinho tipo Whiley e determinou-se, em uma amostra de 0,5 g de tecido seco, o teor de Zn por meio de digestão nítrico perclórico e leitura em espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente, conforme métodos descritos por Silva. (2009).

Os microverdes da segunda bandeja de cada repetição foram colhidos para a determinação de compostos fitoquímicos, sendo analisados: a) ácido ascórbico: a extração foi realizada utilizando-se ácido metafosfórico 5% como solvente e 0,5 g de tecido em pó, seguida de filtração em papel filtro qualitativo e ajuste do volume da solução, sendo a determinação realizada em HPLC-DAD, conforme descrito por D'Avila (2017); b) carotenoides totais: foram pesados aproximadamente 0,05 de tecido vegetal em pó, diluído em 5 mL de

acetona 8%, seguindo de agitação em “vórtex” durante 1 minuto. A seguir, as amostras foram centrifugadas a 6,000 x g por 10 minutos, sendo em seguida separado o sobrenadante para leitura em espectrofotômetro Jenway 6705 UV/Vis, conforme descrito por COGO et al. (2011); c) compostos fenólicos totais: quantidades iguais de tecido vegetal e 80% de etanol foram colocadas em um dobrador e trituradas por 10 minutos, em seguida a amostra foi centrifugada por 20 minutos. Os sobrenadantes foram coletados e formou-se o extrato hidroalcóolico, o colorimétrico digital foi usado para determinação, segundo descrito por PINTO et al. (2016). Os dados foram representados em relação ao peso fresco (PF).

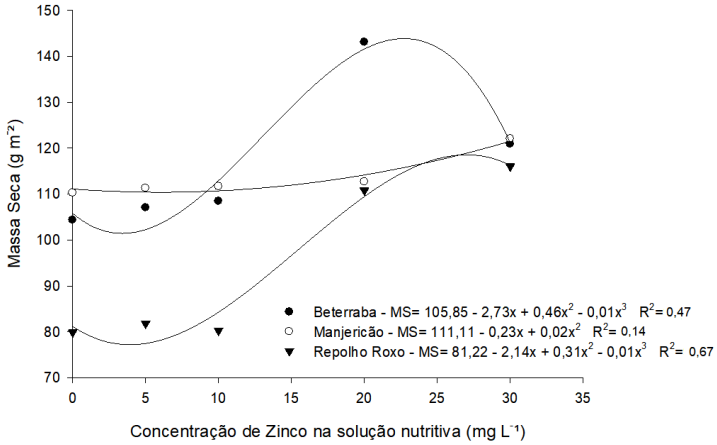
A análise de variância foi realizada a fim de determinar os efeitos individuais e a interação entre os dois fatores (dose de Zn e espécie). Os resultados das variáveis massa seca, massa fresca e teor de zinco foram submetidos à decomposição em componentes polinomiais. As médias de todas as variáveis foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. O software Sigma Plot foi empregado para as análises.

Resultados

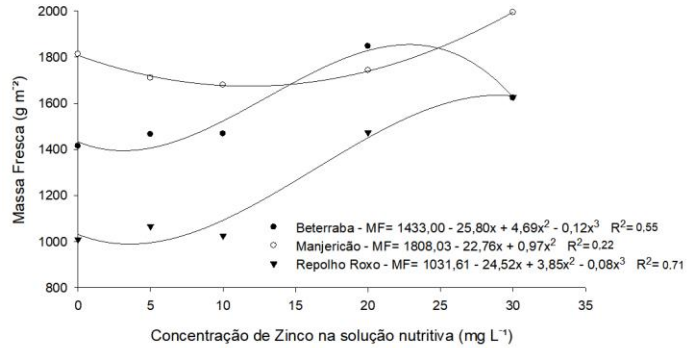
Com base na análise de regressão, observou-se que os dados de MS (Figura 1A) e de MF (Figura 1B) dos microverdes de beterraba e de repolho roxo ajustaram-se a modelos cúbicos de resposta ao aumento da concentração de Zn da solução nutritiva. Já, para o manjericão, o ajuste de dados, tanto da MS (Figura 1A) como da MF (Figura 1B), apresentou comportamento quadrático.

O ajuste polinomial de dados foi significativo para a MS e a MF somente no caso do repolho roxo; para tais variáveis, os valores de R^2 para o modelo cúbico foram 0,67 e 0,71 (Figuras 1A e 1B), respectivamente. Quanto à beterraba e ao manjericão, os coeficientes R^2 foram baixos para as duas variáveis.

(A)



(B)



(C)

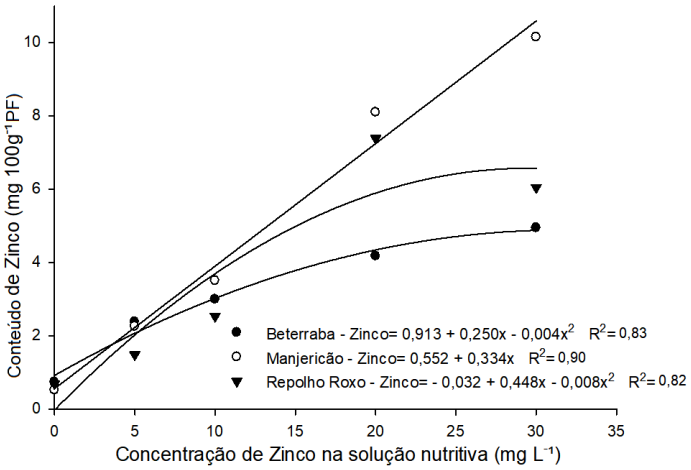


Figura 1. Relação entre a concentração de zinco (Zn) da solução nutritiva e a massa seca (A), a massa fresca (B) e o conteúdo de Zn nos tecidos (C) de microverdes de beterraba (*Beta vulgaris* L.), repolho roxo (*Brassica oleracea* L. *var. capitata f. rubra*) e manjericão (*Ocimum basilicum* L.). PF: peso fresco.

Os efeitos da concentração de Zn da solução nutritiva e da espécie sobre os parâmetros biométricos MS, MF e altura dos microverdes, com base na

ANOVA, são apresentados na Tabela 1.

A concentração de Zn da solução nutritiva não teve efeito sobre a MS e a MF dos microverdes, as quais foram afetadas somente pela espécie, não sendo observada interação significava entre os fatores estudados (concentração de Zn e espécie) para ambas as variáveis (Tabela 1). O repolho roxo apresentou menor produção de MS do que as outras duas espécies, porém, quanto à MF, igualou-se à beterraba e foi inferior ao manjericão.

A altura dos microverdes não foi afetada tanto pelo nível de Zn na solução como pela espécie (Tabela 1).

Com respeito ao acúmulo de Zn no tecido vegetal, coeficientes quadráticos foram significativos para a beterraba e o repolho roxo (Figura 1C). O bom ajuste do modelo quadrático para as duas espécies foi confirmado pelos valores de R^2 observados: 0,83 e 0,82 para beterraba e repolho, respectivamente. Já para o manjericão, o conteúdo de Zn no tecido vegetal apresentou resposta linear ao incremento da concentração de Zn da solução nutritiva. Neste caso, a qualidade do modelo linear também pode ser atestada pelo elevado valor de R^2: 0,90.

Tabela 1. Efeito da concentração de zinco da solução nutritiva sobre a massa seca, a massa fresca, a altura e o conteúdo de zinco no tecido de microverdes de beterraba (*Beta vulgaris* L.), repolho roxo (*Brassica oleracea* L. *var. capitata f. rubra*) e manjericão (*Ocimum basilicum* L.*)*.

Fatores	Massa seca ($g\ m^{-2}$)	Massa fresca ($g\ m^{-2}$)	Altura (cm)	Conteúdo de Zinco ($mg\ 100^{-1}$ PF)
Zn ($mg\ L^{-1}$)				
0	98,16^{ns}	1412,17^{ns}	6,18^{ns}	0,64 c
5	100,04	1413,97	6,27	2,04 b
10	100,13	1390,94	6,10	3,01 b
20	121,96	1687,69	6,46	6,55 a
30	119,66	1748,29	6,23	7,04 a
Espécie (E)				
Beterraba	116,77 a	1563,72 ab	6,13^{ns}	3,62^{ns}
Repolho Roxo	93,62 b	1240,38 b	6,21	3,04
Manjericão	113,59 a	1787,74 a	6,40	4,90
Valor de P				
Zn	0,20	0,46	0,75	0,0019
Espécie	0,04	0,0040	0,37	0,62
Zn x Espécie	0,32	0,24	0,20	0,0003

Os valores apresentados correspondem à média de três repetições. Médias seguidas por letras diferentes dentro de cada coluna são significativamente diferentes ($P < 0,05$) de acordo com o teste de Tukey. ns: diferenças não significativas.

Na tabela 1, pode-se verificar, também com base na ANOVA, o efeito

dos dois fatores estudados sobre o conteúdo de Zn no tecido dos microverdes. Como esperado, os maiores conteúdos de Zn foram observados para os dois níveis mais elevados de Zn na solução nutritiva (20 e 30 mg L^{-1}), sem diferenças entre as três espécies. Porém, a interação significativa detectada indica que a resposta à concentração de Zn da solução foi dependente da espécie.

Considerando a interação altamente significativa entre os fatores (concentração de Zn e espécie), o conteúdo de Zn acumulado em cada espécie em relação à dose de Zn empregada é apresentado na figura 2. A análise buscou discriminar diferenças até a dose de 10 mg L^{-1}. A figura 2 mostra de forma clara que o aumento do nível de Zn fornecido às plantas levou a uma elevação crescente do conteúdo de Zn nos tecidos das três espécies, exceto no caso do repolho roxo, para o qual o conteúdo de Zn nas plantas aumentou somente quando a dose passou para 10 mg L^{-1}. Nesta dose, o conteúdo de Zn das plantas de repolho roxo foi inferior ao da beterraba e do manjericão.

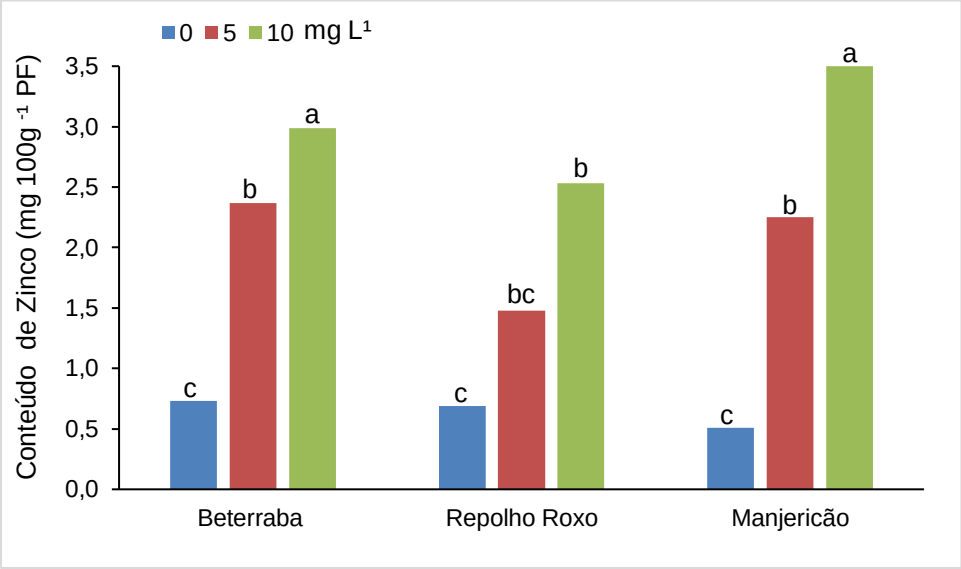


Figura 2. Conteúdo de zinco (Zn) de microverdes de beterraba (*Beta vulgaris* L.), repolho roxo (*Brassica oleracea* L. *var. capitata f. rubra*) e manjericão. (*Ocimum basilicum* L.*)* em resposta às concentrações de Zn da solução nutritiva (0, 5 e 10 mg L^{-1}). As barras verticais representam a média de três repetições. Letras distintas indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey ($P < 0,05$). PF: peso fresco.

O efeito da concentração de Zn da solução nutritiva e da espécie sobre o conteúdo de compostos fitoquímicos é mostrado na tabela 2. O nível de Zn não afetou o conteúdo dos três compostos analisados, enquanto a espécie exerceu influência sobre os conteúdos de ácido L-ascórbico, carotenoides totais e

compostos fenólicos totais. O conteúdo dos três compostos foi inferior nas plantas de manjericão. As plantas de repolho roxo apresentaram maior concentração de ácido L-ascórbico e as de beterraba foram superiores quanto ao conteúdo de compostos fenólicos. Para carotenoides totais, não foram detectadas diferenças entre estas duas espécies.

Tabela 2. Efeito da concentração de zinco (Zn) da solução nutritiva sobre o conteúdo de ácido L-ascórbico, carotenoides totais e compostos fenólicos totais de microverdes de beterraba (*Beta vulgaris* L.), repolho roxo (*Brassica oleracea* L. *var. capitata f. rubra*) e manjericão (*Ocimum basilicum* L.*).*

Fatores	Ácido L-ascórbico ($mg.100g^{-1}$ PF)	Carotenoides totais ($mg.100g^{-1}$ PF)	Compostos fenólicos totais ($mg.100g^{-1}$ PF)
Zn ($mg\ L^{-1}$)			
0	$24,8^{ns}$	$11,8^{ns}$	$277,5^{ns}$
5	27,6	11,5	273,3
10	26,6	11,8	277,5
20	24,5	11,5	274,0
30	23,1	11,6	279,5
Espécie			
Beterraba	19,0 b	14,5 a	383,3 a
Repolho Roxo	50,5 a	12,4 a	306,4 b
Manjericão	7,6 c	8,0 b	139,4 c
P valor			
Zn	0,45	0,97	0,30
Espécie	0,0001	0,0001	0,0001
Zn x Espécie	0,06	0,99	0,98

Os valores apresentados correspondem à média de três repetições. Médias seguidas por letras diferentes dentro de cada coluna são significativamente diferentes ($P < 0,05$) de acordo com o teste de Tukey. ns: diferenças não significativas.

Discussão

Os baixos valores do coeficiente R^2 (no caso da MS e da MF da beterraba e do manjericão; Figuras 1A e 1B), a ausência de interação entre os fatores (dose Zn x espécie) e de diferenças estatísticas significativas para as variáveis MS, MF e altura dos microverdes (Tabela 1), assim como para os compostos bioativos avaliados (Tabela 2), sugerem uma reduzida resposta biométrica e fitoquímica dos microverdes testados à elevação da dose de Zn da solução nutritiva.

O acúmulo de MS e a produtividade de MF (Tabela 1) dos microverdes de repolho roxo foram menores em comparação com as outras duas espécies, o que pode ser explicado pelas diferenças morfológicas, como o menor tamanho das folhas cotiledonares, que caracterizam as plântulas de brássicas.

O rendimento em peso fresco do repolho roxo no presente trabalho foi 30% inferior ao valor obtido por Di Gioia et al. (2019) em pesquisa sobre biofortificação com Zn, usando a mesma solução, no entanto, em sistema com canais de cultivo e substrato comercial próprio para microverdes. Diferença de igual magnitude foi constatada em comparação com a MF obtida por Wieth et al. (2020), para a mesma espécie em sistema de cultivo semelhante ao utilizado no presente trabalho, porém com emprego de solução nutritiva e substrato distintos. Não obstante, se encontra na faixa reportada por Murphy e Pill. (2010) para outra espécie de brassica, a rúcula. Já, a MS obtida foi cerca de 25% inferior à observada na pesquisa de Di Gioia et al. (2019) e cerca de 17% superior à reportada por Wieth et al. (2020). Com respeito à beterraba, a MF obtida se encontra na mesma faixa dos valores observados por Murphy et al. (2010). Porém, no caso do manjericão, a MF e a MS foram, aproximadamente, 80% e 47% superiores aos valores observados em pesquisa de Bulgari et al. (2017).

Corroborando os presentes resultados, em estudo similar, Di Gioia et al. (2019) relataram a ausência de efeito da dose de Zn da solução nutritiva até 20 mg L^{-1} sobre o rendimento de MF de microverdes de repolho roxo, mostarda roxa e rúcula. Resultados semelhantes foram encontrados por Ozdener e Aydin. (2010), avaliando mudas de rúcula tratadas com diferentes doses de zinco, sem nenhum efeito significativo sobre a MS e a MF. Não obstante, em contraposição, Zou et al. (2014), avaliando brotos de soja tratados com doses de ZN entre 0 e 100 mg L^{-1}, observaram um ligeiro aumento da MF na dose de 10 mg L^{-1} e um leve decréscimo na dose de 100 mg L^{-1}. Lingyun et al. (2016) relataram elevação da MF de brotos de ervilha tratados através de embebição ou pulverização com solução nutritiva contendo entre 10 e 60 mg L^{-1} de Zn em comparação com os brotos não tratados. Também em contraste com o presente estudo, Ghorbanpour et al. (2016) reportaram efeito positivo de aplicação foliar de doses de Zn acima de 10 mg L^{-1} sobre a MS de plantas adultas de manjericão. As respostas discrepantes entre os estudos podem ser devidas ao método de aplicação (pulverização foliar ou via solução nutritiva), à espécie, à fase de desenvolvimento vegetal e à variação dos limites testados das doses de Zn.

As três espécies de microverdes sob todas as doses de Zn testadas atingiram a altura adequada (Tabela 1) para realização da colheita [entre 5 e 10 cm; KYRIACOU et al. (2016)] aos 15 dias após a semeadura, sem distinção. A

altura é o parâmetro utilizados pelos produtores para definir o momento de colheita e realizar a comercialização dos microverdes. Sendo assim, em todas as doses testadas, os microverdes estavam aptos à comercialização.

A ausência de efeitos negativos das maiores doses testadas na presente pesquisa (20 e 30 mg L^{-1}) sobre os parâmetros biométricos MS, MF e altura dos microverdes (Tabela 1) se contrapõe à inferência de Di Gioia et al. (2019) de que doses mais elevadas de Zn poderiam trazer sintomas de fitotoxidez.

Os elevados valores do coeficiente R^2 (Figura 1C) e a significância estatística das diferenças entre as médias (Tabela 1) indicam um forte efeito da concentração de Zn da solução nutritiva sobre o conteúdo de Zn no tecido vegetal dos três microverdes analisados.

Em concordância com os resultados obtidos no presente trabalho, Di Gioia et al. (2019) observaram o aumento do conteúdo de Zn em microverdes de brássicas com doses variando na faixa entre 0 e 20 mg L^{-1} de Zn na solução nutritiva. No entanto, os valores do conteúdo de Zn no tecido vegetal obtidos no presente trabalho (Tabela 1) aumentaram inicialmente de forma mais acentuada e foram bastante superiores aos valores de 0,28, 0,58 e 0,79 mg 100 g^{-1} PF, reportados por Di Gioia et al. (2019), respectivamente, nas doses de 0, 5 e 10 mg L^{-1}. Já, o conteúdo de Zn observado na presente pesquisa para a dose de 20 mg L^{-1} aproximou-se do valor de 6,94 mg 100 g^{-1} PF obtido por Di Gioia et al. (2019) para a mesma dose. Respostas semelhantes foram observados também para plantas adultas de brócolis por White et al. (2018), que obtiveram elevação do conteúdo de Zn nas plantas da ordem 0,117 a 1,666 mg Zn g^{-1} MS ao avaliarem cinco concentrações crescentes de Zn, variando de 0 a 450 mg L^{-1}.

Adicionalmente, a interação altamente significativa entre os fatores concentração de Zn e espécie (Tabela 1) indicou uma resposta genotípica não detectada quando considerados todos as concentrações de Zn na análise. Uma vez que o objeto deste estudo foi a biofortificação de microverdes com adequadas quantidades de Zn para propósitos nutricionais, tendo como base o protocolo adotado no trabalho de Di Gioia et al. (2019), decidiu-se que os resultados referentes aos dois níveis mais elevados de Zn da solução nutritiva, 20 e 30 mg L^{-1}, não fossem incluídos na análise exposta na figura 2, já que o conteúdo de Zn nas plantas destes tratamentos atingiu níveis que podem ser potencialmente tóxicos para o consumo humano.

A ingestão diária de Zn recomendada pela FAO é de 3,4 a 5,6 mg para

crianças, 10,3 mg para mulheres adultas e 13,1 mg para homens adultos (FAO). Assim, considerando os conteúdos de Zn observados na presente pesquisa (Tabela 1) e a diversidade de fontes de alimentos consumidos diariamente que contribuem para o aporte de Zn ao ser humano, e, ainda, fazendo conjecturas sobre o potencial consumo diário de microverdes, é um fato óbvio que o consumo dos microverdes avaliados neste estudo pode contribuir somente com uma pequena proporção da necessidade diária de Zn requerida. Apesar destas considerações, há que se ter em conta que o acúmulo proporcionado pelas doses de 20 e 30 mg L^{-1} de Zn atingiu valores de 6,55 e 7,04 mg 100 g^{-1} PF (Tabela 1). Nestes casos, o consumo de uma pequena quantidade de microverdes combinada com outros alimentos fonte de Zn pode exceder de forma significativa os limites recomendados. Esta constatação é relevante no sentido de definir limites seguros para que a biofortificação com Zn traga benefícios sem risco de toxidez tanto para as plantas como para o ser humano

Ao excluírem-se as duas doses mais altas, diferenças significativas entre as espécies avaliadas foram observadas (Figura 2), indicando uma resposta genotípica à concentração de Zn, coincidindo com Di Gioia et al. (2019), que ao excluírem a dose mais elevada de Zn na sua análise, também constataram diferenças entre as espécies de microverdes testadas. Em tratando-se da biofortificação da beterraba e do manjericão, o ganho em conteúdo de Zn no tecido (Figura 2) foi obtido já a partir da primeira dose avaliada (5 mg L^{-1}). Já, para o repolho roxo, somente com a dose de 10 mg L^{-1}, houve um aumento significativo do conteúdo de Zn em relação à dose 0 mg L^{-1}. Desta forma, a resposta à aplicação de Zn depende, entre outros fatores, de aspectos botânicos definidos por características genéticas, conforme indicado por Pearson e Rengel. (1995), como características do tecido vegetal e do transporte via floema para drenos.

Uma contribuição importante deste estudo foi a constatação de que o aumento da dose de Zn não causou efeitos sobre o conteúdo de compostos fitoquímicos do microverdes (Tabela 2). Isso é especialmente relevante quando se trata do ácido L-ascórbico e de carotenoides totais, que são fatores que aumentam a biodisponibilidade do Zn (XIAO et al., 2012),

Por outro lado, o efeito genotípico foi altamente significativo. O repolho roxo destacou-se, pois apresentou teor de ácido L-ascórbico correspondente a 2,5 vezes o observado para a beterraba e 6,7 vezes o do manjericão. Os

valores obtidos para a beterraba e o repolho roxo encontram-se, respectivamente, próximo ao limite inferior e dentro da faixa de 20,4 a 147,0 mg.100g^{-1} PF, observada em estudo realizado por Xiao et al. (2012), no qual foram avaliadas diferentes espécies de microverdes. Apesar de que os valores observados no trabalho de Xiao et al. (2012) tenham sido consideravelmente superiores, coincidindo com os presentes resultados, entre as espécies avaliadas pelos autores, o repolho roxo também foi a que apresentou o maior conteúdo de ácido L-ascórbico.

O repolho roxo e a beterraba apresentaram conteúdo de carotenoides totais que representou, na média entre as duas espécies, 1,7 vezes o do manjericão. Mesmo em variadas concentrações (Tabela 2), as três espécies expressaram boa quantidade deste fitoquímico, considerando que os níveis dos principais carotenóides em microverdes, reportados por Xiao et al. (2012), podem variar de 0,6 a 12,1 mg.100g^{-1} PF.

Com base nos resultados de ácido L-ascórbico e carotenóides totais, entre os três microverdes estudados, pode-se inferir que o repolho roxo é a espécie cuja biofortificação com Zn seria mais eficientemente aproveitada, seguido da beterraba.

Outro achado importante, é a ausência de efeito da elevação das doses de Zn sobre o conteúdo de compostos fenólicos dos microverdes (Tabela 2). Como resultado de um eventual efeito fitotóxico das doses mais elevadas, poderia se esperar uma maior síntese destes compostos, que são indicadores de estresse (ANGELO e JORGE, 2007), o que não ocorreu. Também em relação aos compostos fenólicos, observou-se uma forte resposta genotípica. A beterraba e, em segundo lugar, o repolho roxo apresentaram valores muito superiores ao do manjericão. Esta resposta deve-se à presença de pigmentos de antocianinas em alta concentração nas duas espécies, que, quimicamente, são compostos fenólicos pertencentes ao grupo dos flavonóides (MALACRIDA e MOTTA, 2005).

Por fim, este trabalho comprovou a possibilidade de produzir microverdes de várias espécies, biofortificados com Zn, em um curto período, empregando um sistema de cultivo sem com solo de baixo custo e de simples manejo. Pela facilidade de cultivo, esta atividade, além de poder representar uma fonte de ingressos para agricultores profissionais, pode contribuir para enriquecer e diversificar a dieta de populações de baixa renda através do cultivo doméstico.

Conclusões

Através do emprego de um sistema de cultivo sem solo muito simples, a suplementação da solução nutritiva de Hoagland a 50% de concentração com 5 ou 10 mg L^{-1} de Zn possibilita o aumento no conteúdo de Zn nos tecidos de microverdes de beterraba, repolho roxo e manjericão desde o mínimo de 115% até o máximo de 586%, em relação ao conteúdo presente em microverdes produzidos com a mesma solução padrão com dose zero de Zn, sem haver redução do crescimento, rendimento de massa fresca e conteúdo de compostos fitoquímicos das plantas.

A suplementação com doses de 20 e 30 mg L^{-1} de Zn deve ser desconsiderada, pois, mesmo não havendo prejuízos aos parâmetros biométricos e fitoquímicos avaliados, os níveis de Zn no tecido vegetal podem alcançar valores potencialmente tóxicos para o ser humano.

Agradecimento

À UFPel pelo apoio institucional. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro. Ao Laboratório de Análise de Solos e Tecidos Vegetais do Departamento de Solos UFPel.

Referências Bibliográficas

Angelo, P.M., Jorge, N. 2007. Compostos fenólicos em alimentos–Uma breve revisão. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, *66*(1), 1-9.

Bulgari, R., Baldi, A., Ferrante, A., Lenzi, A. 2017. Yield and quality of basil, Swiss chard, and rocket microgreens grown in a hydroponic system. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, *45*(2), 119-129.

Carvalho, S. M., Vasconcelos, M. W. 2013. Producing more with less: Strategies and novel technologies for plant-based food biofortification. *Food Research International*, *54*(1), 961-971.

Cogo, S. L., Chaves, F. C., Schirmer, M. A., Zambiazi, R. C., Nora, L., Silva, J. A., Rombaldi, C. V. (2011). Low soil water content during growth contributes to preservation of green colour and bioactive compounds of cold-stored broccoli (*Brassica oleraceae* L.) florets. *Postharvest Biology and Technology*, *60*(2), 158-163.

D'Avila, R. F. 2017. Efeito da redução de aporte hídrico e aplicação de radiação UV-C sobre compostos relacionados à qualidade e ao metabolismo de glicosinolatos em brócolis (Brassica oleracea L. var. italica).

Di Gioia, F., Santamaria, P. 2015. Microgreens-Novel fresh and functional food to explore all the value of biodiversity. *Italy: ECO-logica srl Bari*, *118*.

Di Gioia, F., Petropoulos, S. A., Ozores-Hampton, M., Morgan, K., Rosskopf, E. N. 2019. Zinc and iron agronomic biofortification of Brassicaceae microgreens. *Agronomy*, *9*(11), 677.

Ghorbanpour, M., Asgari Lajayer, H., Hadian, J. 2016. Influence of copper and zinc on growth, metal accumulation and chemical composition of essential oils in sweet basil (Ocimum basilicum L.).*15*(59), 132-144.

Joint, F. A. O., WHO, G. 2002. Human vitamin and mineral requirements.

Kyriacou, M.C., Rouphael, Y., Di Gioia, F., Kyratzis, A., Serio, F., Renna, M., Santamaria, P. 2016. Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. *Trends in food science & technology*, *57*, 103-115.

Lingyun, Y., Jian, W., Chenggang, W., Shan, L., Shidong, Z. 2016. Effect of zinc enrichment on growth and nutritional quality in pea sprouts. *J Food Nutr Res*, *4*(2), 100-107.

Malacrida, C.R., Motta, S.D. 2005. Compostos fenólicos totais e antocianinas em suco de uva. *Food Science and Technology*, *25*(4), 659-664.

Murphy, C., Llort, F., Pill, W. 2010. Factors affecting the growth of microgreen table beet. *International journal of vegetable science*, *16*(3), 253-266.

Murphy, C., Pill, W. 2010. Cultural practices to speed the growth of microgreen arugula (roquette; Eruca vesicaria subsp. sativa). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *85*(3), 171-176.

MUTHAYYA, S. et al. The global hidden hunger indices and maps: an advocacy tool for action. **PLos One**, Cincinnati, v. 8, n. 6, p. 1-12, 2013.

Ozdener, Y., Aydin, B. K. 2010. The effect of zinc on the growth and physiological and biochemical parameters in seedlings of Eruca sativa (L.)(Rocket). *Acta Physiologiae Plantarum*, *32*(3), 469-476.

Pearson, J.N., Rengel, Z. 1995. Uptake and distribution of 65Zn and 54Mn in wheat grownat sufficient and deficient levels of Zn and Mn: I. During vegetative growth. *Journal of Experimental Botany*, *46*(7), 833-839.

Pinto, E. P., Perin, E. C., Schott, I. B., da Silva Rodrigues, R., Lucchetta, L., Manfroi, V., Rombaldi, C. V. 2016. The effect of postharvest application of UV-C radiation on the phenolic compounds of conventional and organic grapes (Vitis labrusca cv.'Concord'). *Postharvest Biology and Technology*, *120*, 84-91.

SILVA, F. C. D. S. (Ed.). 2009. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes* (Vol. 627). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de

Janeiro: Embrapa Solos.

Treadwell, D., Hochmuth, R., Landrum, L., Laughlin, W. 2020. Microgreens: A New Specialty Crop Microgreens: HS1164, rev. 9/2020. *Edis*, *2020*(5).

Ventura, D. D. F. L., Ribeiro, H., Giulio, G. M. D., Jaime, P. C., Nunes, J., Bógus, C. M., Waldman, E. A. 2020. Desafios da pandemia de COVID-19: por uma agenda brasileira de pesquisa em saúde global e sustentabilidade. *Cadernos de Saúde Pública*, *36*.

Wieth, A. R., Pinheiro, W. D., Duarte, T. D. S. 2020. Purple cabbage microgreens grown in different substrates and nutritive solution concentrations. *Revista Caatinga*, *32*, 976-985.

White, P. J., & Broadley, M. R. 2011. Physiological limits to zinc biofortification of edible crops. *Frontiers in plant science*, *2*, 80.

White, P.J., Pongrac, P., Sneddon, C.C., Thompson, J.A., Wright, G. 2018. Limits to the biofortification of leafy brassicas with zinc. *Agriculture*, *8*(3), 32.

Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y., Wang, Q. 2012. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *Journal of agricultural and Food Chemistry*, *60*(31), 7644-7651.

Zou, T., Xu, N., Hu, G., Pang, J., Xu, H. 2014. Biofortification of soybean sprouts with zinc and bioaccessibility of zinc in the sprouts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *94*(14), 3053-3060.

6 CONCLUSÕES GERAIS

Em relação à análise do efeito de substratos alternativos (fibra têxtil e juta) frente a substratos convencionais (Substrato comercial Carolina Soil®-mudas, casca de arroz carbonizada e a mistura de ambos) sobre o crescimento, a produtividade e a caracterização fitoquímica de microverdes de alface, beterraba, repolho roxo e manjericão, pode-se concluir que:

- Considerando o conjunto de espécies avaliadas, o substrato comercial Carolina Soil® mudas apresenta-se como o mais adequado do ponto de vista de conciliação de crescimento, produtividade e conteúdo de ácido L-ascórbico e de carotenóides totais;

- A fibra têxtil, para o cultivo de repolho roxo e de manjericão, assim como a casca de arroz carbonizada e a mistura desta com o substrato comercial Carolina Soil® mudas, para as quatro espécies de microverdes, apresentam-se como alternativas promissoras;

- De maneira geral, o cultivo em juta traz prejuízos ao crescimento, à produtividade e ao conteúdo de ácido L-ascórbico e de carotenóides das quatro espécies de microverdes. Porém, propicia maior conteúdo de compostos fenólicos totais nos tecidos de beterraba e repolho roxo.

Em relação à bifortificação com Zn, através da elevação da concentração de Zn na solução nutritiva (0, 5, 10, 20 e 30 mg L^{-1}), e seus efeitos sobre o crescimento, o rendimento e a qualidade nutricional, no que se refere ao conteúdo de Zn e de compostos fitoquímicos, de microverdes de beterraba, repolho roxo e manjericão,os resultados permitem concluir que:

- Através do emprego de um sistema de cultivo sem solo muito simples, a suplementação da solução nutritiva de Hoagland a 50% de concentração com 5 ou 10 mg L^{-1} de Zn possibilita o aumento no conteúdo de Zn nos tecidos de microverdes de beterraba, repolho roxo e manjericão desde o mínimo de 115% até o máximo de 586%, em relação ao conteúdo presente em microverdes produzidos com a mesma solução padrão com dose zero de Zn, sem haver redução do crescimento, rendimento de massa fresca e conteúdo de

compostos fitoquímicos das plantas;

- A suplementação com doses de 20 e 30 mg L^{-1} de Zn deve ser desconsiderada, pois, mesmo não havendo prejuízos aos parâmetros biométricos e fitoquímicos avaliados, os níveis de Zn no tecido vegetal podem alcançar valores potencialmente tóxicos para o ser humano.

Referências

AMES, B. N.; SHIGENAGA, M. K.; HAGEN, T. M. Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 90, n. 17, p. 7915-7922, 1993.

ANDRIOLO, J. L., Fisiologia das culturas protegidas. Santa Maria: UFSM. 142p 1999.

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos uma breve revisão. **Revista do Instituto Adolfo Luiz (Impresso)**, 66 (1), 01-09.

BECKMANN, M. Z. Et al. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 36, n. 1, p. 86-92, 2006.

BERGŠPICA, L. et al. Occurrence of pathogenic and potentially pathogenic bacteria in microgreens, sprouts, and sprouted seeds on retail Market in Riga, Latvia. **Foodborne pathogens and disease**, v. 17, n. 7, p. 420-428, 2020.

BONIERBALE, M.; BURGOS, G.; AMOROS, W.; SALAS, E.; SCURRAH, M.; DE HAAN, S.; ZUM FELDE T. Progress and prospects for potato biofortification: Diversity, retention, breeding, and delivery. In: IV Reunión de Biofortificación. Teresina, 2011. p. 5.

BROADLEY, M. R.; WHITE P. J. Eats roots and leaves. Can edible horticultural crops address dietary calcium, magnesium and potassium deficiencies. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 69, n. 4, p. 601-612, 2010.

BULGARI, R. et al. Yield and quality of basil, Swiss chard, and rocket microgreens grown in a hydroponic system. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 45, n. 2, p. 119-129, 2017.

CARVALHO, S. M.; VASCONCELOS, M. W. Producing more with less: Strategies and novel technologies for plant-based food biofortification. **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 961-971, 2013.

COGO, S. L. et al. Low soil water content during growth contributes to preservation of green colour and bioactive compounds of cold-stored broccoli (*Brassica oleraceae L*.) florets. **Postharvest Biology and Technology**, v. 60, n. 2, p. 158-163, 2011.

DA CUNHA, C. et al. Substratos alternativos para produção de mudas de alface e couve em sistema orgânico. **Scientia Plena**, v. 10, n. 11, 2014

D'AVILA, Roseane Farias. **Efeito da redução de aporte hídrico e aplicação de radiação UV-C sobre compostos relacionados à qualidade e ao metabolismo de glicosinolatos em brócolis (*Brassica oleracea L. var. italica*).** 2017. 108 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

DE LA FUENTE, B. et al. Evaluation of the bioaccessibility of antioxidant bioactive compounds and minerals of four genotypes of Brassicaceae microgreens. **Foods**, v. 8, n. 7, p. 250, 2019.

DI GIOIA, F.; SANTAMARIA, P. The nutritional properties of microgreens Las propiedades nutricionales de las micro-hortalizas. **1. Micro-ortaggi, agro-biodiversità e sicurezza alimentare**, p. 41, 2015.

DI GIOIA, F.; SANTAMARIA, P. Microgreens-Novel fresh and functional food to explore all the value of biodiversity. Bari: **ECO-logica srl**, 2015.

DI GIOIA, F. et al. Physicochemical, agronomical and microbiological evaluation of alternative growing media for the production of rapini (*Brassica rapa L.*) microgreens. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 4, p. 1212-1219, 2017.

DODE, L. B. et al. MICROVERDES: CULTIVO DOMÉSTICO NA PROMOÇÃO DA SAÚDE E BEM-ESTAR. **Expressa Extensão**, v. 26, n. 1, p. 172-181, 2021.

EL-NAKHEL, C. et al. Mineral and Antioxidant Attributes of Petroselinum crispum at Different Stages of Ontogeny: Microgreens vs. Baby Greens. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 857, 2021.

FRANCHI, José Guilherme. **A utilização de turfa como adsorvente de metais pesados.** 2004. 198 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica), Universidade de São Paulo, 2004.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; PEREIRA A. B. Balanço de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com pepineiro. **Bragantia**, p. 139-147, 2001.

GHOORA, M. D.; BABU, D. R.; SRIVIDYA, N. Nutrient composition, oxalate content and nutritional ranking of ten culinary microgreens. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 91, p. 103495, 2020.

GHORBANPOUR, M.; ASGARI LAJAYER, H.; HADIAN, J. Influence of copper and zinc on growth, metal accumulation and chemical composition of essential oils in sweet basil (Ocimum basilicum L.) v. 15, n. 59, p. 132-144, 2016.

HU, L. et al. Moderate ammonium: nitrate alleviates low light intensity stress in mini Chinese cabbage seedling by regulating root architecture and photosynthesis. **Scientia Horticulturae**, v. 186, p. 143-153, 2015.

IŞIK, H. et al. Generic and Shiga toxin-producing Escherichia coli (O157: H7) contamination of lettuce and radish microgreens grown in peat moss and perlite. **Food Control**, v. 111, p. 107079, 2020.

JOINT, F. A. O. et al. Human vitamin and mineral requirements. 2002.

KÄMPF, A. N.; JUNG, M. The use of carbonized rice hulles as an horticultural substrate. In**: II Symposium on Horticultural Substrates and their Analysis, XXIII IHC 294**. 1990. p. 271-284.

KOU, L. et al. Effects of pre-and postharvest calcium treatments on shelf life and postharvest quality of broccoli microgreens. **HortScience**, v. 50, n. 12, p. 1801-1808, 2015.

KOU, L. et al. Pre-harvest calcium application increases biomass and delays senescence of broccoli microgreens. **Postharvest biology and technology**, v. 87, p. 70-78, 2014.

KYRIACOU, M. et al. Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. **Trends in food science & technology**, v. 57, p. 103-115, 2016.

LINGYUN, Y. et al. Effect of zinc enrichment on growth and nutritional quality in pea sprouts. **J Food Nutr Res**, v. 4, n. 2, p. 100-107, 2016.

MALACRIDA, C. R.; MOTTA, S. Compostos fenólicos totais e antocianinas em suco de uva. **Food Science and Technology**, v. 25, n. 4, p. 659-664, 2005.

MICHELL, K. A. et al. Microgreens: Consumer sensory perception and acceptance of an emerging functional food crop. **Journal of food science**, v. 85, n. 4, p. 926-935, 2020.

MUCHJAJIB, U. et al. Evaluation of organic media alternatives for the production of microgreens in Thailand. In: **XXIX International Horticultural Congress on Horticulture**: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014): 1102. 2015, p. 157-162.

MURPHY, C.; LLORT, K. F.; PILL, W. G. Factors affecting the growth of microgreen table beet. **International journal of vegetable science**, v. 16, n. 3, p. 253-266, 2010.

MURPHY, C.; PILL, W. Cultural practices to speed the growth of microgreen arugula (roquette; Eruca vesicaria subsp. sativa). **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 85, n. 3, p. 171-176, 2010.

NOLAN, Donielle A. **Effects of seed density and other factors on the yield of microgreens grown hydroponically on burlap**. 2018. 44f. Major Project (Master of Agricultural and Life Sciences) - Faculty of the Virginia, Virginia 2018.

OZDENER, Y.; AYDIN, B. K. The effect of zinc on the growth and physiological and biochemical parameters in seedlings of Eruca sativa (L.)(Rocket). **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 32, n. 3, p. 469-476, 2010.
PARADISO, V. M. et al. Setup of an Extraction Method for the Analysis of Carotenoids in Microgreens. **Foods**, v. 9, n. 4, p. 459, 2020.

PARK, S. et al. Metabolite profiling of phenolics, anthocyanins and flavonols in cabbage (*Brassica oleracea var. capitata*). **Industrial Crops and Products**, v. 60, p. 8-14, 2014.

PEARSON, J. N.; RENGEL, Z. Uptake and distribution of 65Zn and 54Mn in wheat grownat sufficient and deficient levels of Zn and Mn: I. During vegetative growth. **Journal of Experimental Botany**, v. 46, n. 7, p. 833-839, 1995.

PEIL, R. M. N.; SIGNORINI, C. B.; PERIN, L. Diversificação e aprimoramento no cultivo hidropónico: anais de palestras e trabalhos premiados XII Encontro Brasileiro de Hidroponia e IV Simpósio Brasileiro de Hidroponia. 1 ed. Florianópolis, 2021. p. 121-142

PINTO, E. P. et al. The effect of postharvest application of UV-C radiation on the phenolic compounds of conventional and organic grapes (*Vitis labrusca cv.'Concord'*). **Postharvest Biology and Technology**, v. 120, p. 84-91, 2016.

PRZYBYSZ, A. et al. Vegetable sprouts enriched with iron: Effects on yield, ROS generation and antioxidative system. **Scientia horticulturae**, v. 203, p. 110-117, 2016.

PRZYBYSZ, A. et al. The effects of Mg enrichment of vegetable sprouts on Mg concentration, yield and ROS generation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 10, p. 3469-3476, 2016.

ROSA, J. S. D. et al. Development of a method for vitamin C analysis in food using high performance liquid chromatography and ion exclusion. **Food Science and Technology**, v. 27, n. 4, p. 837-846, 2007.

SALTZMAN, A. et al. Biofortification: Progress toward a more nourishing future. **Global Food Security**, Washington, v. 20, n. 1, p. 9–17, 2013.

SANTOS, F. L.; COSTA, E. S. LIMA, C. S. M. Diferentes substratos no desenvolvimento e na pós-colheita de microverdes de beterraba (*Beta vulgaris* L.). **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 21, n. 2, 2020.

SILVA, F. C. et al. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

SILVA, L. P. et al. Uso de substratos alternativos na produção de mudas de pimenta e pimentão. In: **Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215**. 2019. p. 104-115.

TREADWELL, Danielle et al. Microgreens: A New Specialty Crop: HS1164, rev. 9/2020. **Edis**, v. 2020, n. 5, 2020.

VENTURA, D. F. L. et al. Desafios da pandemia de COVID-19: por uma agenda brasileira de pesquisa em saúde global e sustentabilidade. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, 2020.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Physiological limits to zinc biofortification of edible crops. **Frontiers in plant science**, v. 2, p. 80, 2011.

WHITE, Philip J. et al. Limits to the biofortification of leafy brassicas with zinc. **Agriculture**, v. 8, n. 3, p. 32, 2018.

WIETH, A.R., PINHEIRO, W.D., DUARTE, T.S., SILVA, M.A.S., PEIL, R.M.N. Produção de microgreens em diferentes substratos e concentrações de solução nutritiva. **XII ENCONTRO BRASILEIRO DE HIDROPONIA IV SIMPÓSIO**

BRASILEIRO DE HIDROPONIA, 2019. p. 109.

WIETH, A. R.; PINHEIRO, W. D. DUARTE, T. S. Substratos e concentrações de nutrientes para produção de microgreens de brócolis em sistema hidropônico. **Revista Cultura Agronômica**, v. 28, n. 4, p. 422-434, 2019.

WIETH, A. R.; PINHEIRO, W. D. DUARTE, T. S. Purple cabbage microgreens grown in different substrates and nutritive solution concentrations. **Revista Caatinga**, v. 32, p. 976-985, 2020.

XIAO, Z. et al. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. **Journal of agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 31, p. 7644-7651, 2012.

XIAO, Z. et al. Microgreens of Brassicaceae: Mineral composition and content of 30 varieties. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 49, p. 87-93, 2016.

ZIELINSKA-DAWIDZIAK, M. et al. The safety of food supplemented in iron with sprouted in abiotic stress legumes seeds-heavy metal pollution. International **Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering**, v. 67, p. 23-27, 2014.

ZOU, T. et al. Biofortification of soybean sprouts with zinc and bioaccessibility of zinc in the sprouts. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 14, p. 3053-3060, 2014.

Apêndices

Apêndice 1 - Vista geral dos substratos, nas bancadas de cultivo com recirculação da solução nutritiva.

Apêndice 2 - Microverdes de alface, beterraba e repolho roxo ao atingir o ciclo estabelecido.

Apêndice 3 - Microverdes de alface, beterraba e repolho roxo na bancada de cultivo.