



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA/AGRONOMIA**

**CARIS DOS SANTOS VIANA**

**MICROVERDES DE COENTRO COM ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL:  
RENDIMENTO, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, CONCENTRAÇÃO MINERAL E  
ATRIBUTOS SENSORIAIS**

**FORTALEZA**

**2023**

CARIS DOS SANTOS VIANA

MICROVERDES DE COENTRO COM ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL: RENDIMENTO,  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, CONCENTRAÇÃO MINERAL E ATRIBUTOS  
SENSORIAIS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia/Horticultura.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Almeida Guimarães

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- V667m Viana, Caris dos Santos.  
Microverdes de coentro com iluminação artificial: Rendimento, eficiência energética, concentração mineral e Atributos sensoriais / Caris dos Santos Viana. – 2023.  
174 f.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2023.  
Orientação: Prof. Dr. Marcelo de Almeida Guimarães.
1. Coriandrum sativum . 2. Alimento funcional. 3. Ambiente controlado. I. Título.

CDD 630

---

CARIS DOS SANTOS VIANA

MICROVERDES DE COENTRO COM ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL: RENDIMENTO,  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, CONCENTRAÇÃO MINERAL E ATRIBUTOS  
SENSORIAIS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia/Horticultura.

Aprovado em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Marcelo de Almeida Guimarães (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Gabrielen de Maria Gomes Dias  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Cândida Hermínia Campos de Magalhães Bertini  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Hozano da Sousa Lemos Neto  
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

---

Prof. Dr. Pedro de Queiroz Costa Neto  
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

Aos meus filhos Francisco, Adrian e Vinicius, às minhas irmãs Cris e Cristiane, minha mãe Leonília, ao meu esposo Adalmir, pelo amor e apoio constante em minha vida. Ao meu orientador, professor Marcelo Guimarães pela confiança e incentivo para a continuação da jornada acadêmica.

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

Ao meu bom Deus por ter me dado paciência, resiliência, sabedoria, serenidade e determinação, principalmente nos momentos mais difíceis, que atravessaram essa trajetória.

À Universidade Federal do Ceará (UFC) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia (PPGAF), pela oportunidade de cursar o doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À minha mãe Leonília dos Santos por todas as orações, que alimentaram meu espírito, me fazendo seguir confiante, e pelo amor e apoio incondicional durante toda minha vida.

Às minhas queridas irmãs, Cris Viana e Cristiane Viana, por serem exemplos de força e determinação para mim e pelos conselhos e palavras de encorajamento.

Aos meus filhos, Francisco Ribeiro, Adrian Graça e Vinícius Graça pela companhia e compreensão nos momentos em que estive ausente.

Ao meu esposo, Adalmir Graça, pelo seu amor, companheirismo e apoio.

À Amanda Guimarães por sua generosidade, desde a contribuição nas avaliações nos experimentos da graduação, até o suporte e acolhimento nesta etapa de conclusão da tese.

Ao professor Marcelo Guimarães pela orientação, por todo o conhecimento compartilhado, apoio científico, paciência, incentivo, amizade e confiança. Sem o seu apoio e incentivo, eu não teria conseguido, e nem sequer teria começado.

À professora Gabrielen Dias pelos conhecimentos compartilhados e momentos de conversa e descontração.

Ao professor Pedro Queiroz, que foi o professor que recebeu a primeira turma de graduação em Ciências Agrárias e do Ambiente na Universidade Federal do Amazonas/INC, onde iniciei a jornada acadêmica, por quem tenho grande admiração.

Ao professor Hozano Lemos Neto, pelo exemplo de profissional e disponibilidade em contribuir com as pesquisas.

À professora Cândida Bertini, e todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia (PPGAF) pelos ensinamentos, partilha de conhecimento, amizade e incentivo.

Aos membros da banca examinadora, já mencionados, pela disponibilidade e correções para melhoria do trabalho.

À professora Raquel Miranda, pelos ensinamentos, questionamentos e conselhos que contribuíram para a melhoria do trabalho e meu crescimento pessoal.

Aos professores Tadeu Dias e Marcos Esmeraldo Bezerra pela contribuição na organização estatística dos experimentos.

Ao amigo Arnaldo Sales, Ewerton e servidores da Estação Agrometeorológica do Departamento de Engenharia Agrícola, pela colaboração na execução de análises.

Aos amigos Kelly Firmino, Lucimara Venial, Priscila e Nocy, do laboratório de Análise de Sementes (LAS), da UFC, pela colaboração na realização das análises e pela recepção calorosa nos momentos de descontração.

Ao professor Helon Hébano Sousa, e os técnicos Antônio José de Menezes, Maria Geórgia Melo e Crisanto Teixeira Filho, do Laboratório de nutrição mineral do Departamento de Ciências do solo da UFC, pela realização das análises de nutrientes minerais. Com imensa admiração e gratidão pelos conhecimentos compartilhados por toda equipe.

Ao professor Humberto Henrique de Carvalho, Isabelle Mary Pereira, do Laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da UFC, pela contribuição na realização das análises bioquímicas. Um agradecimento especial à querida Isa, pelo acompanhamento em todas as atividades e pelo grande orgulho da profissional que está se tornando, e por ter feito parte do início de sua vida acadêmica.

Ao professor Paulo Henrique Machado de Sousa, do Laboratório de Análise Sensorial do Instituto de Cultura e Arte da Universidade Federal do Ceará, pela colaboração na análise sensorial.

Ao engenheiro elétrico, Msc. Bruno Alves e Letícia Bessa pelas contribuições nas análises de eficiência energética.

Aos amigos da Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia: Lucimara Venial; João Alves; Bruna Medeiros Andreza Raquel; Ariana Veras; Laila Queiroz Fernanda Carla Pontes e

Ingrid Pinheiro. Um agradecimento especial aos amigos da antiga salinha do mestrado: Jhony Sousa; Flena Amarin, Leticia Bessa; Rafael Santiago, pela amizade e companheirismo.

Aos técnicos do departamento de Fitotecnia da UFC, Felipe Pereira, Cristina Gonçalves e Victor Hugo de Souza, Francisco Vieira e Robson Freitas pela colaboração e suporte administrativo que muito contribuiu para a execução de inúmeras atividades acadêmicas e pela amizade no decorrer do curso.

À querida “tia Eliza” pela companhia diária, o sorriso materno e a preocupação durante todos esses anos em que fiz parte da UFC.

Ao Núcleo de Estudos em Olericultura do Nordeste (NEON), inicialmente pela acolhida e convívio, onde muitos se tornaram grandes amigos para mim e pela ajuda na implantação e condução dos experimentos.

Aos amigos que se tornaram irmãos de coração: Luana Soares, Bruno Cordeiro, Celly Maia; Janiquelle Rabelo; Benedito Lima Neto; Ana Régia Alves; Lázaro Cassemiro; Ronaldo Oliveira, Nailson Oliveira e Walmezina Lima, pelas conversas, pelo incentivo e por momentos de descontração que tornaram a jornada mais leve.

Aos amigos Edgar de Souza Júnior, Andreza Mendonça e João Felipe, que foram minha companhia diária e de fundamental contribuição na implantação e avaliação dos experimentos, e pelos momentos de alegria compartilhados.

A todos que de alguma forma colaboraram com essa conquista.

**Agradeço.**

## RESUMO

Microverdes são vegetais colhidos de 7 a 21 dias após a semeadura (DAS), em condições de ambiente controlado, sob iluminação de diodos emissores de luz (LED). O coentro é uma olerícola cultivada como microverde, cujas condições de cultivo não bem estabelecidas. Dessa forma, objetivou-se desenvolver um protocolo de iluminação artificial que possibilite a produção de microverdes de coentro com melhores aspectos biométricos, rendimento, eficiência energética, concentração de nutrientes minerais e aceitação pelo consumidor. Para tanto foram conduzidos experimentos no laboratório de Olericultura do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará-UFC, Campus do Pici e foram mantidos em sala de crescimento com ambiente controlado, a temperatura ajustada em  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa entre 60-70%. Microverdes de coentro cultivar ‘Verdão’ (TopSeed®) foram produzidas em bandejas de polipropileno, preenchidas com substrato de pó de côco e vermiculita na proporção de 5:1 (v/v) e irrigadas por subirrigação com solução nutritiva. Em todos os experimentos foi mantido fixo o fator qualidade da luz, que consistiu de luz branca como controle e outras três proporções de luz vermelha e azul, “R” e “B”, ao longo da fita LED, sendo 3R:1B; 4R:1B e 5R:1B. Foram avaliadas a qualidade da luz e a distribuição das fitas LEDs (2 e 3 fitas LEDs) nos painéis luminosos, assim como a qualidade da luz em três diferentes momentos de exposição (desde o momento da semeadura; 2 e 4 DAS). Foram avaliadas a qualidade da luz e a intensidade luminosa gerada em diferentes distâncias entre a superfície do substrato e a fonte luminosa (30, 40 e 50 cm), três fotoperíodos: 16 horas de luz/08 horas de escuro (16/08); 12 horas de luz/12 horas de escuro (12/12) e dois ciclos de 08 horas de luz/04 horas de escuro (08/04-2x) combinadas com as mesmas qualidades da luz dos experimentos anteriores. Por fim foram realizadas avaliações biométricas, de rendimento e eficiência energética, bem como avaliações da qualidade da luz dentro das condições determinadas como mais adequadas em cada experimento conduzido. Foram realizadas análises biométricas, de rendimento, nutricionais, sensoriais e de aceitabilidade por consumidores. Os resultados mostraram que três fitas LED nos painéis luminosos melhoram a intensidade e a distribuição espacial da luz. A exposição aos 2 e 4 DAS possibilitaram maior eficiência no uso da energia e maior rendimento das microverdes. A distância de 30 cm da fonte luminosa para a superfície do substrato melhorou a distribuição espacial e aumentou a intensidade da luz e rendimento das microverdes. Os fotoperíodos 16/08 e 08/04 (2x) possibilitaram maior rendimento. Em todos os experimentos a iluminação vermelho e azul proporcionou rendimentos superiores ao da iluminação branca. A iluminação R:B, com maior proporção de luz azul proporcionou maior concentração de clorofila *a* e carotenóides. A maior concentração

de nutrientes minerais variou entre as microverdes, sendo a maior densidade de minerais nas microverdes cultivadas em iluminação R:B, que possuem as maiores porcentagens de matéria seca. Na análise sensorial, os atributos de cor, aparência, aroma, textura, sabor e aceitação global não diferiram, e as amostras foram classificadas entre “gostei” e “gostei muito”, indicando boa aceitabilidade pelos consumidores. A proporção de R5:B1, com três fitas LEDs distribuídas no painel luminoso em distância de 30 cm para superfície do substrato, com iluminação iniciando aos 4 dias após a semeadura, em fotoperíodo de 16 horas de luz contínua ou em 2 ciclos, proporciona maiores rendimentos, altas concentrações de nutrientes minerais e boa aceitação pelo consumidor. O cultivo de microverdes de coentro sob luz branca possibilita maior rendimento por quantidade de energia de entrada, sendo uma forma de reduzir custos na sua produção.

**Palavras-chave:** *Coriandrum sativum*; alimento funcional; diodos emissores de luz; qualidade da luz; intensidade da luz; ambiente controlado.

## ABSTRACT

Microgreens are vegetables harvested from 7 to 21 days after sowing (DAS), in controlled environment conditions, under light emitting diode (LED) lighting. Coriander is a vegetable cultivated as a microgreen, whose cultivation conditions are not well established. Thus, the objective was to develop an artificial lighting protocol that allows the production of coriander microgreens with better biometric aspects, yield, energy efficiency, concentration of mineral nutrients and consumer acceptance. For that, experiments were carried out in the laboratory of Olericulture of the Department of Phytotechnics of the Federal University of Ceará-UFC, Campus do Pici and were maintained in a growth room with a controlled environment, the temperature set at  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  and relative humidity between 60- 70%. Microgreens of coriander cultivar 'Verdão' (TopSeed®) were produced in polypropylene trays, filled with coconut powder substrate and vermiculite in the proportion of 5:1 (v/v) and irrigated by sub-irrigation with nutrient solution. In all experiments, the light quality factor was kept fixed, which consisted of white light as a control and three other proportions of red and blue light, , “R” and “B”, along the LED strip, being 3R:1B; 4R:1B and 5R:1B. The quality of light and the distribution of LED strips (2 and 3 LED strips) on the luminous panels were evaluated, as well as the quality of light at three different exposure times (from the moment of sowing; 2 and 4 DAS). We evaluated the quality of light and the luminous intensity generated at different distances between the surface of the substrate and the light source (30, 40 and 50 cm), three photoperiods: 16 hours of light/08 hours of dark (08/16); 12 hours light/12 hours dark (12/12) and two cycles of 8 hours light/4 hours dark (04/08-2x) combined with the same light qualities as in previous experiments. Finally, biometric, performance and energy efficiency evaluations were carried out, as well as evaluations of the quality of light within the conditions determined as the most appropriate in each experiment conducted. Biometric, yield, nutritional, sensory and consumer acceptability analyzes were carried out. The results showed that three LED strips on the light panels improved the intensity and spatial distribution of light. Exposure to 2 and 4 DAS enabled greater efficiency in the use of energy and greater yield of microgreens. The distance of 30 cm from the light source to the surface of the substrate improved the spatial distribution and increased the light intensity and yield of the microgreens. Photoperiods 08/16 and 04/08 (2x) allowed higher yield. In all experiments, red and blue lighting provided higher yields than white lighting. The R:B lighting, with a higher proportion of blue light, provided a higher concentration of chlorophyll a and carotenoids. The highest concentration of mineral nutrients varied among the microgreens, with the highest mineral density being in the

microgreens grown under R:B lighting, which had the highest percentages of dry matter. In the sensory analysis, the attributes of color, appearance, aroma, texture, flavor and global acceptance did not differ, and the samples were classified between “liked” and “liked a lot”, indicating good acceptability by consumers. The R5:B1 ratio, with three LED strips distributed on the luminous panel at a distance of 30 cm from the surface of the substrate, with lighting starting 4 days after sowing, in a photoperiod of 16 hours of continuous light or in 2 cycles, provides greater yields, high concentrations of mineral nutrients and good consumer acceptance. The cultivation of coriander microgreens under white light allows a higher yield per amount of input energy, being a way to reduce costs in its production.

**Keywords:** *Coriandrum sativum*; functional food; light emitting diodes; light quality; light intensity; controlled environment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo ilustrativo das condições experimentais .....	42
Quadro 1 – Intensidade média, máxima e mínima, e uniformidade (%) da luz nos painéis luminosos.....	46
Figura 2 – Distribuição espacial da intensidade nos painéis luminosos .....	47
Figura 3 – Exemplo ilustrativo das condições experimentais.....	65
Quadro 2 – Intensidade média, máxima e mínima, e uniformidade da luz .....	66
Figura 4 – Microverdes de coentro aos 8 dias após a semeadura, produzidas em diferentes qualidades de luz e períodos de exposição.....	73
Figura 5 – Exemplo ilustrativo das condições experimentais.....	85
Quadro 3 – Intensidade média, máxima e mínima, e uniformidade da luz .....	89
Figura 6 – Distribuição espacial da intensidade nos painéis luminosos medidos em plano horizontal à uma distância de 30, 40 e 50 cm da fonte luminosa para a superfície do substrato nas bandeja.....	91
Figura 7 – Microverdes de coentro aos 14 dias após a semeadura, produzidas em diferentes qualidades de luz e distâncias para fonte luminosa.....	98
Figura 8 – Exemplo ilustrativo das condições experimentais.....	106
Quadro 4 – Intensidade média, máxima e mínima da luz nos painéis luminosos.....	108
Quadro 5 – Integral de luz diária nos diferentes fotoperíodos e qualidades da luz.....	115
Figura 9 – Procedimentos metodológicos para quantificação de Nitrogênio em microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz.....	130
Figura 10 – Procedimentos metodológicos para quantificação de minerais em microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz.....	131
Figura 11 – Concentrações de pigmentos fotossintéticos em cotilédones de microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz.....	137

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Análise de variância para características biométricas, rendimento e eficiência de uso da energia para microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades de luz e duas quantidades de fitas LEDs.....	48
Tabela 2	– Efeito isolado para para características biométricas, rendimento e eficiência de uso da energia para microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades de luz e duas quantidades de fitas LEDs.....	49
Tabela 3	– Análise de variância para características biométricas, rendimento e eficiência de uso da energia e da água para microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades de luz e períodos de exposição.....	69
Tabela 4	– Efeito isolado para características biométricas, rendimento e eficiência de uso da energia e da água para microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades de luz e períodos de exposição.....	70
Tabela 5	– Desdobramentos das parcelas e subparcelas para características biométricas, rendimento e eficiência de uso da energia e da água para microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades de luz e períodos de exposição.....	71
Tabela 6	– Análise de variância para características biométricas e rendimento para microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades de luz e e distâncias para fonte luminosa.....	92
Tabela 7	– Efeito isolado para características biométricas e rendimento para microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades de luz e e distâncias para fonte luminosa.....	93
Tabela 8	– Desdobramentos das parcelas e subparcelas para características biométricas e rendimento para microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades de luz e e distâncias para fonte luminosa.....	94
Tabela 9	– Análise de variância para características biométricas e rendimento para microverdes de coentro produzidas em diferentes fotoperíodos e qualidades de luz.....	111

Tabela 10 – Efeito isolado para características biométricas e rendimento para microverdes de coentro produzidas em diferentes fotoperíodos e qualidades de luz.....	112
Tabela 11 – Desdobramentos das parcelas e subparcelas para características biométricas e rendimento para microverdes de coentro produzidas em diferentes fotoperíodos e qualidades de luz.....	113
Tabela 12 – Análise de variância para avaliações de eficiência de uso da energia para microverdes de coentro produzidas em diferentes fotoperíodos e qualidades de luz.....	116
Tabela 13 – Efeito isolado para avaliações de eficiência de uso da energia para microverdes de coentro produzidas em diferentes fotoperíodos e qualidades da luz.....	116
Tabela 14 – Análise de variância para características biométricas e rendimento de microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz.....	135
Tabela 15 – Médias das características biométricas e rendimento de microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz.....	136
Tabela 16 – Análise de variância para concentração de nutrientes minerais na parte aérea e fator de translocação em microverdes de coentro e produzidas em diferentes qualidades da luz.....	138
Tabela 17 – Médias das concentrações para concentração de nutrientes minerais na parte aérea e fator de translocação em microverdes de coentro e produzidas em diferentes qualidades da luz.....	139
Tabela 18 – Análise de variância para os atributos sensoriais de microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz.....	143
Tabela 19 – Frequência dos termos CATA usados pelos provadores para descrever as amostras de microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz e resultados do teste Cochran Q para comparação entre as amostras..	144

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	17
2	<b>CAPÍTULO 1 – MICROVERDES: REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	19
2.1	<b>Microverdes: características gerais.....</b>	19
2.2	<b>Coentro como microverdes.....</b>	20
2.3	<b>Condições gerais para o cultivo de microverdes.....</b>	21
2.4	<b>Sistemas de iluminação artificial para cultivo de microverdes.....</b>	21
2.4.1	<i>Qualidade e intensidade da luz no crescimento e rendimento de microverdes</i>	24
2.4.2	<i>Qualidade e intensidade da luz nos aspectos nutricionais de microverdes.....</i>	25
2.5	<b>Fotoperíodo e início da exposição a luz na produção de microverdes.....</b>	27
2.6	<b>Aspectos sensoriais e aceitação pelos consumidores.....</b>	27
3	<b>CAPÍTULO 2 – A QUALIDADE E A DISTRIBUIÇÃO DA LUZ AFETAM A PRODUÇÃO DE MICROVERDES DE COENTRO.....</b>	38
3.1	<b>Introdução .....</b>	40
3.2	<b>Material e métodos.....</b>	42
3.2.1	<i>Condições de crescimento e delineamento experimental.....</i>	42
3.2.2	<i>Avaliações de uniformidade e distribuição espacial da luz.....</i>	44
3.2.3	<i>Avaliações biométricas, rendimento e eficiência de uso da energia.....</i>	44
3.2.4	<i>Análise estatística .....</i>	45
3.3	<b>Resultados e discussão.....</b>	46
3.3.1	<i>Descrição da uniformidade e distribuição espacial da luz.....</i>	46
3.3.2	<i>Características biométricas, rendimento e eficiência de uso da energia.....</i>	48
3.4	<b>Conclusão.....</b>	55
4	<b>CAPÍTULO 3 – EXPOSIÇÃO TARDIA A LUMINOSIDADE FAVORECE A PRODUÇÃO DE MICROVERDES DE COENTRO SOB DIFERENTES QUALIDADES DA LUZ.....</b>	62
4.1	<b>Introdução .....</b>	64
4.2	<b>Material e métodos.....</b>	65
4.2.1	<i>Condições de crescimento e delineamento experimental.....</i>	65
4.2.2	<i>Avaliações biométricas e rendimento.....</i>	67
4.2.3	<i>Avaliações de eficiência de uso da energia e da água.....</i>	68
4.2.4	<i>Análise estatística .....</i>	69

4.3	Resultados e discussão.....	69
4.4	Conclusão.....	77
5	<b>CAPÍTULO 4 – QUALIDADE E INTENSIDADE LUMINOSA AFETAM A PRODUÇÃO EM MICROVERDES DE COENTRO.....</b>	<b>82</b>
5.1	Introdução .....	84
5.2	Material e métodos.....	85
5.2.1	<i>Condições de crescimento e delineamento experimental.....</i>	<i>86</i>
5.2.2	<i>Avaliações de uniformidade e distribuição espacial da luz.....</i>	<i>87</i>
5.2.3	<i>Avaliações biométricas e rendimento.....</i>	<i>87</i>
5.2.4	<i>Análise estatística .....</i>	<i>88</i>
5.3	Resultados e discussão.....	89
5.3.1	<i>Avaliações de intensidade da luz.....</i>	<i>89</i>
5.3.2	<i>Avaliações biométricas e rendimento.....</i>	<i>92</i>
5.4	Conclusão.....	98
6	<b>CAPÍTULO 5 – FOTOPERÍODO E QUALIDADE DA LUZ INFLUENCIAM A PRODUÇÃO E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO CULTIVO DE MICROVERDES DE COENTRO.....</b>	<b>103</b>
6.1	Introdução .....	105
6.2	Material e métodos.....	106
6.2.1	<i>Condições de crescimento e delineamento experimental.....</i>	<i>106</i>
6.2.2	<i>Avaliações biométricas e de rendimento.....</i>	<i>108</i>
6.2.3	<i>Avaliações de eficiência energética.....</i>	<i>109</i>
6.2.4	<i>Análise estatística .....</i>	<i>110</i>
6.3	Resultados e discussão.....	111
6.3.1	<i>Avaliações biométricas e de rendimento .....</i>	<i>111</i>
6.3.2	<i>Avaliações de eficiência energética .....</i>	<i>115</i>
6.4	Conclusão.....	118
7	<b>CAPÍTULO 5 – A QUALIDADE DA LUZ NO RENDIMENTO, CONCENTRAÇÃO MINERAL E ACEITAÇÃO PELO CONSUMIDOR DE MICROVERDES DE COENTRO.....</b>	<b>123</b>
7.1	Introdução .....	125
7.2	Material e métodos.....	126

7.2.1	<i>Condições de crescimento e delineamento experimental</i> .....	126
7.2.2	<i>Avaliações biométricas e de rendimento</i> .....	127
7.2.3	<i>Avaliações de pigmentos fotossintéticos</i> .....	128
7.2.4	<i>Análise de nutrientes minerais e fatores de bioconcentração e translocação</i> ..	128
7.2.4.1	<i>Determinação de Nitrogênio</i> .....	129
7.2.4.1	<i>Determinação de P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn Zn e Cu</i> .....	130
7.2.5	<i>Análise sensorial e aceitação do consumidor</i> .....	133
7.2.6	<i>Análise estatística</i> .....	133
7.3	<b>Resultados e discussão</b> .....	135
7.3.1	<i>Avaliações biométricas e rendimento</i> .....	135
7.3.2	<i>Avaliações de pigmentos fotossintéticos</i> .....	136
7.3.3	<i>Análise de nutrientes minerais e fatores de bioconcentração e translocação</i> ..	138
7.3.3.1	<i>Metodologias de análises em microverdes</i> .....	141
7.3.3.1.1	<i>Determinação fotométrica de chama para Na e K</i> .....	141
7.3.3.1.2	<i>Determinação fotocolorimétrica de P</i> .....	142
7.3.3.1.3	<i>Determinação espectrofotométrica de absorção atômica</i> .....	142
7.3.4	<i>Análise sensorial e aceitação do consumidor</i> .....	143
7.4	<b>Conclusão</b> .....	145
8	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	152
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	154

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

As microverdes constituem novos ingredientes gastronômicos que combinam qualidades visuais, cinestésicas e bioativas (KYRIACOU *et al.*, 2021). São tenras, produzidas a partir de sementes de diferentes espécies, sendo colhidas para consumo entre 7 e 21 dias após a semeadura, quando os cotilédones estão totalmente desenvolvidos, e com ou sem as primeiras folhas (ZANZINI *et al.*, 2020; SHIBAEVA *et al.*, 2022).

O consumo de microverdes aumentou nos últimos anos devido às suas várias cores, sabores e texturas (KATSENIOS *et al.*, 2021; DU; XIAO; LUO, 2022), atraindo consumidores em todo o mundo. De forma geral, são utilizadas em saladas, guarnições e em grande variedade de pratos culinários (CHEN *et al.*, 2020).

Outro aspecto positivo, além dos citados anteriormente, está relacionado aos benefícios nutricionais (LIU *et al.*, 2022; PUCCINELI *et al.*, 2022). Em sua composição encontram-se proteínas, glucosinolatos, minerais (macro e microelementos) e moléculas bioativas como polifenóis, carotenoides, vitaminas, tocoferóis e outros compostos antioxidantes que participam da defesa de nosso organismo (CRAVER *et al.*, 2017; PENNISI *et al.*, 2019; NAZNIN *et al.*, 2019; SONG *et al.*, 2020; KATHI *et al.*, 2022; VAŠTAKAITĖ-KAIRIENĖ *et al.*, 2022).

Uma espécie olerícola que é amplamente conhecida, e é utilizada como microverde, é o coentro (*Coriandrum sativum*) (XIAO *et al.*, 2012). Essa planta apresenta rápido crescimento (KYRIACOU *et al.*, 2020), altas concentrações de compostos fenólicos, terpenos, ácido ascórbico, carotenoides, filoquinona, tocoferóis (XIAO *et al.*, 2012; CHOE *et al.*, 2018; ORUNA-CONCHA *et al.*, 2018.) e alta aceitabilidade pelo consumidor (CARACCILOLO *et al.*, 2020), no entanto, apesar dos estudos existentes, há falta de padronização de sua forma de cultivo como microverde.

A produção de microverdes ocorre principalmente em ambiente fechado sob condição controlada, utilizando como fonte luminosa a tecnologia de diodos emissores de luz (LED), que permitem a modulação da intensidade e a composição do espectro da luz, o que proporciona a condição ideal de iluminação para diferentes espécies (BULGARI *et al.*, 2021; MORARU *et al.*, 2022). Resultados de pesquisas tem indicado que microverdes respondem a diferentes intensidades luminosas e comprimentos de onda proporcionados pela iluminação LED (SOLANO *et al.*, 2020; ORLANDO *et al.*, 2022).

A luz promove a fotomorfogênese, regulando muitos aspectos do desenvolvimento e crescimento das plantas, cruciais para a qualidade das microverdes (BRAZAITYTĖ *et al.*, 2021; KHARSHIING *et al.*, 2022). Os cotilédones expandem, há o desenvolvimento de cloroplastos, possibilitando a fotossíntese e a obtenção da autotrofia nas microverdes em que

há folhas presentes e/ou cotilédones fotossintetizantes (PARADISO; PROIETTI, 2021). A luz também influencia na absorção de nutrientes e biossíntese de metabólitos nessas plantas, sendo estes diretamente relacionados ao seu valor nutricional (ZHANG *et al.*, 2020; TURNER *et al.*, 2020).

Além da importância em características agronômicas e fisiológicas que aumentam o rendimento e a qualidade das microverdes, a iluminação artificial também é o principal impulsionador do uso de energia neste sistema de cultivo (GÓMEZ; IZZO, 2018). Uma vez que o cultivo em ambiente fechado possibilita uma produção agrícola durante todo o ano, técnicas de produção mais eficientes (mais ganho de biomassa por unidade de uso de energia) são necessárias e importantes para alcançar um desenvolvimento sustentável (SALAVOR; JAYALATH *et al.*, 2021).

Baseado no exposto, o objetivo foi desenvolver um protocolo de iluminação artificial que possibilite a produção de microverdes de coentro com melhores aspectos biométricos, rendimento, eficiência energética, nutricionais, e aceitação pelo consumidor.

## 2 CAPÍTULO 1 – MICROVERDES: REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Microverdes: características gerais

As microverdes tem importância econômica. Segundo o Relatório Global de Pesquisa de Mercado de Microverdes (2022), o mercado global de microverdes rendeu US\$ 1.445 milhões em 2021 e deverá crescer anualmente, atingindo US\$ 17.039,744 milhões em 2025 (PARASCHIVU *et al.*, 2021).

Apesar do destaque recente, o conceito de microverdes surgiu no final da década de 1980 em São Francisco-CA, nos Estados Unidos, como ingrediente de alto valor para restaurantes sofisticados e, desde então, vem ganhando popularidade mundial (KYRIACOU *et al.*, 2017; ORLANDO *et al.*, 2022).

As microverdes são colhidas cortando-se acima da região do coleto (ou colo, porção da planta localizada na transição entre a raiz e seu caule) (ZANZINI *et al.*, 2020; SHIBAEVA *et al.*, 2022), tendo de 3 a 9 cm de altura e com os cotilédones expandidos presentes. Sua porção comestível é constituída pelo hipocótilo, cotilédones e, frequentemente, pelas primeiras folhas, em alguns casos, os tegumentos das sementes permanecem aderidos aos cotilédones (DI GOIA; SANTAMARIA, 2015).

Seguindo as práticas comerciais, essas plantas são colhidas preferencialmente após o surgimento das primeiras folhas (JONES-BAUMGARDT; LLEWELLYN; ZHENG, 2020), o que as diferenciam dos brotos, que são caracterizados como sementes germinadas sem a presença de folhas e na ausência de luz (DI BELLA *et al.*, 2020).

Agroeconomicamente, a produção de microverdes tem como vantagens o ciclo de cultivo curto, produção durante todo o ano, alto potencial de lucratividade, pode ser cultivado em ambiente interno com condições totalmente controladas ou externo sendo parcialmente controlado, com suplementação de luz (KYRIACOU *et al.*, 2020; MORARU *et al.*, 2022).

Do ponto de vista nutricional, essas plantas possuem elevados teores de antioxidantes e outros compostos promotores de saúde, razão pela qual começaram a ser apreciadas, também, como alimentos funcionais (LENZI *et al.*, 2019; ZHANG *et al.*, 2020). Do ponto de vista sensorial, as microverdes são atrativas, possuem textura macia e sabor intenso, sendo bem aceitas para o consumo e para decoração de pratos (CARACCILO *et al.*, 2020).

Espécies pertencentes à família Brassicaceae (EBERT, 2022), são amplamente utilizadas para a produção de microverdes devido a sua alta taxa de germinação, rápido crescimento e características sensoriais como cores intensas (XIAO *et al.*, 2012; YING *et al.*, 2020). Outras famílias e grupos de plantas também são utilizadas para a produção de microverdes como Amaranthaceae, Amaryllidaceae, Apiaceae, Asteraceae, Cucurbitaceae,

cereais (aveia, trigo, milho, cevada e arroz), leguminosas (grão de bico, alfafa, feijão, fenogregó, favas, lentilhas, ervilhas e trevo), sementes oleaginosas (girassol) e até especiarias (linho) e várias espécies aromáticas (manjerição, cebolinha, coentro e cominho) (DI GOIA; SANTAMARIA, 2015).

Na escolha das espécies a serem cultivadas como microverdes, o potencial nutricional, econômico e agrônômico, são destacados como principais (TURNER *et al.*, 2020). Do ponto de vista agrônômico e comercial, a escolha das espécies também deve estar associada à disponibilidade de sementes em quantidade e qualidade, ou seja, com germinação elevada, homogênea e que seja de baixo custo, já que esse tipo de cultivo exige uma grande quantidade de sementes (DI GOIA; SANTAMARIA, 2015). Um bom exemplo de espécie olerícola com grande volume de produção de sementes, e que pode ser cultivada como microverde é o coentro (*Coriandrum sativum*) (LAL *et al.*, 2014; CARACCILO *et al.*, 2020).

## 2.2 Coentro como microverdes

O coentro é uma olerícola anual, da família Apiaceae, cujas sementes têm grande valor e importância comercial, é largamente cultivada no Brasil, nas regiões Norte e Nordeste, com grande volume de produção de sementes (COSTA *et al.*, 2021). A cultivar Verdão é a mais difundida e conhecida no Brasil, sendo classificada como precoce, vigorosa, com folhas de coloração verde-escura, alta rusticidade e elevada resistência às doenças de folhagens (SILVA *et al.*, 2016). Seus frutos/sementes podem ser obtidos de plantios locais e na agricultura familiar, sendo possível a realização de até três cultivos, semente a semente, durante o ano, o que possibilita a produção de um grande volume de sementes (MEDEIROS *et al.*, 2009). A produção global de sementes é estimada em cerca de 600.000 toneladas ano<sup>-1</sup>, também há a produção de sementes em hortas domésticas em pequena escala, o que não é incluído nas estatísticas oficiais (LAL *et al.*, 2014).

Além da quantidade de sementes, a coloração do coentro, importante aspecto referente à sua aparência, bem como o odor, a textura e o sabor, são importantes componentes das características sensoriais que influenciam a aceitabilidade pelos consumidores de microverdes (TAN *et al.*, 2020). Em pesquisa a qual avaliou-se a preferência de 12 variedades e espécies de microverdes, o coentro pontuou no nível mais alto de aceitabilidade com baixa acidez e amargor, o que pode estar associado às menores concentrações de compostos fenólicos se comparados às outras espécies e variedades estudadas (CARACCILO *et al.*, 2020).

### 2.3 Condições gerais para o cultivo de microverdes

Algumas informações como temperatura e umidade estão mais próximas de serem padronizadas por não variarem tanto em relação à média, ficando a temperatura fixa em, aproximadamente, 20 °C e a umidade média em 70% (AMPIM *et al.*, 2020; KAMAL *et al.*, 2020; BANTIS *et al.*, 2021; BRAZAITYTĖ *et al.*, 2021; ORLANDO *et al.*, 2022).

Entre os meios de cultivo comumente utilizados para produzir microverdes, os meios a base de turfa têm sido os mais frequentes (SAMUOLIENE *et al.*, 2019; CARACCILO *et al.*, 2020; KAMAL *et al.*, 2020), sendo seguidos da fibra de côco (XIAO, 2012; JONES-BAUMGARDT *et al.*, 2020; YING *et al.*, 2020; ZANZINI *et al.*, 2020).

Dentre as soluções nutritivas usadas para irrigar as plantas, a formulação proposta por Hoagland e Arnon (1950) é a mais utilizada (BANTIS *et al.*, 2021; BRAZAITYTĖ *et al.*, 2021), porém, existe uma variação na força iônica em uso nas soluções, sendo as mais utilizadas em  $\frac{1}{4}$  de força (GEROVAC *et al.*, 2016; CARACCILO *et al.*, 2020; KYRIACOU *et al.*, 2020) ou  $\frac{1}{2}$  de força (ORLANDO *et al.*, 2022).

No ambiente controlado para o cultivo de microverdes, a temperatura, a umidade e a luz são os principais influenciadores da qualidade dos vegetais, sendo a iluminação artificial o fator mais importante durante o crescimento das plantas, já que não é usado apenas como fonte de energia para a fotossíntese e a obtenção da autotrofia, mas, como sinal para uma infinidade de respostas fisiológicas (PARADISO; PROIETTI, 2021).

### 2.4 Sistemas de iluminação artificial para cultivo de microverdes

As principais fontes de luz para a produção de microverdes são as artificiais, incluindo lâmpadas de sódio de alta pressão (HPSs), lâmpadas fluorescentes (FLs) e diodos emissores de luz (LEDs). Os LEDs possuem propriedades que são altamente adequadas para a horticultura, incluindo baixas emissões de calor radiante, altas emissões de luz monocromática, eficiência de fótons e longa expectativa de vida útil (ZHANG *et al.*, 2020). Os LEDs são semicondutores de estado sólido e geram luz por meio da eletroluminescência e, portanto, são fundamentalmente diferentes de outras lâmpadas usadas para o cultivo de plantas, sendo consideradas a primeira fonte adequada para controlar a composição espectral da luz e regular a intensidade necessária (PARADISO *et al.*, 2021).

A América do Norte e a Europa foram as primeiras regiões a fabricar os LEDs para utilização em horticultura e atualmente dominam 70% do mercado de fabricação mundial, dentre os 301 fabricantes de sistemas de iluminação LED distribuídos mundialmente. Na

América Latina encontram-se apenas 5 empresas, das quais apenas duas delas localizam-se no Brasil, no estado de São Paulo (PAUCEK *et al.*, 2020).

Quanto aos modelos, existem 1.473 modelos de luminárias LED hortícolas que podem ser organizadas em quatro categorias diferentes de acordo com a aparência externa: LEDs arredondados, LEDs lineares, LEDs de painel e outros diversificados. Porém, a categoria de sistema de iluminação LED mais importante para o cultivo de plantas, representando 71% do total é a iluminação linear (PAUCEK *et al.*, 2020), dentre elas, as representadas pelas fitas de LED, que são vendidas em rolos de 5 m e, cujos painéis, necessitam ser montados para garantir a iluminação de toda a superfície, tornando esta pesquisa interessante, uma vez que as fitas de LEDs utilizadas podem ser facilmente encontradas no mercado mundial, em sites de venda.

Além da importância do conhecimento das características da iluminação, é necessário que sejam relacionadas com as respostas de produção das plantas, bem como os benefícios econômicos de práticas de produção potencialmente mais baratas (SHELFORD; BOTH, 2021). Nesse contexto, é muito importante identificar os requisitos ideais ou mínimos de luz para as culturas, buscando aumentar o rendimento e a qualidade das microverdes (COCETTA *et al.*, 2017).

A luz emitida pelos LEDs pode influenciar o crescimento e desenvolvimento das plantas por meio da qualidade, quantidade, duração e direção uniforme que chega a essas plantas (TURNER *et al.*, 2020). A qualidade da luz é determinada pelo comprimento de onda que incide nas plantas. Em um espectro eletromagnético, que representa as características de onda da luz, uma onda é caracterizada pela distância entre picos de ondas sucessivas cujos valores são representados em nanômetros (nm), considerado como a unidade de medida que equivale a um bilionésimo de metro (TAIZ *et al.*, 2017). A região visível se estende de cerca de 400 nm na cor violeta até cerca de 700 nm na cor vermelha, esta faixa de 400 a 700 nm, é a região utilizada no processo de fotossíntese, sendo por isso chamada de região de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) (SANTOSO; HADI; AGRICIA, 2020).

A qualidade da luz é um importante fator que regula a fotomorfogênese e as características fotossintéticas da planta (GEROVAC *et al.*, 2016). Durante o processo de crescimento controlado pela luz, os fotorreceptores modulam genes nucleares responsivos a esta, percebendo e interpretando a luz incidente e transduzindo sinais, o que faz com que sua qualidade afete muitos aspectos do crescimento, morfologia, cor, sabor e nutrição da planta (LI *et al.*, 2020). A intensidade está relacionada à frequência e comprimentos específicos com que os fótons chegam às plantas, sendo que os fótons biologicamente ativos devem ter energia suficientemente para excitar os fotorreceptores (KUSUMA; PATTISON; BUGBEE, 2021).

Existem alguns fotorreceptores que já foram identificados, porém os mais conhecidos são os fitocromos que absorvem no vermelho de 600 a 700 nm e no vermelho distante de 700 a 750 nm, os criptocromos e as fototropinas que absorvem a luz azul de 390 a 500 nm, há ainda os receptores de luz ultravioleta e a clorofila [absorve fortemente nas regiões do azul (430 nm) e do vermelho (660 nm)] (KUSUMA; PATTISON; BUGBEE, 2021; APPOLLONI *et al.*, 2022). Em geral, os comprimentos de onda na faixa da luz vermelha (“R” do inglês “Red”) e os comprimentos de onda na faixa da luz azul (“B” do inglês “Blue”) são geralmente reconhecidos como as regiões de luz mais importantes e necessárias para o desenvolvimento e crescimento das plantas (CHEN *et al.*, 2017). Na biologia vegetal, os espectros são tradicionalmente separados nas seguintes categorias: fótons azuis, vermelhos, vermelho distante, ultravioleta e verdes (JONES-BAUMGARDT *et al.*, 2020).

Quando comparados em relação a eficiência máxima teórica que possuem, ou seja, quando toda a energia de entrada é convertida em fótons fotossintéticos, os LEDs azuis apresentam 93% de eficiência, os vermelhos 81% e os brancos 76%, isso quando ligados em condições ideais de 100 mA mm<sup>-2</sup> e temperatura de junção de 25 °C (KUSUMA; PATTISON; BUGBEE, 2020). Os fótons podem ser quantificados pela Densidade de Fluxo de Fótons Fotossinteticamente Ativos (PPFD) que caem sobre uma determinada superfície a cada segundo e, por isso, é expressa em micromols por metro quadrado por segundo (μmol.m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) (LOCONSOLE *et al.*, 2019).

Outro ponto importante, é a quantidade de horas de luz que será disponibilizada em um período de 24 horas, ou seja, o fotoperíodo, isso porque, faz-se necessária uma quantidade mínima de horas de luz e em espectros de absorção específicos para que sejam percebidos pelos fotorreceptores que irão desencadear respostas fisiológicas nas plantas (TAULAVUORI *et al.*, 2018; AMPIM *et al.*, 2020).

Em conjunto, o fotoperíodo (horas de luz por dia) e a intensidade luminosa (μmol.m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>), podem ser representados pela integral diária de luz (DLI), que é a medida da integralidade ou totalidade de fótons fotossintéticos que a área do cultivo recebe em um dia inteiro (RENGASAMY *et al.*, 2022). Dessa forma, a quantidade total de radiação que atinge o dossel é determinada pela intensidade da luz na superfície e pela duração da exposição (HERNANDEZ, 2021).

Dentro deste contexto, a tecnologia LED permite a modulação da intensidade e a composição do espectro da luz o que possibilita determinar a condição ideal de iluminação para diferentes espécies (LOCONSOLE *et al.*, 2019). Uma das características mais significativas dos LEDs é a possibilidade de se ajustar um comprimento de onda específico para controlar a qualidade e a quantidade de luz (TAULAVUORI *et al.*, 2018) que fornecerá energia para a

fotossíntese, sinais específicos que regularão o desenvolvimento, a forma e o metabolismo, a fotomorfogênese, as características bioquímicas e as funções fisiológicas das plantas (PARADISO *et al.*, 2021).

#### ***2.4.1 Qualidade e intensidade da luz no crescimento e rendimento de microverdes***

O crescimento inicial da planta é definido como um aumento irreversível em seu tamanho (HILTY *et al.*, 2021). O crescimento e o desenvolvimento das plantas são estimulados pela luz, no chamado processo fotomorfogênico (LI *et al.*, 2020). A fase do desenvolvimento vegetal que dá origem aos novos órgãos e a forma básica da planta é denominada crescimento primário, sendo que o outro conjunto de células meristemáticas, o câmbio, dá origem ao crescimento secundário, que produz um aumento na largura ou no diâmetro das plantas (TAIZ *et al.*, 2017).

O comprimento do hipocótilo, tamanho dos cotilédones e peso fresco e seco da parte aérea são as características biométricas e morfológicas mais avaliadas em estudos com microverdes (JONES-BAUMGARDT *et al.*, 2019; MORARU *et al.*, 2022). O hipocótilo, que consiste na parte da planta logo após a raiz (região do colo) até o ponto onde se encontram os cotilédones, é o mais estudado para as microverdes, já que é um de seus principais componentes qualitativos, sendo uma parte importante daquilo que se consome em microverdes (ZHANG *et al.*, 2020). Hipocótilos alongados ( $\geq 5$  cm) são um importante atributo de crescimento para muitos produtores comerciais, pois plantas mais altas facilitam o processo de colheita e são consideradas mais atraentes para os consumidores (JONES-BAUMGARDT *et al.*, 2020; BANTIS *et al.*, 2021).

O processo de conversão de energia da luz (fótons) em biomassa, através da fotossíntese, está relacionado diretamente com a intensidade da luz e seus espectros (ROMERO, 2022). A fotossíntese e a produtividade mais altas das plantas podem ser alcançadas com a intensidade de luz apropriada, sendo que a mesma qualidade da luz, mas fornecida em diferentes níveis de irradiância, pode ter efeitos diferentes na bioquímica vegetal e na qualidade nutricional (TURNER *et al.*, 2020).

O estudo do efeito da qualidade da luz com diferentes proporções vermelho (R): azul (B) sobre o rendimento, morfologia e conteúdo fitoquímico de microverdes de mostarda (*Brassica juncea*), rabanete (*Raphanus raphanistrum*), manjerição verde (*Ocimum basilicum*), amaranto vermelho (*Amaranthus tricolor*), cebolinha (*Alium schoenoprasum*), borragem (*Borago officinalis*) e ervilha (*Pisum sativum*), indicou que a proporção de LEDs vermelhos (R) e azuis (B) de R9:B1 proporcionou maior comprimento dos hipocótilos para quase todas as

espécies nos tratamentos (BANTIS *et al.*, 2021). Também para as respostas morfológicas há diferenças nos resultados, para cada espécie, de acordo com as porcentagens de luz azul aplicadas. Para microverdes de pepino, a área foliar diminuiu linearmente com o aumento do percentual de luz azul de 10 para 75% (HERNÁNDEZ; KUBOTA, 2016).

Em microverdes de chicória (*Cichorium intybus* L.), rabanete (*Raphanus sativus* L.) e alfafa (*Medicago sativa* L.) à medida que a intensidade luminosa foi aumentada, acumularam progressivamente maior biomassa, enquanto, sob a menor intensidade luminosa, as plantas produziram menor peso seco (ORLANDO *et al.*, 2022). Os autores citam ainda que em conjunto com a qualidade, a intensidade da luz representa importante fator a impulsionar as taxas do processo de crescimento, levando ao rápido aumento no acúmulo de biomassa quando a densidade do fluxo de fótons fotossintéticos é aumentada.

Os efeitos da intensidade de luz no crescimento, produção e qualidade de microverdes de couve (*Brassica oleracea* var. *Acephala* L. 'Red Russian'), repolho (*Brassica oleracea* L.), rúcula (*Eruca sativa* L.) e mostarda (*Brassica juncea* L. 'Ruby Streaks') cultivados em densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de 100, 200, 300, 400, 500 e 600  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  com uma razão de fluxo de fótons de 85% vermelho: 15% azul, e fotoperíodo de 16 horas de luz foram avaliados (JONES-BAUMGARDT *et al.*, 2019). À medida que a intensidade luminosa aumentou de 100 para 600  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , o peso fresco também aumentou em 36, 56, 76 e 82% para couve, repolho, rúcula e mostarda, respectivamente. Da mesma forma, o peso seco aumentou em 65, 69, 122 e 145% para couve, repolho, rúcula e mostarda, respectivamente.

Uma das formas de influenciar a intensidade luminosa aplicada às microverdes é por meio da regulação da distância de exposição do LED às plantas. No geral, a altura de 50 cm tem sido utilizada para atingir uma PPFD média de 300  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (JONES-BAUMGARDT *et al.*, 2019; YING *et al.*, 2020), no entanto, tal condição também vai depender da qualidade da luz que está sendo disponibilizada para as plantas, bem como a uniformidade e direção com que esses fótons estão chegando ao dossel.

#### **2.4.2 Qualidade e intensidade da luz nos aspectos nutricionais de microverdes**

Os aspectos nutricionais das microverdes está relacionado a abundância de compostos bioativos, incluindo vitaminas, minerais e fitoquímicos, como carotenóides e compostos fenólicos (RENNA *et al.*, 2020). Quando expostas à luz, as microverdes sofrem fotomorfogênese e sintetizam pigmentos fotossintéticos, como clorofila e carotenoides (ZHANG *et al.*, 2020). Esses componentes participam diretamente da fotossíntese e desempenham funções críticas na biologia vegetal, incluindo captação de luz, extinção de

fotoxidação, coloração de plantas e desempenham papel como precursor de vitaminas e antioxidantes essenciais para os seres humanos (NAZNIN *et al.*, 2019).

Estudos recentes indicam que há eficiência dos LEDs para modular grupos selecionados de metabólitos secundários e antioxidantes, bem como enriquecer as propriedades nutricionais e funcionais desses vegetais (ARTÉS-HERNÁNDEZ *et al.*, 2022; FRASZCZAK; KULA-MAXIMENKO, 2022; ORLANDO *et al.*, 2022). Isso acontece porque os fotorreceptores, que recebem os comprimentos de onda, desempenham um papel crucial na estimulação das vias bioquímicas de compostos secundários, modulando a expressão de genes específicos (MAWPHLANG; KHARSHIING, 2017). A biossíntese de metabólitos especializados está fortemente relacionada ao comprimento de onda absorvido pelo fotorreceptor, por exemplo, fotorreceptores de luz azul têm sido associados à estimulação de compostos fotoprotetores, como carotenóides e antocianinas (APPOLLONI *et al.*, 2022).

A intensidade da luz também pode interferir nos fenóis totais presentes em microverdes. Isso foi verificado em um estudo tendo sido observado que teores mais altos de fenóis foram detectados em ambientes de luz RGB (vermelho, verde e azul) com intensidade de luz de  $340 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  para cinco de seis espécies de microverdes (mizuna verde, chicória, calêndula francesa, alfafa e celosia) (ORLANDO *et al.*, 2022).

A composição de minerais e vitaminas de 21 variedades de microverdes, representando cinco espécies do gênero *Brássica* em condições de iluminação LED sob quatro razões diferentes (%) vermelho: azul (R80:B20 e R20:B80) ou vermelho: verde: azul (R70:G10:B20 e R20:G10:B70), indicaram que a iluminação suplementar com LEDs azuis (R20:B80) aumentaram o conteúdo de minerais e vitaminas (KAMAL *et al.*, 2020).

Em estudo para medir o impacto de diferentes porcentagens de luz azul em parâmetros de qualidade nutricional de microverdes de brócolis e comparar a luz incandescente/fluorescente com LEDs, Kopsell *et al.* (2014) relataram que as maiores concentrações de clorofila,  $\beta$ -caroteno, carotenóides totais, cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), zinco (Zn), glucorafanina, 4-metoxiglucobrassicina e neoglucobrassicina foram encontradas em microverdes cultivadas sob o tratamento com 20% de luz azul e 80% de vermelha, sendo observadas também a estimulação da biossíntese de metabólitos primários e secundários pela exposição a diferentes comprimentos de onda dos LEDs.

Em experimentos conduzidos com microverdes de mostarda e couve, uma alta porcentagem de luz azul foi aplicada em combinação com luz vermelha (R25:B75 e R0:B100) a  $220 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  em fotoperíodo de 18 horas de luz, por 5 dias e verificou-se que estes

tratamentos afetaram positivamente o acúmulo de macro e micronutrientes, embora com redução significativa do rendimento (BRAZAITYTĖ *et al.*, 2021).

## 2.5 Fotoperíodo e início da exposição a luz na produção de microverdes

A definição do melhor fotoperíodo, bem como do início da exposição a luz são essenciais para a produção de microverdes. As principais restrições para a aplicação, em larga escala, do cultivo de microverdes com luz artificial são os altos investimentos iniciais e os maiores custos associados ao consumo de energia para iluminação (KUSUMA; PATTISON; BUGBEE, 2021), o que pode ser otimizado quando se aplicam fotoperíodos e se inicia a exposição das plantas, a luz, no momento certo.

Atualmente, para o cultivo de microverdes, há pelo menos duas formas de se reduzir gastos com energia. O primeiro deles é encurtando o fotoperíodo (LOCONSOLE *et al.*, 2019), já o segundo pode ser realizado através da utilização da iluminação LED intermitente ou cíclica (WIETH *et al.*, 2019; FILATOV *et al.*, 2022).

Os estudos analisados não abordam a questão dos horários específicos de funcionamento do sistema de iluminação no período de 24 horas (manhã, tarde ou noite). No entanto, a definição de horário deve ser estudada já que operar o sistema de iluminação durante as horas que tenham preços de eletricidade mais baixos pode ajudar a reduzir custos de produção (KONDRATEVA *et al.*, 2021). No Brasil, por exemplo, no horário de maior demanda de energia elétrica, entre 17:30 e 20:30, e próximo a esses horários, o preço da tarifa de energia fica elevado em relação aos demais (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2021).

O fotoperíodo de 16 horas/claro e 08 horas/escuro tem sido o mais utilizado no cultivo de microverdes, no entanto, tal adoção não está propriamente alicerçada em uma experimentação científica, mas, a uma prática de cultivo originalmente adotada, que deu certo, e que, desde então, vem sendo utilizada no cultivo de microverdes (FILATOV *et al.*, 2022).

## 2.6 Aspectos sensoriais e aceitação pelos consumidores

Os aspectos sensoriais são os principais componentes, junto aos valores nutricionais, que proporcionam uma maior aceitação pelos consumidores de um determinado produto alimentar (TOPOLSKA *et al.*, 2021). Esses testes fornecem informações sobre os atributos sensoriais referentes ao produto alimentício, incluindo aparência, cor, textura e sabor (XIAO *et al.*, 2015).

De forma geral, a aparência domina a escolha do consumidor, enquanto os outros atributos contribuem para as compras futuras, assim, a aparência é o atributo de qualidade mais importante dos produtos frescos, com a principal preocupação sendo a uniformidade de tamanho, cor, brilho e ausência de defeitos (TAN *et al.*, 2020). Portanto, na indústria de alimentos, a avaliação sensorial humana está se tornando cada vez mais importante no estabelecimento da aceitabilidade do consumidor, controles de qualidade e desenvolvimento de novos produtos (XIAO, 2012).

A maior parte das espécies cultivadas como microverdes ainda não foram avaliadas por seus aspectos sensoriais e pela aceitação dos consumidores. Em um dos poucos trabalhos existentes sobre essa temática, pesquisadores identificaram que a aceitabilidade dos consumidores para 12 espécies vegetais cultivadas como microverdes foi influenciada por suas características sensoriais, bem como por sua aparência visual (CARACCILO *et al.*, 2020).

## REFERÊNCIAS

- AMPIM, P. A.Y.; OBENG, E.; GONZALEZ, E. O.; WEERASOORIYA, A.; OSUJI, G. O.; MYERS, D. J. The response of egyptian spinach and vegetable amaranth microgreens to different light regimes. **Scientific Journal of Biology & Life Sciences**, San Francisco, v.1, n.3, 2020, p.1-5.
- ANTA, C. V. **Cultivo de microgreen de rúcula en agricultura vertical indoor: Evaluación económica y medioambiental**. 2022. 55f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Agrônômica) – Universidade politécnica de Cartagena, Cartagena, 2022.
- APPOLLONI, E.; PENNISI, G.; ZAULI, I.; CAROTTI, L.; PAUCEK, I.; QUAINI, S.; ORSINI, F.; GIAN QUINTO, G. Beyond vegetables: effects of indoor LED light on specialized metabolite biosynthesis in medicinal and aromatic plants, edible flowers, and microgreens. **Journal of the science of food and agriculture**, New York, v. 102, n.2, 2022, p. 472-487.
- ARTÉS-HERNÁNDEZ, F.; CASTILLEJO, N.; MARTÍNEZ-ZAMORA, L. UV and visible spectrum LED lighting as abiotic elicitors of bioactive compounds in sprouts, microgreens, and baby leaves-a comprehensive review including their mode of action. **Foods**, Basel, v. 11, n.3, 2022, 265.
- BANTIS F. Light spectrum differentially affects the yield and phytochemical content of microgreen vegetables in a plant factory. **Plants**, Basel, v.10, n.10, 2021.
- BIAN, Z. H.; LEI, B.; CHENG, R.-F.; WANG, Y.; ACESO.; YANG, Q. C. Selenium distribution and nitrate metabolism in hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.): Effects of selenium forms and light spectra. **Journal of Integrative Agriculture**, [China] 19, 133-144, 2020.
- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Valores das bandeiras tarifárias são atualizados para o período 2022-2023. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/valores-das-bandeiras-tarifarias-sao-atualizados-para-o-periodo-2022-2023#:~:text=A%20bandeira%20amarela%20passa%20a,9%2C795%20a%20cada%20100%20kWh>. Acesso em: 25 de julho de 2022.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**, Brasília, 2009. 365p.
- BRAZAITYTĖ, A.; MILIAUSKIENĖ, J.; VAŠTAKAITĖ-KAIRIENĖ; SUTULIENĖ, R.; LAUŽIKĖ, K.; DUCHOVSKIS, P.; MAŁEK, S. Effect of Different Ratios of Blue and Red LED Light on Brassicaceae Microgreens under a Controlled Environment. **Plants**, [Basel] 10 (4), 801, 1-20, 2021.
- BULGARI, R.; NEGRI, M.; SANTORO, P.; FERRANTE, A. Quality Evaluation of Indoor-Grown Microgreens Cultivated on Three Different Substrates. **Horticulturae**, [Basel] 7: 96, 1-13, 2021.
- CARACCILO F., EL-NAKHEL C., RAIMONDO M., KYRIACOU M.C., CEMBALO L., DE PASCALE S., ROUPHAEL Y. Sensory Attributes and Consumer Acceptability of 12 Microverdes Species. **Agronomy**, [Basel] 10:1043. 2020.

CAVICHIOLO, L.S. **Aspectos morfológicos e ecológicos dos principais tipos morfofuncionais de plântulas ocorrentes na Ilha do Mel, PR.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 71 p, 2006.

CHEN, H.; XIAO T.; TAN, L.; KONG, L. Consumers' Acceptability and Perceptions toward the Consumption of hydroponically and Soil Grown Broccoli Microgreens. **Journal of Agriculture and Food Research**, [s.l.] Volume 2, 1-6, 2020.

CHEN, X.L.; YANG, Q.C.; SONG, W.P.; WANG, L.C.; GUO, W.Z.; XUE, X.Z. Growth and nutritional properties of lettuce affected by different alternating intervals of red and blue LED irradiation. **Sci. Hortic**, [Amsterdam] 44-52, 2017.

CHOE U., YU L.L., WANG T.T. The science behind microgreens as an exciting new food for the 21st century. **J. Agric. Food Chem**, [Washington] 66: 11519-11530, 2018.

COCETTA, G.; CASCIANI, D.; BULGARI, R.; MUSANTE, F.; KOLTON, A.; ROSSI, M.; FERRANTE, A. Light use efficiency for vegetables production in protected and indoor environments. **Eur. Phys. J. Plus**, [Heidelberg] 132 (43) 1-15, 2017.

COSTA, A.; SOUZA, L.; COVA, A.; SANTOS, C. M. R. Produção de coentro em resposta a diferentes doses de água residuária da mandioca. **Revista Agroecossistema**, [s. l.] 13: 1, 145-162, 2021.

CRAVER, J.K.; GEROVAC, J.R.; LOPEZ, R.G.; KOPSELL, D.A. Light intensity and light quality from sole-source light-emitting diodes impact phytochemical concentrations within Brassica microgreens. **J. Am. Soc. Hortic. Sci**, [Alexandria] 142:3-12, 2017.

DI BELLA, M. C.; NIKLAS, A.; TOSCANO, S.; PICCHI, V.; ROMANO, D.; LO SCALZO, R.; BRANCA, F. Morphometric Characteristics, Polyphenols and Ascorbic Acid Variation in Brassica oleracea L. Novel Foods: Sprouts, Microverdes and Baby Leaves. **Agronomy**, [Basel] 1-18, 2020.

DI GIOIA F., SANTAMARIA P., editors. Microverdes: Novel Fresh and Functional Food to Explore All the Value of Biodiversity. **ECO-Logica**; Bari, Italy 51-79, 2015.

DI GIOIA, F.; PETROPOULOS, SA; OZORES-HAMPTON, M.; MORGAN, K.; ROSSKOPF. Zinc and Iron Agronomic Biofortification of Brassicaceae Microgreens. **Agronomy**, [Basel] 9 (11), 677, 1-20, 2019.

DU, M.; XIAO, Z.; LUO, Y. Advances and emerging trends in cultivation substrates for growing sprouts and microgreens toward safe and sustainable agriculture. **Current Opinion in Food Science**, [Amsterdam] 46, 2022.

EBERT A. W. Sprouts and Microverdes-Novel Food Sources for Healthy Diets. **Plants**, [Basel] 11(4), 571, 1- 45, 2022.

FILATOV, D. A.; VETCHINNIKOV, A. A.; OLONINA, S. I.; OLONIN, I. YU. Intermittent LED lighting helps reduce energy costs when growing microverdes on vertical controlled environment farms. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [Reino unido] Volume 979, 1, 1-5, 2022.

FRĄSZCZAK, B.; KULA-MAXIMENKO, M. The Biometric Parameters of Microgreen Crops Grown under Various Light Conditions. **Agriculture**, [Basel] 12: 576, 1-10, 2022.

GEORGIEVA, R.; DELIBALTOVA, V.; CHAVDAROV, P. Change in agronomic characteristics and essential oil composition of coriander after application of foliar fertilizers and biostimulators. **Industrial Crops and Products**, [Amsterdam] 181: 1, 2022.

GEROVAC, J. R.; CRAVER, J. K.; BOLDT, J. K.; LOPEZ, R. G. Light intensity and quality from sole-source light-emitting diodes impact growth, morphology, and nutrient content of brassica microverdes. **HortSci**, [Alexandria] 497-503, 2016.

GHOORA, M. D.; BABU, D. R.; SRIVIDYA, N. Nutrient composition, oxalate content and nutritional ranking of ten culinary microgreens. **J. Food Compos. Anal.**, [Amsterdam] 91, 1-10, 2020.

GÓMEZ, C.; IZZO, L.G. Increasing efficiency of crop production with LEDs. **AIMS Agric. Food**, [s. l.]3, 135–153, 2018.

HERNÁNDEZ, R.; KUBOTA, C. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. **Environ. Exp. Bot.**, [Amsterdam] 66-74, 2016.

HILTY, J.; MULLER, B.; PANTIN, F.; LEUZINGER, S. Plant growth: the What, the How, and the Why. **New Phytol**, [Hoboken] 232: 1, 25-41, 2021.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water-culture method for growing plants without soil**. Circ. Agric. Exp. Stn., California 1950, 347.

JIN, W.; FORMIGA, L. D.; HEUVELINK, E.; MARCELIS, L. F. M. Light use efficiency of lettuce cultivation in vertical farms compared with greenhouse and field. **Food and Energy Security**, [Hoboken] 1-10, 2022.

JOHNSON, S. A.; PRENNI, J. E.; HEUBERGER, A. L.; ISWEIRI, H.; CHAPARRO, J. M.; NEWMAN, S. E.; UCHANSKI, M. E.; OMERIGIC, H. M.; MICHELL, K. A.; BUNNING, M.; FOSTER, M.T.; THOMPSON, H. J.; WEIR, T. L. Comprehensive Evaluation of Metabolites and Minerals in 6 Microgreen Species and the Influence of Maturity. **Curr Dev Nutr**, [Rockville] 18; 5(2), 1-12, 2021.

JONES-BAUMGARDT, C.; LLEWELLYN, D.; YING, Q.; ZHENG, Y. Intensity of sole-source light emitting diodes affects growth, yield, and quality of Brassicaceae microverdes. **HortScience**, [Alexandria] 1168- 1174, 2019.

JONES-BAUMGARDT, C.; LLEWELLYN, D.; ZHENG, Y. Different Microgreen Genotypes Have Unique Growth and Yield Responses to Intensity of Supplemental PAR from Light-emitting Diodes during Winter Greenhouse Production in Southern Ontario, Canada. **HortScience**, [Alexandria] 1-8, 2020.

KALANTARI, F.; TAHIR, O. M.; JONI, R. A.; FATEMI, E. Opportunities and challenges in sustainability of vertical farming: A review. **J. Landscape Ecol**, [s. l.] 11, 35–60, 2018.

KAMAL, K.Y.; KHODAEIAMINJAN, M.; EL-TANTAWY, A. A.; MONEIM, D. A.; SALAM, A. A.; ASHSHORMILLESY, S. M. A. I.; HERRANZ, R.; EL-ESAWI, M. A.;

- NASSRALLAH, A. A.; RAMADAN, M. F. Evaluation of growth and nutritional value of Brassica microverdes grown under red, blue and green LEDs combinations. **Physiologia Plantarum**, [Hoboken] 1-15, 2020.
- KATHI, S.; LAZA, H.; SINGH, S.; THOMPSON, L.; LI, W.; SIMPSON, C. Increasing vitamin C through agronomic biofortification of arugula microgreens. **Sci Rep**, [London] 12: 13093, 1-11, 2022.
- KATSENIOS, N.; CHRISTOPOULOS, M. V.; KAKABOUKI, I.; VLACHAKIS, D.; KAVVADIAS, V.; EFTHIMIADOU, A. Effect of Pulsed Electromagnetic Field on Growth, Physiology and Postharvest Quality of Kale (*Brassica oleracea*), Wheat (*Triticum durum*) and Spinach (*Spinacia oleracea*) Microgreens. **Agronomy**, [Basel] 11, 1364, 1-13, 2021.
- KHARSHIING, E. V.; MAWPHLANG, O. I. L.; LAMA, V.; BHATTACHARJEE, R.; SAHOO, L. Manipulation of light environment for optimising photoreceptor activity towards enhancing plant traits of agronomic and horticultural importance in crops, **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, [Cambridge] 97:5, 535-551, 2022.
- KONDRATEVA, N.; FILATOV, D.; BOLSHIN, R.; KRASNOLUTSKAYA, M.; SHISHOV, A.; OVCHUKOVA, S.; MIKHEEV, G. Determination of the effective operating hours of the intermittent lighting system for growing vegetables. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [Reino Unido] 935. 1-7, 2021.
- KOPSELL, D. A.; SAMS, C. E.; BARICKMAN, T. C.; MORROW, R. C. Sprouting broccoli accumulate higher concentrations of nutritionally important metabolites under narrow-band light-emitting diode lighting. **J Am Soc Hortic Sci**, [Alexandria] 469–477, 2014.
- KOZAI, T. PFAL business and R&D in the world: Current status and perspectives. **In Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production**. Academic Press: Cambridge, MA, USA, 35–68, 2015.
- KOZAI, T.; NIU, G. Plant Factory as a Resource-Efficient Closed Plant Production System. **In Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production**; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 69-90, 2015.
- KOZAI, T. Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: concept, estimation and application to plant factory. **Proc Jpn Acad Ser B Phys Biol Sci**. [Japão] 89 (10): 447-461, 2013.
- KUSUMA, P.; PATTISON, P. M.; BUGBEE, B. From physics to fixtures to food: current and potential LED efficacy. **Hortic Res**, [London] 7: 56, 1-9, 2021.
- KYRIACOU, M. C.; EL-NAKHEL C, PANNICO A, GRAZIANI G, ZARRELLI A, SOTERIOU GA, KYRATZIS A, ANTONIOU C, PIZZOLONGO F, ROMANO R, RITIENI A, DE PASCALE S, ROUPHAEL Y. Ontogenetic Variation in the Mineral, Phytochemical and Yield Attributes of Brassicaceous Microgreens. **Foods**, Basel, May 10;10 (5):1032, 1-21, 2021.
- KYRIACOU, M.C.; EL-NAKHEL, C.; PANNICO, A.; GRAZIANI, G.; SOTERIOU, G.A.; GIORDANO, M.; PALLADINO, M.; RITIENI, A.; DE PASCALE, S.; ROUPHAEL, Y. Phenolic Constitution, Phytochemical and Macronutrient Content in Three Species of

Microverdes as Modulated by Natural Fiber and Synthetic Substrates. **Antioxidants**, Basel 9, 252, 1-23, 2020.

KYRIACOU, M. C.; DE PASCALE, S.; KYRATZIS, A.; ROUPHAEL, Y. Microgreens as a component of space life support systems: A cornucopia of functional food. **Front. Plant Sci.**, [Lausanne] 8, 1587, 1-5, 2017.

LAL, G.; SARAN, P. L.; DEVI, G.; BIJARNIYA, D.; RAJ, R. **Chapter: Seed production technology of coriander (*Coriandrum sativum*)**. In Advances in vegetable agronomy, [New Delhi] 214-222. 2014.

LENZI, A.; ORLANDINI, A.; BULGARI, R.; FERRANTE, A.; BRUSCHI, P. Antioxidant and mineral composition of three wild leafy species: A comparison between microverdes and baby greens. **Foods**, Basel 8, 487, 1-19, 2019.

LI, Y.; XIN, G.; LIU, C.; SHI, Q.; YANG, F.; WEI, M. Effects of red and blue light on leaf anatomy, CO<sub>2</sub> assimilation and the photosynthetic electron transport capacity of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings. **BMC Plant Biol**, [London] 6;20 (1): 318, 1-16, 2020.

LI, X.; WU, Y.; LI, B.; YANG, Y.; YANG, Y. Accumulation Characteristics and Biofortification Potentiality in Turnip (*Brassica rapa* var. *rapa*) Supplied with Selenite or Selenate. **Front Plant Sci**, [Lausanne] 8: 2207, 1-10, 2018.

LIU, K.; GAO, M.; JIANG, H.; OU, S.; LI, X.; HE, R.; LI, Y.; LIU, H. Light Intensity and Photoperiod Affect Growth and Nutritional Quality of Brassica Microgreens. **Molecules**, [Basel] 27: 3, 1-19, 2022.

LOBIUC, A.; VASILACHE, V.; PINTILIE, O.; STOLERU, T.; BURDUCEA, M.; OROIAN, M. *et al.* Blue and Red LED Illumination Improves Growth and Bioactive Compounds Contents in Acyanic and Cyanic *Ocimum basilicum* L. **Molecules**, [Basel] 22: 2111, 1-14, 2017.

LOCONSOLE, D.; COCETTA, G.; SANTORO, P.; FERRANTE, A. Evaluation of Romaine Lettuce Grown in An Innovative Indoor Cultivation System. **Sustainability**, [Basel] 1-16, 2019.

MAWPHLANG, O. I. L.; KHARSHIING, E. V. Photoreceptor mediated plant growth responses: Implications for photoreceptor engineering toward improved performance in crops. **Front. Plant Sci.** [Lausanne] 8, 1–14, 2017.

MEDEIROS, M. A.; RESENDE, F. V.; TOGNI, P. H. B.; SUJII, E. R. **Efeito do consórcio cultural no manejo ecológico de insetos em tomateiro**. EMBRAPA Hortaliças: comunicado técnico 65, Brasília-DF, 2009, 10p.

MISHRA, T.; PANDEY, V. C. Restoration of red mud deposits by naturally growing vegetation. **Elsevier**, [Amsterdam] 409-424, 2017.

MORARU, P. I.; RUSU, T.; MINTAS, O. S. Trial Protocol for Evaluating Platforms for Growing Microgreens in Hydroponic Conditions. **Foods**, Basel, 11: 9, 1-16, 2022.

NAZNIN, T.; LEFSRUD, M.; GRAVEL, V.; OBYEDUL, M. D.; AZAD, O. Blue Light added with Red LEDs Enhance Growth Characteristics, Pigments Content, and Antioxidant Capacity in Lettuce, Spinach, Kale, Basil, and Sweet Pepper in a Controlled Environment. **Plants**, [Basel] 8, 93; 1-12, 2019.

ORLANDO, M.; TRIVELLINI, A.; INCROCCI, L.; FERRANTE, A.; MENSUALI, A. A inclusão de luz verde em um fundo de luz vermelha e azul afeta o crescimento e a qualidade funcional de espécies de microverdes vegetais e flores. **Horticulturae**, [Basel] 8, 217, 1-20, 2022.

ORUNA-CONCHA, M.J.; LIGNOU, S.; FEENEY, E.L.; BEEGAN, K.; KENNY, O.; HARBOURNE, N. Investigating the phytochemical, flavour and sensory attributes of mature and microgreen coriander (*Coriandrum sativum*). In *Flavour Science*; Siegmund, B., Leitner, E., Eds.; **Verlag der Technischen Universität Graz**: Graz, Austria, 163-166, 2018.

PARADISO, R.; PROIETTI, S. Light-Quality Manipulation to Control Plant Growth and Photomorphogenesis in Greenhouse Horticulture: The State of the Art and the Opportunities of Modern LED Systems. **J. Plant Growth Regul**, [Heidelberg] 41, 742-780, 2021.

PARASCHIVU, M.; COTUNA, O.; SĂRĂȚEANU, V.; CARMEN, D.; PĂUNESCU, R. Microgreens-current status, global market trends and forward statements. **Manag. Econ. Eng. Agric. Rural Dev**, [Bucareste] 21:3, 633-639, 2021.

PAUCEK, I.; APPOLLONI, E.; PENNISI, G.; QUAINI, S.; GIANQUINTO, G.; ORSINI, F. LED Lighting Systems for Horticulture: Business Growth and Global Distribution. **Sustainability**, [Basel] 12, 7516, 1-19, 2020.

PENNISI, G.; BLASIOLI, S.; CELLINI, A.; MAIA, L.; CREPALDI, A.; BRASCHI, I.; SPINELLI, F.; FERNANDEZ, J. A.; STANGHELLINI, C.; MARCELIS, L. F. M.; ORSINI, F.; GIANQUINTO, G. Unraveling the Role of Red: Blue LED Lights on Resource Use Efficiency and Nutritional Properties of Indoor Grown Sweet Basil. **Front. Plant Sci.**, [Lausanne]1-14, 2019.

PENNISI, G.; SANYÉ-MENGUAL, E.; ORSINI, F.; CREPALDI, A.; NICOLA, S.; OCHOA, J.; FERNANDEZ, J.A.; GIANQUINTO, G. MODELLING. Environmental Burdens of Indoor-Grown Vegetables and Herbs as Affected by Red and Blue LED Lighting. **Sustainability**, [Basel] 11, 1-21, 2019.

PESQUISA GLOBAL DE MERCADO DE MICROVERDES. 2022. Disponível em: <https://straitresearch.com/report/microgreens-market/toc>. Acesso em 05 de outubro de 2022.

PETROPOULOS, S.A.; EL-NAKHEL, C.; GRAZIANI, G.; KYRIACOU, M.C.; ROUPHAEL, Y. The Effects of Nutrient Solution Feeding Regime on Yield, Mineral Profile, and Phytochemical Composition of Spinach Microgreens. **Horticulturae**, [Basel] 7, 162, 1-14, 2019.

PIOVENE, C.; ORSINI, F.; BOSI, S.; SANOUBAR, R.; BREGOLA, V.; DINELLI, G.; GIANQUINTO, G. Optimal red: Blue ratio in led lighting for nutraceutical indoor horticulture. **Sci. Hortic**, [Amsterdam] 193, 202–208, 2015.

PRITI, S. S.; KUKREJA, B.; MISHRA, G. P.; DIKSHIT, H. K.; SINGH, A.; ASKI, M.; KUMAR, A.; TAAK, Y.; STOB DAN, T.; DAS, S.; KUMAR, R. R.; YADAVA, D. K.; PRAVEEN, S.; KUMAR, S.; NAIR, R. M. Yield optimization, microbial load analysis, and sensory evaluation of mungbean (*Vigna radiata* L.), lentil (*Lens culinaris* subsp. *culinaris*), and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) microgreens grown under greenhouse conditions. **PLoS One**, [San Francisco] 17: 5, 1-17, 2022.

PUCCINELLI, M.; MAGGINI, R.; ANGELINI, L.; SANTIN, M.; LANDI, M.; TAVARINI, S.; CASTAGNA, A.; INCROCCI, L. Can Light Spectrum Composition Increase Growth and Nutritional Quality of *Linum usitatissimum* L. Sprouts and Microgreens? **Horticulturae**. [Basel] 8: 98, 1-17, 2022.

RAJAN, P.; LADA, R.R.; MACDONALD, M.T. Advancement in indoor vertical farming for microgreen production. **Am. J. Plant Sci.**, [Wuhan] 10, 1397-1408, 2019.

RASHIDI, A.; TEHRANIFAR, A.; SAMIEI, L. Modifying spectral distributions during the seedling stage influences the flowering and branching of *Petunia × hybrida*. **Scientia Horticulturae.**, [Amsterdam] 309, 2023.

RENA, M.; PARADISO, V. M. Ongoing Research on Microgreens: Nutritional Properties, Shelf-Life, Sustainable Production, Innovative Growing and Processing Approaches. **Foods**, [Basel] 9, 826; 1-5, 2020.

RENNA, M.; STELLACCI, A. M.; CORBO, F.; SANTAMARIA, P. The Use of a Nutrient Quality Score is Effective to Assess the Overall Nutritional Value of Three Brassica Microgreens. **Foods**, Basel, 1226, 2020, 1-15.

ROMERO, E. Surviving on low-energy light comes at a price. **Elife**, [Cambridge] 2:11, 1-3, 2022.

SALAVOR, O. Environmental sustainability issues for Eastern European food production. **En Nutritional and Health Aspects of Traditional and Ethnic Foods of Eastern Europe**. Elsevier, [Amsterdam] 233- 249, 2022.

SAMUOLIENE, G.; BRAZAITYTĖ, A.; VIRŠILĖ, A.; MILIAUSKIENĖ, J.; VAŠTAKAITĖ-KAIRIENĖ, V.; DUCHOVSKIS, P. Nutrient Levels in Brassicaceae Microverdes Increase Under Tailored LightEmitting Diode Spectra. **Frontiers in Plant Science**, [Lausanne] 1-9, 2019.

SANTIN, M.; RANIERI, A.; CASTAGNA, A. Anything New under the Sun? An Update on Modulation of Bioactive Compounds by Different Wavelengths in Agricultural Plants **Plants**, [Basel] 1-38, 2021.

SANTOSO, J.; HADI, S.; AGRICIA, W. “The Study of Color Spectrum Curs Value Against Sunlight Color and Artificial Light for Plant Growth.” **Nusantara Science and Technology Proceedings**, [Yogyakarta] 11-22, 2020.

SHELFORD, T.J.; BOTH, A.J. On the technical performance characteristics of horticultural lamps. **Agri Engineering**, [Campina Grande] 3, 716-727, 2021.

SHIBAEVA, T.G.; SHERUDILO, E.G.; RUBAEVA, A.A.; TITOV, A.F. Continuous LED Lighting Enhances Yield and Nutritional Value of Four Genotypes of Brassicaceae Microverdes. **Plants**, [Basel] 11, 176, 1-14, 2022.

SHOKO, T.; MANHIVI, V. E.; MTLHAKO, M.; SIVAKUMAR, D. Changes in Functional Compounds, Volatiles, and Antioxidant Properties of Culinary Herb Coriander Leaves (*Coriandrum sativum*) Stored Under Red and Blue LED Light for Different Storage Times. **Front Nutr**, [Lausanne] Volume 9, 1-14p, 2022.

SILVA, J. M. F.; PINTO, A. A.; SANTANA, L. D.; RODRIGUES, W. A. D.; CAMARA, F. T. Produtividade do coentro Verdão em função das regulagens de uma semeadora manual. **Enciclopédia Biosfera**, [Palmas] 13: 24, 847-854, 2016.

SOLANO, C. J.; HERNÁNDEZ, J. A.; SUARDÍAZ, J.; BARBA-ESPÍN, G. Impacts of LEDs in the Red Spectrum on the Germination, Early Seedling Growth and Antioxidant Metabolism of Pea (*Pisum sativum* L.) and Melon (*Cucumis melo* L.). **Agriculture**, [Basel] 1-11, 2020.

SONG, B.; XU, H.; CHEN, L.; FAN, X.; JING, Z.; CHEN, S.; XU, Z. Study of the Relationship between Leaf Color Formation and Anthocyanin Metabolism among Different Purple Pakchoi Lines. **Molecules**. [Basel] 19; 25 (20):4809, 1-13, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E; MOLLER, IM; MURPHY, A. 2017. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 888p.

TAN, L.; NUFFER, H.; FENG, J.; HANGKWAN, S.; CHEN, H.; TONG, X.; KONG, L. Antioxidant properties and sensory evaluation of microgreens from commercial and local farms. **Food Science and Human Wellness**, [Amsterdam] 9, 45-51, 2020.

TAULAVUORI, K.; PYYSALO, A.; TAULAVUORI, E.; JULKUNEN-TIITTO, R. Responses of phenolic acid and flavonoid synthesis to blue and blue-violet light depends on plant species. **Environ. Exp. Bot.**, [Oxford] 150, 183-187, 2018.

THOMA, F.; SOMBORN-SCHULZ, A.; SCHLEHUBER, D.; KEUTER, V.; DEERBERG, G. Effects of Light on Secondary Metabolites in Selected Leafy Greens: A Review. **Front Plant Sci**, [Lausanne] 1-15, 2020.

TOPOLSKA, K.; FLORKIEWICZ, A.; FILIPIAK-FLORKIEWICZ, A. Functional Food-Consumer Motivations and Expectations. **Int J Environ Res Public Health**, [Basel] 8: 10, 1-14, 2021.

TURNER, E.R.; LUO, Y.; BUCHANAN, R.L. Microgreen nutrition, food safety, and shelf life: A review. **J. Food Sci.**, [Chicago] 85, 870–882, 2020.

VAŠTAKAITĖ-KAIRIENĖ, V.; BRAZAITYTĖ, A.; MILIAUSKIENĖ, J.; SUTULIENĖ, R.; LAUŽIKĖ, K.; VIRŠILĖ, A.; SAMUOLIENĖ, G.; RUNKLE, E.S. Photon Distribution of Sole-Source Lighting Affects the Mineral Nutrient Content of Microgreens. **Agriculture**, [Basel] 12, 1-14, 2022.

VETCHINNIKOV, A. A.; FILATOV, D. A.; OLONINA, S. I.; KAZAKOV, A. V.; OLONIN, Y. I. Influence of the radiation intensity of LED light sources of the red-blue spectrum on the yield and energy consumption of microgreens. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, [Reino Unido] 723, 1-7, 2021.

WIETH, A.R.; PINHEIRO, W.D.; DA SILVA DUARTE, T. Purple Cabbage Microverdes Grown in Different Substrates and Nutritive Solution Concentrations. **Rev. Caatinga**, [Fortaleza] 32 (4), 976-986, 2019.

XIAO, Z.; LESTER, G. E.; PARK, E.; SAFTNER, R. A.; LUO, Y.; WANG, Q. Evaluation and attraction of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh products: Microgreens. *Biol pós-colheita*. **Tecnol**, [s. l.] 110, 140-148, 2015.

XIAO, Z.; LESTER, G. E.; LUO, Y.; WANG, Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microverdes. **J Agric Food Chem**, [Washington] 7644-7651, 2012.

YING, Q.; KONG, Y.; JONES-BAUMGARDT, C.; ZHENG, Y. Responses of yield and appearance quality of four Brassicaceae microgreens varied blue light proportion in red and blue light-emitting diodes lighting. **Scientia Horticulturae**, [Amsterdam] 1-8, 2020.

ZANZINI, A. P.; OLIVEIRA, J. A. C.; COUTINHO, G. S. M.; ARAÚJO, A. B. S.; BARROS, H. E. A.; ABREU, D. J. M.; VILAS BOAS, E. V. B.; CARVALHO, E. E. N. Bioactive compounds present in kale (*Brassica oleracea* L.) at three stages of development and comparison of their antioxidant capacities. **Research, Society and Development**, [Minas Gerais] 1-17, 2020.

ZHANG, X.; BIAN, Z.; YUAN, X.; CHEN, X.; LU, C. A review on the effects of light-emitting diode (LED) light on the nutrients of sprouts and microverdes. **Trends in Food Science & Technology**, [Amsterdam] 1- 61, 2020.



Reunimos os arquivos (artigos, livros e links) presentes nas referências em uma pasta no *Google Drive*, e podem ser encontrados por meio destes códigos de acesso:

QRCode para acesso dos arquivos das Referências – Tese Caris Viana



Link para acesso dos arquivos das Referências – Tese Caris Viana

[https://drive.google.com/drive/folders/18rTbvE20YTCOt\\_vxuoQ\\_QZOiDKtC5FVI1?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/18rTbvE20YTCOt_vxuoQ_QZOiDKtC5FVI1?usp=sharing)

### 3 CAPÍTULO 2 – A QUALIDADE E A DISTRIBUIÇÃO DA LUZ AFETAM A PRODUÇÃO DE MICROVERDES DE COENTRO

**Resumo-** O coentro é uma espécie com potencial de uso como microverde, produzido comercialmente com iluminação artificial por Diodos Emissores de Luz (LEDs), entretanto, a qualidade e a distribuição da luz afetam a produção de microverdes de coentro? Nesse sentido, objetivou-se descrever a uniformidade, a distribuição espacial e a intensidade luminosa, bem como determinar aspectos biométricos e a eficiência de uso da energia na produção de microverdes de coentro submetidas a diferentes qualidades de iluminação e números de fitas LED. O experimento foi realizado em ambiente controlado, em esquema fatorial, com dois fatores, e delineamento experimental em blocos casualizados. O fator qualidade da luz, consistiu de luz branca como controle, e três diferentes proporções de luz vermelha e azul, representadas respectivamente pelas letras “R” e “B” ao longo da fita LED, sendo 3R:1B; 4R:1B e 5R:1B. O fator distribuição das fitas LEDs, constituiu de 2 e 3 fitas LEDs dispostas nos painéis luminosos. Avaliações da intensidade luminosa foram realizadas a partir das medições de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD), uniformidade da luz (UN%) e distribuição espacial da intensidade em cada área de cultivo/painel luminoso. As características biométricas, rendimento e eficiência de uso da energia avaliadas foram: comprimento (CH-cm) e diâmetro (DH-cm) do hipocótilo; comprimento de raiz (CR-cm) e dos cotilédones (CC-cm); largura dos cotilédones (LC-cm); área foliar (AF-cm<sup>2</sup>); área foliar específica (AFE-cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>); peso fresco e seco da parte aérea (PFA-g) e da raiz (PFR-g); rendimento (RD-kg m<sup>-2</sup>) e eficiência de uso da energia (EUE- kg<sup>-1</sup> kW h<sup>-1</sup>). Os painéis com três fitas LEDs tiveram maior PPFD média em todas as qualidades da luz. A maior uniformidade no sistema de iluminação ocorreu com luz branca. A distribuição espacial de fótons de maior intensidade ocorreu com 3 fitas, na porção mais centralizada do painel. O CH, DH e AFE foram maiores sob iluminação branca. As demais variáveis analisadas foram maiores quando a iluminação foi distribuída em 3 fitas, cultivadas em iluminação vermelho: azul. Três fitas LEDs nos painéis luminosos melhoram a intensidade e a distribuição espacial da luz e as plantas cultivadas em iluminação vermelho e azul apresentaram características biométricas superiores àquelas cultivadas sob iluminação branca. O menor consumo de energia em painéis com duas fitas LEDs, e com luz branca resultou em maior eficiência de uso da energia.

**Palavras-chave:** *Coriandrum sativum*. Diodos emissores de luz. Fotomorfogênese. Iluminação artificial. Luz branca.

### 3 CHAPTER 2- THE QUALITY AND DISTRIBUTION OF LIGHT AFFECT YIELD IN CILANTRO MICROGREENS

**Abstract** - The production and consumption of microgreens has occupied prominence in recent years. Coriander is a species with potential use as microgreens, commercially produced with artificial lighting by Light Emitting Diodes (LEDs). The objective was to describe the uniformity, spectral distribution and light intensity, as well as to determine biometric aspects and energy use efficiency in the production of cilantro microgreens subjected to different lighting qualities and numbers of LED strips. The experiment was performed in a controlled environment, in a factorial scheme, with two factors, and randomized block design (4). The light quality factor consisted of white light as control and three different proportions of red and blue light, represented respectively by the letters "R" and "B" along the LED strip, being 3R:1B; 4R:1B and 5R:1B. The distribution factor of the tapes, consisted of 2 and 3 LED strips arranged on the light panels. Light intensity evaluations were performed from measurements of photosynthetic photon flux density (PPFD), light uniformity (UN%) and spatial distribution of intensity in each growing area/light panel. The biometric characteristics, yield and energy use efficiency evaluated were: length (CH-cm) and diameter (DH-cm) of hypocotyl; length of root (CR-cm) and cotyledons (CC-cm); width of cotyledons (LC-cm); leaf area (AF-cm<sup>2</sup>); specific leaf area (AFE-cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>); fresh and dry weight of aboveground (PFA-g) and root (PFR-g); yield (RD-kg m<sup>-2</sup>) and energy use efficiency (EUE- kg kW h<sup>-1</sup>). The panels with three LED strips had the highest average PPFD in all light qualities. The greatest uniformity in the lighting system occurred with white light. The spatial distribution of photons of greatest intensity occurred with 3 ribbons, in the most centralized portion of the panel. The CH, DH, and AFE were greater under bank lighting. The other variables analyzed were greater when the illumination was distributed over 3 ribbons, grown in red/blue illumination. Three LED strips in light panels improve intensity and spatial distribution of light and plants grown in red and blue illumination showed higher biometric characteristics than those grown under white illumination. Lower energy consumption in panels with two LED strips, and with white light resulted in higher energy use efficiency.

**Keywords:** *Coriandrum sativum*; Light emitting diodes. Photomorphogenesis. Artificial illumination. White light.

### 3.1 Introdução

Microverdes são plantas comestíveis com raízes estabelecidas, cotilédones totalmente expandidos e as primeiras folhas podendo ou não estar presentes. De forma geral, inúmeras espécies têm sido indicadas como de elevado potencial para a produção de microverdes (YING *et al.*, 2020). Uma dessas espécies é o *Coriandrum sativum* (coentro), uma Apiaceae que tem sido citada como umas das microverdes mais apreciadas, pelos atributos sensoriais e nutricionais (CARACCILO *et al.*, 2020; DAS; DHAR, 2023).

De forma geral, as microverdes ganharam posição de destaque nos últimos anos, e sua popularidade está crescendo devido ao aumento global na conscientização sobre uma alimentação saudável (JAMBOR *et al.*, 2022). Além do alto valor nutricional, as microverdes também ficaram mundialmente conhecidas por seus atributos sensoriais (textura crocante, cores atrativas, aromas e sabores diversos) (KATSENIOS *et al.*, 2021; YEARGIN *et al.*, 2023).

Com tantas aplicações, a produção de microverdes continuará a crescer em todo o mundo, especialmente com a adoção de práticas de cultivo *indoor* (PARASCHIVU *et al.*, 2022). Nesses ambientes, as microverdes são produzidas comercialmente sob condições controladas, ficando a temperatura fixa em, aproximadamente, 20 °C e a umidade média em 70% (PRITI *et al.*, 2022), com iluminação artificial oferecida por Diodos Emissores de Luz (LEDs), principalmente nos comprimentos de onda na faixa da luz vermelha e azul, que interagem na regulação das respostas fisiológicas das plantas (SHIBAEVA *et al.*, 2022; RASHIDI *et al.*, 2023).

Essas respostas podem ser influenciadas por meio da qualidade, quantidade e uniformidade luminosa que chega às plantas (TURNER *et al.*, 2020). A qualidade, determinada pelo comprimento de onda incidente, geralmente é informada pelos fabricantes, indicando a faixa de 400 a 700 nm, região utilizada no processo de fotossíntese, sendo chamada de região de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) (SANTOSO; HADI; AGRICIA, 2020).

A PAR desempenha um papel fundamental nas respostas fisiológicas das plantas, devendo ser quantificada por meio da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (PPFD-  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), que representa a quantidade de fótons que efetivamente chega ao dossel das plantas (FUJIWARA, 2016; LOCONSOLE *et al.*, 2019). Os fabricantes de sistemas de iluminação LED não fornecem seus valores de PPFD, já que podem sofrer alterações de acordo com a configuração do sistema, como a área a ser iluminada, a quantidade de LEDs por área e sua disposição nos painéis luminosos (KUSUMA *et al.*, 2020).

A distribuição dos LEDs nos painéis pode afetar a intensidade e a uniformidade da luz disponibilizada para as plantas. Para o cultivo de microverdes são necessários sistemas de

iluminação mais uniformes para maximizar o rendimento (MOAVEN *et al.*, 2022). Práticas simples, como realocação aleatória ou sistemática de plantas (SON *et al.*, 2015; CHOI *et al.*, 2022) ou rotação de bandejas (LEE; SON; OH, 2016; LEE; PARK; OH, 2021) vem sendo utilizadas em experimentos com iluminação artificial (KYRIACOU *et al.*, 2020; PANNICO *et al.*, 2020; ORLANDO *et al.*, 2022), no entanto, essas são práticas inviáveis para o cultivo comercial de microverdes, devido a elevada necessidade de mão de obra.

Uma vez que em sistemas hortícolas a luz pode não ser distribuída uniformemente pela superfície iluminada e as plantas podem não ser expostas às mesmas condições de iluminação (BALÁZS *et al.*, 2022), são necessários estudos para otimizar a uniformidade da distribuição de luz e da intensidade luminosa. Tais características da iluminação interferem nas respostas das plantas, bem como na eficiência econômica de sua produção (SHELFORD; BOTH, 2021). Identificar os requisitos ideais ou mínimos de luz para cada espécie de microverde, produzida em condição controlada, é fundamental na busca pelo aumento do rendimento e da qualidade das plantas (COCETTA *et al.*, 2017).

O objetivo desta pesquisa foi descrever a uniformidade, a distribuição espacial e a intensidade luminosa, bem como determinar aspectos biométricos e a eficiência de uso da energia na produção de microverdes de coentro submetidas a diferentes qualidades de iluminação e quantidades de fitas LED.

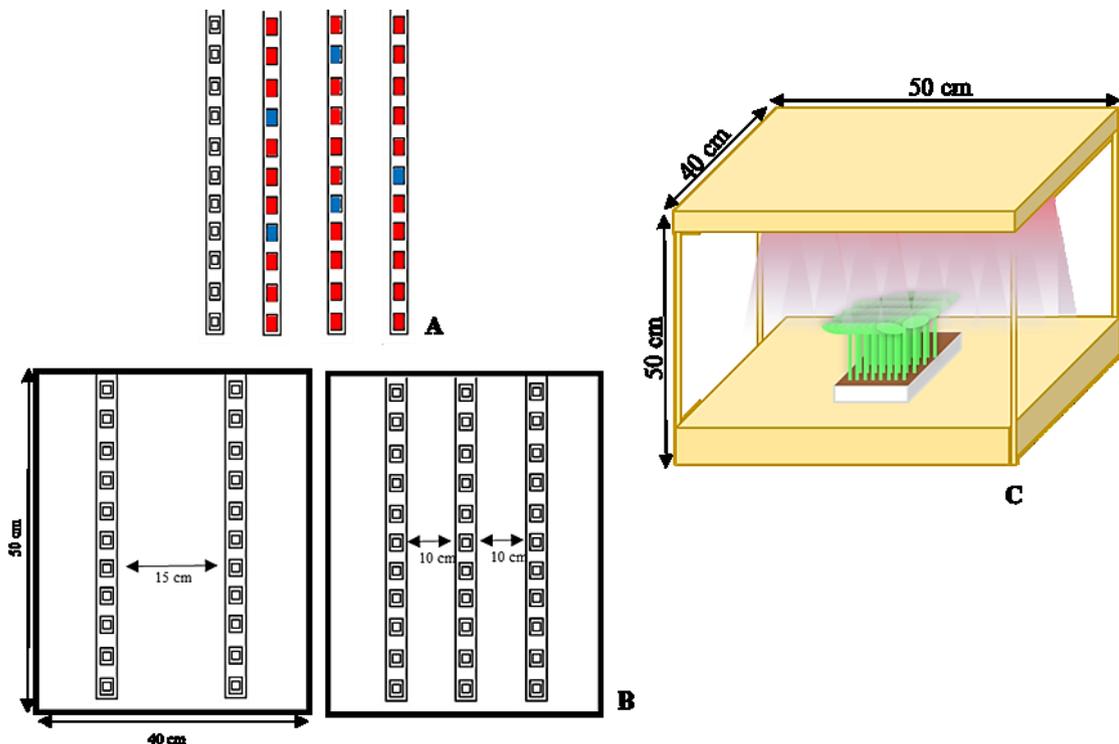
## 3.2 Material e métodos

### 3.2.1 Condições de crescimento e delineamento experimental

O experimento foi realizado na sala de crescimento de plantas do laboratório de Olericultura do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará-UFC, Campus Professor Prisco Bezerra, em Fortaleza-CE. Durante todo o experimento o ambiente foi mantido controlado. A temperatura ficou ajustada em  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  e a umidade relativa entre 60-70%.

O experimento foi realizado em esquema fatorial, com dois fatores (qualidade da luz e disposição de fitas LEDs). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em que cada bloco foi representado por uma estante de metal que continham os tratamentos, sendo 4 blocos/estantes. O fator qualidade da luz foi constituído de luz branca como controle (fita LED branca, modelo 2835 com  $60\text{ LEDs m}^{-1}$ ) e três diferentes proporções de luz vermelha (600-780 nm) e azul (400-500 nm), representadas respectivamente pelas letras “R” e “B” ao longo da fita LED (modelo 5050 com  $60\text{ LEDs m}^{-1}$ ), 3R:1B; 4R:1B e 5R:1B (Figura 1A).

Figura 1 - Exemplo ilustrativo das condições experimentais. Qualidades da luz, com fitas LED branca e diferentes proporções de R:B (vermelho/azul) (A); Disposição das fitas LED nos painéis luminosos (B); Disposição das bandejas expostas a iluminação (C). Fortaleza, CE, UFC, 2023



Fonte: elaborada pela autora.

O fator disposição das fitas LEDs, foi representado por duas quantidades de fitas LED nos painéis luminosos, 2 e 3 fitas LED dispostas paralelamente, em placas de isopor, e espaçadas em 15 e 10 cm, respectivamente, formando os painéis luminosos (Figura 1B). Os painéis foram instalados nas unidades experimentais a uma distância de 50 cm da superfície do substrato das bandejas de cultivo. Cada unidade experimental teve dimensões de 50 x 50 x 40 cm (altura x largura e comprimento, respectivamente), isolada com placas de isopor de 1,5 cm de espessura para evitar a interferência de luz dos outros tratamentos (Figura 1C). Em cada unidade experimental foi alocada uma bandeja de cultivo de microverdes de coentro que foi exposta à luz desde a semeadura. O fotoperíodo aplicado foi de 16 horas de luz/08 horas de escuro, automatizado por meio de um temporizador analógico (Golden cabo®).

Foram utilizadas bandejas de polipropileno com dimensões de 18 x 10 x 4,5 cm (comprimento, largura, altura). O substrato utilizado foi uma mistura de pó de côco, previamente lavado, misturado com vermiculita na proporção de 5:1 (v/v). O volume de substrato utilizado foi de 180 cm<sup>3</sup>, cerca de 60 g (peso seco). O pH e a condutividade elétrica do substrato foram medidos, utilizando uma proporção 1:2,5 de substrato: água destilada, formando uma solução na qual as medições foram realizadas (KYRIACOU *et al.*, 2020). Um medidor de condutividade elétrica de bancada (Marconi mCa -150®) e um medidor de pH (Mettler Toledo®) foram utilizados para essas medições. Os valores de pH e a condutividade elétrica do substrato foram 6,1 e 0,04 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente.

A semeadura, em cada bandeja, foi feita com 17 g, em média 2.000 sementes/frutos, da cultivar 'Verdão' (TopSeed®), que possui uma taxa de germinação de 80% e 99% de pureza (informação do fabricante). Após o preenchimento das bandejas com o substrato, as sementes foram acomodadas homogeneamente em toda a superfície, sendo adicionada uma cobertura com cerca de 32 g (substrato-semente-substrato - SSS), com espessura de, aproximadamente, 1 cm de altura acima das sementes.

Cada conjunto SSS foi irrigado por subirrigação com água destilada até que ficasse completamente umedecido, permanecendo nesta condição até o quarto dia após a semeadura. A partir do quinto dia após a semeadura, quando iniciou a emergência das plântulas, a irrigação passou a ser realizada com uma solução modificada de Hoagland e Arnon (1950), com um quarto de força e condutividade elétrica de 0,7 dS m<sup>-1</sup>, apresentando a seguinte concentração de macronutrientes (em mmol L<sup>-1</sup>): 15,0 N; 1,0 P; 6,0 K; 5,0 Ca; 2,0 Mg; 2,0 S; e micronutrientes (em μmol L<sup>-1</sup>): 90,0 Fe; 46,3 B; 18,30 Cl; 9,10 Mn; 0,8 Zn; 0,3 Cu e 0,1 Mo.

### 3.2.2 Avaliações de uniformidade e distribuição espacial da luz

A densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) foi medido na altura do dossel, com um medidor de Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) modelo “Spectrum Spec-3415A”. As medições foram realizadas dividindo-se a área em quadrantes de 5 cm<sup>2</sup>, totalizando 48 pontos amostrados para cada área de cultivo/painel luminoso, no qual foram registrados os valores mínimos, máximo e médio (calculado automaticamente pelo equipamento) de PPFD.

A uniformidade da luz (UN%) foi obtida das duas maneiras recomendadas pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE), uma delas pela razão entre a intensidade de luz mínima e máxima do painel luminoso ( $U = \text{Min}/\text{Max}$ ) (MOAVEN *et al.*, 2022). A outra pela razão entre a intensidade de luz mínima e média do painel luminoso ( $U = \text{Min}/\text{Média}$ ) (KIM *et al.*, 2014), medidas em  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

A distribuição espacial da intensidade foi ilustrada a partir das medições de PPFD nos 48 quadrantes de 5 cm<sup>2</sup> para cada área de cultivo/painel luminoso (MOAVEN *et al.*, 2022).

### 3.2.3 Avaliações biométricas, rendimento e eficiência de uso da energia

Aos 14 dias após a semeadura (DAS), foram coletadas 10 microverdes de coentro, de cada tratamento e repetição para as avaliações biométricas e de rendimento (JONES-BAUMGARDT *et al.*, 2019). A colheita foi feita com tesoura esterilizada com álcool 70%, cortando-se a cerca de 0,5 cm acima da região do colo da planta (XIAO *et al.*, 2012). As plantas foram retiradas cuidadosamente com porção de substrato, lavadas em água e secas em papel toalha.

As características avaliadas foram: comprimento (cm) e diâmetro (cm) do hipocótilo; comprimento de raiz (cm) e dos cotilédones (cm); largura dos cotilédones (cm); área foliar (cm<sup>2</sup>); área foliar específica (cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>); peso fresco e seco da parte aérea e da raiz (g); rendimento (kg m<sup>-2</sup>) e eficiência de uso da energia (kg<sup>-1</sup> kW h<sup>-1</sup>). A área foliar e os pesos fresco e seco foram avaliados para 10 plantas, já que seus valores individuais foram muito baixos.

O comprimento do hipocótilo foi medido do colo da planta ao ponto de inserção dos cotilédones. O diâmetro do hipocótilo foi medido em sua altura média com auxílio de um paquímetro digital. O comprimento da raiz foi medido do colo da planta ao ápice da raiz principal. O comprimento dos cotilédones foi medido desde o ponto de inserção do pecíolo no hipocótilo até seu ápice e a largura dos cotilédones foi medida em sua região média, com auxílio de paquímetro digital (Digimess®).

A área foliar foi medida por método direto com um integrador de área foliar LI-COR®, modelo LI 3100 e a área foliar específica obtida pela relação da área foliar com o peso seco de

parte aérea (FAN *et al.*, 2013).

O peso fresco foi medido com pesagem em balança analítica e o material vegetal fresco colocado em sacos de papel e levados para estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 65 °C por 48 horas. Após, determinou-se o peso seco com pesagem em balança analítica.

O rendimento (produção por área) foi calculado pesando-se a parte aérea (hipocótilos e cotilédones) de todas as plantas por bandeja (144 cm<sup>2</sup>), de cada tratamento e repetição. Seus resultados foram expressos em 1 m<sup>2</sup> (MORARU; ROSU e MINTAS, 2022).

A eficiência de uso da energia (EUE), foi calculada com base no rendimento (kg m<sup>-2</sup>) e no consumo de energia para a produção de microverdes de coentro (KONG; SCHIESTEL; ZHENG, 2019):

$$EUE = \frac{RD}{\Sigma CE}$$

onde:

RD - rendimento de microverdes em kg m<sup>-2</sup>;

ΣCE - eletricidade total consumida durante o cultivo em 1 m<sup>2</sup>- kW h<sup>-1</sup>.

O consumo de energia foi calculado com base na potência (Watts - W) dos LEDs utilizados em cada tratamento. A potência da fita LED R:B (modelo 5050, com 60 LEDs m<sup>-1</sup>) é de 14,4 W m<sup>-1</sup> e da fita LED branca (modelo 2835, com 60 LEDs m<sup>-1</sup>) de 4,8 W m<sup>-1</sup>. Uma vez que o rendimento das microverdes foi calculado para 1 m<sup>2</sup>, a potência dos LEDs também foi calculada para painéis luminosos de 1 m<sup>2</sup>, o que significaria a utilização de 4 e 6 fitas no painel de 1 m<sup>2</sup>, ou seja, na mesma proporção adotada neste trabalho. A potência de cada painel foi obtida multiplicando a potência de cada fita W m<sup>-1</sup> pela quantidade de fitas no painel. A potência de cada painel em Watts foi dividida por 1.000 para ser expressa em Quilowatt (kW), o que representa a potência total do painel, sendo então multiplicada pelo tempo de uso em horas, o que representa o consumo de energia (potência tempo<sup>-1</sup>), expressa em Quilowatt (kW h<sup>-1</sup>) (FRENZEL JÚNIOR, 2015).

### 3.2.4 Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando o sistema computacional estatístico SAS® (SAS Institute, 2012). O teste F foi aplicado para a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Os dados foram apresentados como média ± erro padrão.

### 3.3. Resultados e discussão

#### 3.3.1 Descrição da uniformidade e distribuição espacial da luz

Os painéis luminosos com luz branca, tanto em quantidade de 2 fitas e de 3 fitas, tiveram a menor intensidade média luminosa, comparado aos demais. Os painéis com três fitas LEDs tiveram maior PPFD média em todas as qualidades da luz, o que se deve a maior quantidade de fitas LEDs nessa configuração. A maior intensidade média de fótons foi verificada sob luz R4:B1 ( $8,4 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), com três fitas LEDs, seguida da proporção de R5:R1 ( $7,1 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) e R3:B1 ( $6,8 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), também com 3 fitas (Quadro 1).

Quadro 1- Intensidade média, máxima e mínima, e uniformidade (%) da luz nos painéis luminosos. Fortaleza, CE, UFC, 2023

Qualidade da luz	Disposição das fitas LED nos painéis	<sup>3</sup> PPFD ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )			Uniformidade %	
		Média	Máx.	Mín.	Mín/ Média	Mín/ Máx
Branca	2 fitas (15 cm)	1,8	1,9	1,4	74	78
<sup>1</sup> R3: <sup>2</sup> B1	2 fitas (15 cm)	3,0	4,0	1,8	60	45
R4: B1	2 fitas (15 cm)	5,0	5,8	3,2	64	55
R5: B1	2 fitas (15 cm)	5,6	6,8	3,7	66	54
Branca	3 fitas (10 cm)	2,0	2,2	1,5	75	68
R3: B1	3 fitas (10 cm)	6,8	7,7	4,7	69	61
R4: B1	3 fitas (10 cm)	8,4	9,9	5,0	60	51
R5: B1	3 fitas (10 cm)	7,1	8,0	4,8	68	60

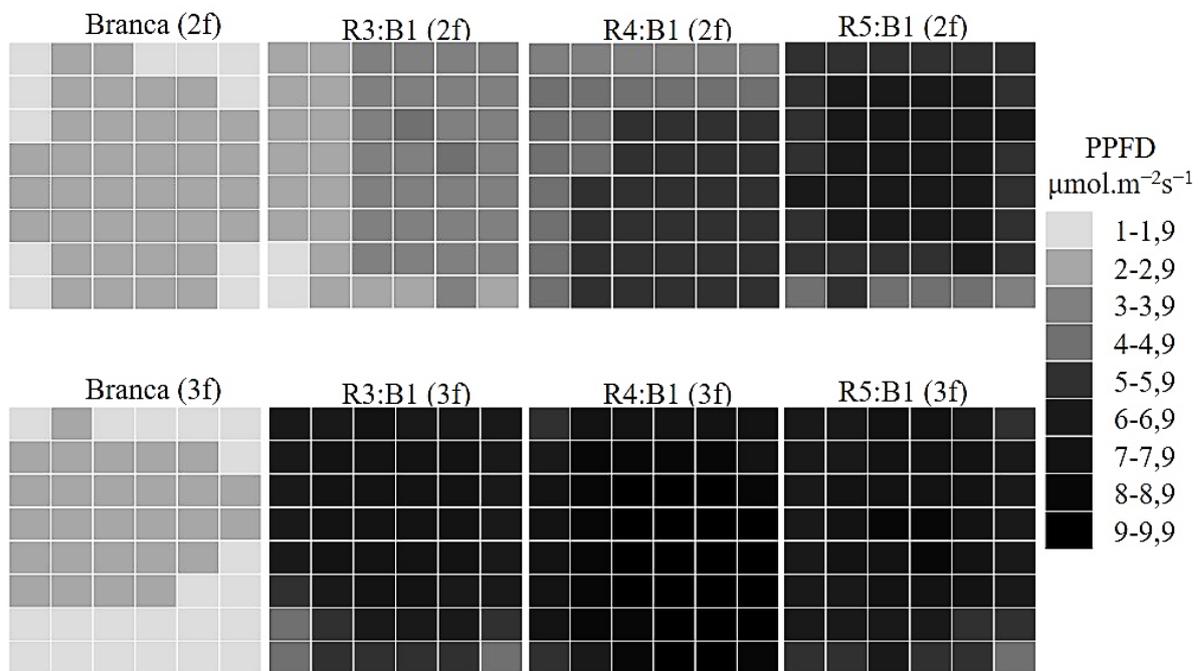
Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>R: Red (luz vermelha); <sup>2</sup>B: Blue (luz azul); <sup>3</sup>PPFD: Densidade de Fluxo de fótons fotossinteticamente ativos.

A maior uniformidade no sistema de iluminação, nos dois métodos avaliados, foi para a iluminação com luz branca. Os cálculos pelos dois métodos realizados indicaram diferenças nas uniformidades de cada conjunto de iluminação. Os painéis com luz branca, apresentaram uniformidade semelhante nos dois métodos, o que está relacionado com a similaridade entre os valores mínimo, máximo e médio de PPFD. Nos painéis com iluminação RB, a uniformidade foi maior quando calculada em função da média de PPFD, uma vez que os valores máximos (utilizados no segundo cálculo), foram bem acima da média, reduzindo a uniformidade nos cálculos.

Apesar da uniformidade ter sido menor nos painéis R:B, comparado aos painéis com luz branca, esse resultado não indica sobre a distribuição de fótons com valores acima da média, ou seja, com maior intensidade, para isso as medições de PPFD foram realizadas em 48 quadrantes de  $5 \text{ cm}^2$  para cada área de cultivo/painel luminoso (Figura 2). Essa distribuição

espacial da intensidade também é um parâmetro de uniformidade da irradiância de fótons, refletindo o alcance relativo do conjunto de dados medidos e a diversidade com que se apresentam (BALÁZS *et al.*, 2022).

Figura 2 - Distribuição espacial da intensidade (PPFD,  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) nos painéis luminosos: medidos em plano horizontal à uma distância de 50 cm da fonte luminosa para a superfície do substrato nas bandejas. Fortaleza, CE, UFC, 2023



Fonte: elaborada pela autora. Legenda: R: Red (luz vermelha); B: Blue (luz azul); PPFD: Densidade de Fluxo de fótons fotossinteticamente ativos.

A distribuição espacial da intensidade indica que as menores uniformidades em R:B podem estar em função de valores mínimos extremos utilizados nos cálculos, ou seja, de pontos discrepantes obtidos nas leituras de PPFD, principalmente nas extremidades na área de cultivo, revelando um efeito de borda.

A distribuição espacial da intensidade também nos mostra que os painéis com 3 fitas apresentam uma distribuição de fótons de maior intensidade na porção mais centralizada do painel. Isso pode ter ocorrido devido a sobreposição da iluminância gerada pelos LEDs mais próximos. A iluminância de um ponto é uma superposição da iluminância gerada por todos os LEDs, sendo que um padrão de luz circular de um LED tem capacidade de iluminação de 60 mm de raio em um plano (ZONG *et al.*, 2010).

Os painéis com luz R4:B1 e R5:B1, com 3 fitas, tiveram uma melhor distribuição espacial em toda a área de cultivo. Portanto, a menor uniformidade calculada pode ser melhorada pela instalação adicional de LEDs, o que contribuirá para uma distribuição espacial mais uniforme e com maior intensidade.

### 3.3.2 Características biométricas, rendimento e eficiência de uso da energia

Verificou-se significância ( $p < 0,05$ ) nos dados submetidos à análise de variância (ANOVA) com efeito isolado para todas as variáveis analisadas em microverdes de coentro produzidas nas diferentes qualidades da luz, exceto para o peso seco da raiz (PSR), que não diferiu. Também verificamos efeito isolado de acordo com a quantidade de fitas dispostas no painel luminoso para o diâmetro do hipocótilo (DH), comprimento (CC) e largura do cotilédone (LC), rendimento (RD) e eficiência de uso da energia (EUE). Já para a interação entre os fatores, verificou-se significância apenas para o comprimento da raiz (CR) (Tabela 1).

Tabela 1- Resumo da análise de variância para características biométricas, rendimento e eficiência de uso da energia para microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz e duas quantidades de fitas LEDs. Comprimento (CH) e diâmetro (DH) do hipocótilo, comprimento da raiz (CR) e do cotilédone (CC), largura do cotilédone (LC), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), peso fresco da parte aérea (PFA) e da raiz (PFR), peso seco da parte aérea (PSA) e da raiz (PSR), rendimento (RD) e eficiência de uso da energia (EUE). Fortaleza, CE, UFC, 2023

Variável analisada	Pr > Fc- Fontes de variações				
	<sup>2</sup> (QL)	<sup>3</sup> (QF)	QL x QF	Bloco	<sup>4</sup> CV%
CH (cm)	0,0009*	0,5524 <sup>ns</sup>	0,7698 <sup>ns</sup>	0,0605 <sup>ns</sup>	5,76
DH (cm)	0,0221*	0,0227*	0,7477 <sup>ns</sup>	0,5967 <sup>ns</sup>	8,64
CR (cm)	0,0007*	0,6640 <sup>ns</sup>	0,0003*	0,7752 <sup>ns</sup>	10,26
CC (cm)	0,0011*	0,0179*	0,9422 <sup>ns</sup>	0,8507 <sup>ns</sup>	10,50
LC (cm)	0,0000*	0,0087*	0,0812 <sup>ns</sup>	0,1219 <sup>ns</sup>	7,95
AF (cm <sup>2</sup> )	0,0001*	0,4058 <sup>ns</sup>	0,0617 <sup>ns</sup>	0,1635 <sup>ns</sup>	7,62
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	0,0009*	0,7789 <sup>ns</sup>	0,1479 <sup>ns</sup>	0,3271 <sup>ns</sup>	17,69
PFA (g)	0,0393*	0,4715 <sup>ns</sup>	0,3975 <sup>ns</sup>	0,0160*	15,44
PFR (g)	0,0002*	0,5460 <sup>ns</sup>	0,3366 <sup>ns</sup>	0,0070*	36,14
PSA (g)	0,0002*	0,6860 <sup>ns</sup>	0,6123 <sup>ns</sup>	0,2405 <sup>ns</sup>	21,91
PSR (g)	0,7313 <sup>ns</sup>	0,1395 <sup>ns</sup>	0,1947 <sup>ns</sup>	0,2672 <sup>ns</sup>	39,35
RD (kg m <sup>-2</sup> )	0,0002*	0,0032*	0,7815 <sup>ns</sup>	0,8288 <sup>ns</sup>	15,41
EUE (kg <sup>-1</sup> kW h <sup>-1</sup> )	0,0000*	0,0003*	0,3107 <sup>ns</sup>	0,6837 <sup>ns</sup>	15,19
<sup>1</sup> GL	3	1	3	3	

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>Grau de liberdade (GL); <sup>2</sup>Qualidade da luz (QL); <sup>3</sup>Quantidade de fitas (QF); <sup>4</sup>Coefficiente de variação; \*Significativo em nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup>: Não significativo ( $p \geq 0,05$ ).

O comprimento do hipocótilo (CH) não diferiu entre as plantas cultivadas sob luz branca (8,08 cm), R3:B1 (8,27 cm) e R4:B1 (8,53 cm), cujos comprimentos foram maiores que plantas cultivadas sob a proporção luminosa de R5:B1 (7,43 cm) (Tabela 2).

Tabela 2- Efeito isolado para características biométricas, rendimento e eficiência de uso da energia para microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz e duas quantidades de fitas LEDs. Comprimento (CH) e diâmetro (DH) do hipocótilo, comprimento da raiz (CR) e do cotilédone (CC), largura do cotilédone (LC), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), peso fresco da parte aérea (PFA) e da raiz (PFR), peso seco da parte aérea (PSA) e da raiz (PSR), rendimento (RD) e eficiência de uso da energia (EUE). Fortaleza, CE, 2023

Variável analisada	Qualidade da luz				
	Branca	<sup>1</sup> R3: <sup>2</sup> B1	R4:B1	R5:B1	<sup>3</sup> DMS
CH (cm)	8,08 <sup>0,23</sup> a	8,27 <sup>0,20</sup> a	8,53 <sup>0,03</sup> a	7,43 <sup>0,14</sup> b	0,64
DH (cm)	0,71 <sup>0,02</sup> a	0,64 <sup>0,02</sup> ab	0,64 <sup>0,01</sup> ab	0,59 <sup>0,01</sup> b	0,08
CR (cm)	5,92 <sup>0,33</sup> b	7,53 <sup>0,34</sup> a	6,84 <sup>0,39</sup> ab	7,39 <sup>0,27</sup> a	0,99
CC (cm)	2,61 <sup>0,08</sup> b	3,34 <sup>0,16</sup> a	3,14 <sup>0,07</sup> a	3,22 <sup>0,12</sup> a	0,45
LC (cm)	0,32 <sup>0,006</sup> c	0,45 <sup>0,019</sup> ab	0,43 <sup>0,010</sup> b	0,49 <sup>0,019</sup> a	0,04
AF (cm <sup>2</sup> )	22,48 <sup>0,67</sup> b	26,03 <sup>0,73</sup> a	26,66 <sup>0,97</sup> a	27,80 <sup>0,72</sup> a	2,74
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	1.696,00 <sup>122,90</sup> a	1.267,07 <sup>74,47</sup> b	1.135,68 <sup>76,01</sup> b	1.306,48 <sup>69,72</sup> b	333,18
PFA (g)	0,355 <sup>0,022</sup> b	0,390 <sup>0,031</sup> ab	0,432 <sup>0,031</sup> a	0,383 <sup>0,011</sup> ab	0,06
PFR (g)	0,032 <sup>0,005</sup> b	0,050 <sup>0,007</sup> a	0,026 <sup>0,003</sup> b	0,018 <sup>0,004</sup> b	0,004
PSA (g)	0,012 <sup>0,0010</sup> b	0,021 <sup>0,0010</sup> a	0,023 <sup>0,0014</sup> a	0,021 <sup>0,0010</sup> a	0,006
RD (kg m <sup>-2</sup> )	1,12 <sup>0,04</sup> b	1,65 <sup>0,12</sup> a	1,63 <sup>0,09</sup> a	1,68 <sup>0,08</sup> a	0,33
EUE (kg <sup>-1</sup> kW h <sup>-1</sup> )	0,21 <sup>0,012</sup> a	0,10 <sup>0,009</sup> b	0,10 <sup>0,006</sup> b	0,11 <sup>0,004</sup> b	0,03

Variável analisada	Quantidade de fitas no painel luminoso		
	3 fitas	2 fitas	DMS
DH (cm)	0,62 <sup>0,01</sup> b	0,673 <sup>0,018</sup> a	0,04
CC (cm)	3,23 <sup>0,09</sup> a	2,93 <sup>0,10</sup> b	0,24
LC (cm)	0,44 <sup>0,021</sup> a	0,41 <sup>0,014</sup> b	0,02
RD (kg m <sup>-2</sup> )	1,66 <sup>0,08</sup> a	1,38 <sup>0,07</sup> b	1,17
EUE (kg <sup>-1</sup> kW h <sup>-1</sup> )	0,11 <sup>0,01</sup> b	0,14 <sup>0,01</sup> a	1,15

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>R: Red (luz vermelha); <sup>2</sup>B: Blue (luz azul); <sup>3</sup>DMS: diferença mínima significativa; Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

O maior comprimento do hipocótilo entre as plantas cultivadas sob luz branca (8,08 cm), pode ser explicado por um alongamento em resposta de evitação à sombra (à ausência de luz) que ocorreu com as baixas intensidades luminosas (BOCCACCINI *et al.*, 2020). Já sob iluminação R3:B1 (8,27 cm) e R4:B1 (8,53 cm) pode ser explicado pelo fototropismo ou alongamento celular diferencial exibido por um órgão da planta em resposta à luz direcional, que fornece, à planta, um meio de otimizar a captura de luz fotossintética (LISCUM *et al.*, 2014).

O alongamento do hipocótilo em resposta de evitação à sombra provoca o crescimento estiolado dos hipocótilos, um mecanismo que permite à planta acessar a luz. Em plantas estioladas, o hipocótilo cresce rapidamente e predominantemente por extensão das células, o que é causado pelo aumento da absorção de água, gerando aumento no volume da célula e na pressão de turgescência (KUSNETSOV *et al.*, 2020). Hormônios como as giberelinas, promovem o estiolamento dos hipocótilos, devido a regulação positiva de proteínas PIF

(Fatores de interação do fitocromo) que regulam a escotomorfogênese (KUSNETSOV *et al.*, 2020).

O estiolamento geralmente é associado ao crescimento na ausência de luz o que é denominado escotomorfogênese, enquanto o crescimento sob disponibilidade luminosa é chamado de fotomorfogênese (SELUZICKI; BURKO; CHORY, 2017). Na escotomorfogênese, o estiolamento envolve o desenvolvimento de etioplastos em tecidos que teriam cloroplastos se submetidos à luz. Os etioplastos não contêm clorofila ou membranas tilacoidais empilhadas, mas possuem uma estrutura paracristalina lipídio-pigmento-proteína conhecida como corpo prolamelar (ARMAREGO-MARRRIOTT *et al.*, 2019).

Nesta pesquisa, observou-se coloração verde em todos os hipocótilos, indicando a presença de clorofilas nessas estruturas, além disso as plantas com maior comprimento de hipocótilos não tiveram privação de luz, mas, podem ter sido influenciadas pela qualidade e a intensidade da luz. A luz é um fator ambiental chave que controla o crescimento e a morfogênese das plantas e o processo de fototropismo desde a detecção da luz até o crescimento do hipocótilo, e envolve numerosos componentes de sinalização (XIN *et al.*, 2022). Portanto, as plantas podem regular o metabolismo de auxinas e giberelinas por meio da sinalização de fotorreceptores mediada por fototropinas (phot), fitocromos (phy) e criptocromos (cry) e, assim, controlam seus padrões de crescimento do hipocótilo, incluindo o alongamento, para se adaptar a diferentes ambientes de luz (TSUCHIDA-MAYAMA *et al.*, 2010).

No geral, o fototropismo do hipocótilo é estudado na planta modelo *Arabidopsis* relacionado as respostas de luz azul, que é modulado por pelo menos sete fotorreceptores (phot1, phot2, cry1, cry2, phyA, phyB e phyD) (WHIPPO; HANGARTER, 2004). Phot1 e Phot2 são estruturalmente semelhantes, mas são funcionalmente distintas, a fototropina 1 (phot1) é o fotorreceptor primário que medeia o fototropismo em todas as condições de luz azul, enquanto a phot2 medeia o fototropismo do hipocótilo em resposta apenas a altas taxas de fluência de luz azul (SAKAI *et al.*, 2001).

Quanto à fluência da luz azul, são consideradas luz azul de baixa fluência ( $0,01 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1} \sim 1 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) e luz azul de alta fluência ( $>1 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) (SUZUKI *et al.*, 2019). Neste estudo não foram quantificadas a fluência de luz azul monocromática, porém, em todas as combinações luminosas e na luz branca, a PPFD foi acima de  $>1 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Dentro da fluência  $>1 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , a phot1 pode mediar a flexão do eixo do hipocótilo causando seu alongamento (XIN *et al.*, 2022).

Assim como a luz azul, a luz vermelha pode influenciar no fototropismo. Os fitocromos são os fotorreceptores de luz vermelha, as duas isoformas fotoconversíveis dos fitocromos são a forma de absorção de luz vermelha (Pr) e a forma de absorção de luz vermelha distante (Pfr)

(WANG *et al.*, 2020). Cinco membros da família de fitocromos (phyA a phyE) são descritos na planta modelo *Arabidopsis* e são responsáveis por mediar as respostas das plantas à luz vermelha (R) (600-700 nm) e/ou luz vermelha distante (FR) (700-750 nm) e phyA está principalmente envolvido em resposta à luz FR. Os fitocromos (phyA e phyB) são fotorreceptores cruciais que regulam a fotomorfogênese em múltiplas vias de sinalização de luz, com as relações sinérgicas e antagônicas sob diferentes condições de luz e diferentes intensidades de luz (SU *et al.*, 2015).

A luz vermelha (R) transforma Pr em Pfr biologicamente ativo para induzir respostas mediadas por fitocromos, como desetiolação, por outro lado, a luz FR inativa os fitocromos convertendo Pfr de volta em Pr (SU *et al.*, 2017). PhyB é um importante fotorreceptor que medeia a inibição do alongamento do hipocótilo na luz vermelha contínua (KIM *et al.*, 2016). Quanto maior a relação R/FR ou quanto maior o fotoequilíbrio menor será o crescimento do hipocótilo (TAIZ *et al.*, 2017), o que ocorreu em plantas cultivadas com iluminação R5:B1 (7,43, tabela 2), com maior proporção de luz vermelha.

O diâmetro do hipocótilo (DH) foi maior sob luz branca (0,71 cm), seguido de R3:B1 (0,64 cm) e R4:B1 (0,64 cm), que não diferiram, sendo menor em plantas cultivadas sob a proporção luminosa de R5:B1 (0,59 cm). O DH foi maior em plantas cultivadas com 2 fitas (0,67 cm), ou seja, quanto menor a intensidade luminosa, observada nos painéis com duas fitas, maior o diâmetro do hipocótilo (Tabela 2). As plantas com maior DH também foram aquelas que apresentaram aspecto estiolado, o que difere do que é relatado na literatura, no qual plantas estioladas apresentam-se mais delgadas (MENG; BOLDT; RUNKLE, 2020). Uma possível explicação se deve à extensão irreversível da parede celular que ocorre durante o alongamento da célula, após a absorção de água, que é então armazenada em vacúolos, e provoca o afrouxamento da parede (PERROT-RECHENMANN, 2010).

O maior DH sob maior proporção de luz azul já é conhecido (ZHANG *et al.*, 2018; XU *et al.*, 2020). Sob luz azul, a expressão de genes de síntese de carboidratos estruturais foram regulados positivamente e as células corticais tornaram-se maiores e de forma mais regular, assim como as células do xilema que também aumentam de tamanho (WANG *et al.*, 2023).

O comprimento da raiz (CR) foi maior em plantas cultivadas sob a proporção luminosa de R5:B1 (7,39 cm), não diferindo das plantas cultivadas em R3:B1 (7,53 cm) e R4:B1 (6,84 cm), sendo menor nas plantas cultivadas sob luz branca (Tabela 2). O menor CR observado nas plantas sob luz branca é típico de um fenótipo escotomorfogênico que, além de hipocótilos alongados, apresentam raízes encurtadas e cotilédones pequenos e fechados (ARMAREGO-MARRIOTT *et al.*, 2019).

O CR também pode ser estimulado pela luz. A luz vermelha contribui para uma resposta fototrópica radicular positiva, devido ao estímulo para o aumento da concentração de auxinas que estão envolvidas no alongamento da raiz (HALLIDAY; MARTINEZ-GARCIA; JOSSE, 2009). O aumento da concentração de auxinas nas raízes pode estar relacionado ao aumento de transportadores de efluxo de auxina, já tendo sido relatado que a luz vermelha aumenta a distribuição de PIN1 e PIN2 (SASSI *et al.*, 2012; VAN GELDEREN *et al.*, 2018) e o acúmulo de proteínas HY5 para ativar a expressão de LAZY4, que promove gravitropismo positivo nas raízes (YANG *et al.*, 2020).

O comprimento do cotilédone (CC), foi maior nas microverdes cultivadas em iluminação vermelho: azul, para todas as proporções comparadas à luz branca, que diferiu dos demais tratamentos, apresentando o menor comprimento. A largura do cotilédone (LC) foi maior nas microverdes cultivadas em R5:B1 (0,49 cm) e R3:B1 (0,33 cm), seguidas das plantas cultivadas em R4:B1 (0,31 cm) e sob luz branca (0,26 cm), que apresentou o menor valor, diferindo das demais (Tabela 2). O CC e a LC também foram maiores quando a iluminação foi distribuída em 3 fitas.

Os cotilédones são órgãos de origem embrionária, com isso possuem divisão celular ausente ou insignificante durante seu crescimento após a germinação. As células vegetais predominantemente mostram expansão anisotrópica, na qual a taxa e a direção do crescimento variam em toda a superfície da célula, enquanto as células no hipocótilo e da raiz mostram crescimento ao longo da direção longitudinal em suas paredes laterais em toda a superfície. Em outro padrão de crescimento, as células dos cotilédones apresentam múltiplas polaridades de crescimento em diferentes segmentos de sua superfície (RATH *et al.*, 2022).

A expansão dos cotilédones em plantas dicotiledôneas é um processo de desenvolvimento dependente de luz, sendo que o phyB, que é ativado pela luz vermelha, pode promover a expansão das células dos cotilédones, produzindo assim folhas mais largas e, portanto, mais arredondadas (NEFF; VAN VOLKENBURGH, 1994), como ocorreu nas microverdes cultivadas em R5:B1, que apresentou maiores CC e LC.

Os sinais de luz relevantes são amplamente divergentes em diferentes contextos de desenvolvimento. Os fitocromos (phy) A e B fornecem às plantas superiores a capacidade de perceber sinais de luz divergentes (LUCCIONI *et al.*, 2002). Enquanto mostramos que sob maior proporção de luz vermelha os hipocótilos apresentaram comprimentos menores, devido a inativação do fitocromo B, análises de transcriptoma de microamostras mostraram que os cotilédones induzem a expressão dependente de auxina e PIF7 de genes de crescimento de forma autônoma nos próprios cotilédones, demonstrando autonomia celular das funções dos fitocromos (NITO *et al.*, 2015).

Os maiores CC e LC apresentados nas plantas sob luz R5:B1, com maior proporção de luz vermelha, também podem ser explicados pela menor proporção de luz azul nessa configuração luminosa. Fótons azuis reduzem a expansão da folha em quase todas as espécies, devido a absorção por pigmentos inativos (por exemplo, antocianina), com isso, os fótons azuis são aproximadamente 20% menos eficientes fotossinteticamente do que os fótons do LED vermelho mais comuns (SNOWDEN *et al.*, 2016; HERNÁNDEZ *et al.*, 2016).

Em um estudo com rúcula, repolho, couve e mostarda, todas as microverdes desenvolveram cotilédones maiores quando tratados com luz vermelha monocromática em comparação com LEDs contendo azul (YING; KONG; ZHENG, 2020). Em estudo com microverdes de mostarda, manjerição verde e ervilha, conforme aumentava a proporção de luz vermelha (relação vermelho/azul: 9), aumentava também o tamanho dos cotilédones (BANTIS, 2021).

A área foliar (AF) e o peso fresco da parte aérea (PFA) também foram maiores nas plantas cultivadas em iluminação vermelho:azul, para todas as proporções comparadas à luz branca, que diferiu dos demais tratamentos. Isso pode estar relacionado ao resultado semelhante de CC e LC (Tabela 2). A proporção da área foliar indica a quantidade de área foliar disponível para captura de radiação para conduzir a fotossíntese e acúmulo de biomassa (MENG; BOLDT; RUNKLE, 2020). Neste estudo, o tamanho reduzido de estruturas fotossintéticas sob luz branca (CC, LC e AF) também foi associado ao acúmulo reduzido de biomassa.

A área foliar específica (AFE), foi maior nos tratamentos sob luz branca (1.696,00 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) e R5:B1 (1.306,48 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) que não diferiram entre si. A maior AFE em luz branca pode estar relacionada à menor espessura dos cotilédones e do peso seco de parte aérea utilizada nos cálculos, enquanto que em R5:B1, a AFE pode ter sido aumentada devido a maior AF deste tratamento (HOOKS *et al.*, 2021).

O peso fresco da raiz (PFR), foi maior sob proporção de luz R3:B1 (0,050 g), seguido da luz branca (0,032 g), que não diferiu dos demais tratamentos. Este parâmetro apresentou o maior coeficiente de variação dentre os parâmetros avaliados, demonstrando heterogeneidade das amostras avaliadas, que pode ter ocorrido pela dificuldade de retiradas das raízes intactas do meio de cultivo, o que também é um motivo pelo qual as raízes de microverdes não são consumidas, diferente do que ocorre em brotos (HOANG; VŨ, 2020).

O peso seco da parte aérea (PSA) seguiu os resultados de PFA, sendo maior também nas plantas cultivadas em iluminação vermelho:azul, para todas as proporções comparadas à luz branca (Tabela 2). O acúmulo de biomassa das plantas cultivadas em iluminação R:B também pode estar associado aos fitocromos, que exercem forte controle sobre a produção de biomassa vegetal, uma vez que mutantes phy diminuíram massivamente a assimilação de CO<sub>2</sub>

e a biomassa e elevaram os níveis de vários metabólitos centrais que contribuem menos para a biomassa, incluindo ácidos orgânicos, aminoácidos, açúcares e indicadores de estresse, como prolina e rafinose (YANG *et al.*, 2016).

O rendimento (RD), também foi maior nas plantas cultivadas em iluminação vermelho:azul, R3:B1 (1,65 kg m<sup>-2</sup>), R4:B1 (1,63 kg m<sup>-2</sup>) e R4:B1 (1,68 kg m<sup>-2</sup>) para todas as proporções comparadas à luz branca (1,12 kg m<sup>-2</sup>), seguindo de acordo com CC, LC, AF e PSA (Tabela 2). Quanto maior a área foliar, maior é a interceptação de luz, o que contribui para o aumento significativo da biomassa (HILTY *et al.*, 2021; LIN *et al.*, 2022).

O RD também foi superior em plantas iluminadas com 3 fitas. A taxa de fotossíntese da planta inteira depende de quanta luz a planta intercepta (KRAHMER *et al.*, 2021). Os painéis com 3 fitas disponibilizaram maior densidade de fluxo de fótons fotossintéticos, uniformidade e distribuição espacial, o que pode ter contribuído para uma maior interceptação de luz e maior rendimento das microverdes de coentro.

A eficiência de uso da energia (EUE) foi maior em plantas cultivadas sob iluminação branca (0,21 kg<sup>-1</sup>kW h<sup>-1</sup>) e com 2 fitas (0,14 kg<sup>-1</sup>kW h<sup>-1</sup>) (Tabela 2). O cálculo da EUE, leva em consideração o consumo de energia para o cultivo das plantas. Para calcular o consumo é levado em consideração a potência dos LEDs, sendo que a potência de 1 metro de cada fita LED R:B utilizada (14,4 W m<sup>-1</sup>) é bem maior que da fita LED branca (4,8 W m<sup>-1</sup>), além disso, quando é aumentado o número de fitas, também aumenta a potência do painel e, por consequência, o consumo de energia, assim nas 224 horas de luz utilizadas durante os 14 dias de cultivo, foram consumidos 4,30 kW h<sup>-1</sup> sob luz branca e 12,90 kW h<sup>-1</sup> em R:B com duas fitas, e 6,45 kW h<sup>-1</sup> sob luz branca e 19,35 kW h<sup>-1</sup> em R:B com três fitas.

Dependendo da produção da cultura, uma configuração de iluminação específica e o desempenho geral relacionado do sistema de iluminação podem ser aceitáveis ou insatisfatórios para o produtor (BALÁZS *et al.*, 2022). A luz branca e a iluminação com 2 fitas LEDs, teve um rendimento menor de microverdes, mas, com menor consumo de energia, o que resultou em maior eficiência de seu uso.

### **3.4. Conclusão**

A utilização de 3 fitas LEDs nos painéis luminosos melhora a distribuição espacial e aumenta a intensidade da luz, sendo que microverdes de coentro cultivadas em iluminação vermelho e azul apresentaram características biométricas e rendimento superiores às sob iluminação branca. O menor consumo de energia em painéis com duas fitas LEDs e com luz branca resultou em maior eficiência de uso da energia, embora com menores rendimentos.

## REFERÊNCIAS

- ARMAREGO-MARRIOTT, T.; SANDOVAL-IBANEZ, O.; KOWALEWSKA, L. Beyond the darkness: recent lessons from etiolation and de-etiolation studies, **J. Exp. Bot.**, [Oxford] vol. 71, 1215-1225, 2019.
- BALÁZS, L.; DOMBI, Z.; CSAMBALIK, L.; SIPOS, L. Characterizing the Spatial Uniformity of Light Intensity and Spectrum for Indoor Crop Production. **Horticulturae**, [Basel] 8, 1-16, 2022.
- BANTIS F. Light Spectrum Differentially Affects the Yield and Phytochemical Content of Microgreen Vegetables in a Plant Factory. **Plants**, [Basel] 1-16, 2021.
- BOCCACCINI, A.; LEGRIS, M.; KRAHMER, J.; ALLENBACH-PETROLATI, L.; GOYAL, A.; GALVAN-AMPUDIA, C.; VERNOUX, T.; KARAYEKOV, E.; CASAL, J. J.; FANKHAUSER, C. Low Blue Light Enhances Phototropism by Releasing Cryptochrome1-Mediated Inhibition of PIF4 Expression. **Plant Physiol.**, [Rockville] 183(4):1780-1793, 2020.
- CARACCIOLO F., EL-NAKHEL C., RAIMONDO M., KYRIACOU M.C., CEMBALO L., DE PASCALE S., ROUPHAEL Y. Sensory Attributes and Consumer Acceptability of 12 Microverdes Species. **Agronomy**, [Basel] 10:1043. 2020.
- CHOI, D.S.; NGUYEN, T.K.L.; OH, M.M. Growth and biochemical responses of kale to supplementary irradiation with different peak wavelengths of UV-A light-emitting diodes. **Hortic. Environ. Biotechnol.**, [Heidelberg] 63, 65-76, 2022.
- COCETTA, G.; CASCIANI, D.; BULGARI, R.; MUSANTE, F.; KOLTON, A.; ROSSI, M.; FERRANTE, A. Light use efficiency for vegetables production in protected and indoor environments. **Eur. Phys. J. Plus**, [Heidelberg] 132 (43) 1-15, 2017.
- DAS, M.; DHAR, A. Nutritional and Functional Quality of Mustard and Coriander Greens at Different Phases of Development. **Curr Res Nutr Food Sci.**, [Des Moines] 11(1), 2023.
- FAN, X.; XU, Z.; LIU, X.; TANG, C.; WANG, L.; HAN, X. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. **Scientia Horticulturae**, [Amsterdam] 153. 50-55, 2013.
- FRĄSZCZAK, B.; KULA-MAXIMENKO, M. The Biometric Parameters of Microgreen Crops Grown under Various Light Conditions. **Agriculture**, [Basel] 12: 576, 1-10, 2022.
- FRENZEL JR., L. E. **Eletrônica Moderna: Fundamentos, Dispositivos, Circuitos e Sistemas**, Editora: McGraw Hill Brasil, 2015, 840p.
- FUJIWARA, K. Radiometric, Photometric and Photonmetric Quantities and Their Units. In **LED Lighting for Urban Agriculture**, Kozai, T., Fujiwara, K., Runkle, E.S., Eds.; Springer: Singapore. 367-376, 2016.
- HALLIDAY, K.J.; MARTINEZ-GARCIA, J.F.; JOSSE, E.M. Integration of light and auxin signaling. **Cold Spring Harbor Perspect. Biol.**, [Cold Spring Harbor] 1-11, 2009.
- HERNÁNDEZ, R.; KUBOTA, C. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. **Environ. Exp. Bot.**, [Amsterdam] 121, 66-74, 2016.

HILTY, J.; MULLER, B.; FLORENT, P.; LEUZINGER, S. Plant growth: the What, the How, and the Why. **New Phytologist**, [Hoboken] 232, 25-41, 2021.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. The water-culture method for growing plants without soil. **Circ. Calif. Agric. Exp.**, [Oakland] Stn. 1950, 347p.

HOANG, M.; VŨ, T. Effects of growing substrates and seed density on yield and quality of radish (*Raphanus sativus*) microgreens. **Research on Crops**, [Nova Delhi] 21. 579-586, 2020.  
HOOKS, T.; MASABNI, J.; SUN, L.; NIU, G. Effect of Pre-Harvest Supplemental UV-A/Blue and Red/Blue LED Lighting on Lettuce Growth and Nutritional Quality. **Horticulturae**, [Basel] 7. 80, 2021.

JAMBOR, T.; KNIZATOVA, N.; VALKOVA, V.; TIRPAK, F.; GREIFOVA, H.; KOVACIK, A.; LUKAC, N. MICROGREENS AS A FUNCTIONAL COMPONENT OF THE HUMAN DIET: A REVIEW. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, [s. l.] 12(1), e5870, 2022.

JONES-BAUMGARDT, C.; LLEWELLYN, D.; YING, Q.; ZHENG, Y. Intensity of sole-source light emitting diodes affects growth, yield, and quality of Brassicaceae microverdes. **HortScience**, [Alexandria] 1168- 1174, 2019.

KATSENIOS, N.; CHRISTOPOULOS, M. V.; KAKABOUKI, I.; VLACHAKIS, D.; KAVVADIAS, V.; EFTHIMIADOU, A. Effect of Pulsed Electromagnetic Field on Growth, Physiology and Postharvest Quality of Kale (*Brassica oleracea*), Wheat (*Triticum durum*) and Spinach (*Spinacia oleracea*) Microgreens. **Agronomy**, [Basel] 11, 1364, 1-13, 2021.

KIM, J.; SONG, K.; PARK, E.; KIM, K.; BAE, G.; CHOI, G. Epidermal Phytochrome B Inhibits Hypocotyl Negative Gravitropism Non-Cell-Autonomously. **Plant Cell**, [Rockville] 28 (11): 2770-2785, 2016.

KIM, M. J.; CHOO, Y. K.; KIM, U. J.; CHUNG, S. O. Evaluation of Light Intensity and Uniformity of LEDs for Protected Crop Production. **Aribusiness and Information Management**, [s. l.] 6 (1), 37-44, 2014.

KISS, J.Z.; MULLEN, J.L.; CORRELL, M.J.; HANGARTER, R.P. Phytochromes A and B mediate red-light-induced positive phototropism in roots. **Plant Physiology**, [Rockville] 131, 1411-1417, 2003.

KUSNETSOV, V.; DOROSHENKO, A.S.; KUDRYAKOVA, N.V. Role of Phytohormones and Light in De-etiolation. **Russ J Plant Physiol.**, [London] 67, 971-984, 2020.

KUSUMA, P.; PATTISON, P. M.; BUGBEE, B. From physics to fixtures to food: current and potential LED efficacy. **Hortic Res.**, [London] 7: 56, 1-9, 2021.

KYRIACOU, M.C.; EL-NAKHEL, C.; PANNICO, A.; GRAZIANI, G.; SOTERIOU, G.A.; GIORDANO, M.; PALLADINO, M.; RITIENI, A.; DE PASCALE, S.; ROUPHAEL, Y. Phenolic Constitution, Phytochemical and Macronutrient Content in Three Species of Microverdes as Modulated by Natural Fiber and Synthetic Substrates. **Antioxidants**, [Basel] 9, 252, 1-23, 2020.

- LEE, J.W.; PARK, S.Y.; OH, M.M. Supplemental radiation of ultraviolet-A light-emitting diode improves growth, antioxidant phenolics, and sugar alcohols of ice plant. **Hortic. Environ. Biotechnol.**, [s.l.] 62, 559–570, 2021.
- LEE, M.J.; SON, K.H.; OH, M.M. Increase in biomass and bioactive compounds in lettuce under various ratios of red to far-red LED light supplemented with blue LED light. **Hortic. Environ. Biotechnol.**, [s.l.] 57, 139–147, 2016.
- LIN, HH., LIN, KH., YANG, MJ. Physiological responses and antioxidant properties of coriander plants (*Coriandrum sativum* L.) under different light intensities of red and blue lights. **Sci Rep.**, [London] 12 , 21139, 2022.
- LISCUM, E.; ASKINOSIE, S.K.; LEUCHTMAN, D.L.; MORROW, J.; WILLENBURG, K.T.; COATS, D.R. Phototropism: growing towards an understanding of plant movement. **Plant Cell**, [Rockville] 26(1), 38-55, 2014.
- LOCONSOLE, D.; COCETTA, G.; SANTORO, P.; FERRANTE, A. Evaluation of Romaine Lettuce Grown in An Innovative Indoor Cultivation System. **Sustainability**, [Basel] 1-16, 2019.
- LUCCIONI, L.G.; OLIVERIO, K.A.; YANOVSKY, M.J.; BOCCALANDRO, H.E.; CASAL, J.J. Brassinosteroid mutants uncover fine tuning of phytochrome signaling. **Plant Physiol**, [Rockville] 128(1), 173-81, 2002.
- MENG, Q.; KELLY, N.; RUNKLE, E. S. Substituting green or far-red radiation for blue radiation induces shade avoidance and promotes growth in lettuce and kale. **Environ. Exp. Bot.**, [Amsterdam] 162, 383-391, 2019.
- MENG; Q.; BOLDT, J.; RUNKLE, E. S. Blue Radiation Interacts with Green Radiation to Influence Growth and Predominantly Controls Quality Attributes of Lettuce. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, [Alexandria] 145(2):75–87. 2020.
- MOAVEN, A.; PAHLEVANINEZHAD, H.; PAHLEVANINEZHAD, M.; PAHLEVANI, M. Uniform Illumination Using Single-Surface Lens through Wavefront Engineering. **Horticulturae**, [Basel] 8, 1019, 2022.
- MORARU, P. I.; RUSU, T.; MINTAS, O. S. Trial Protocol for Evaluating Platforms for Growing Microgreens in Hydroponic Conditions. **Foods**, Basel, 11: 9, 1-16, 2022.
- NEFF, M.M.; VAN, VOLKENBURGH E. Light-Stimulated Cotyledon Expansion in Arabidopsis Seedlings (The Role of Phytochrome B). **Plant Physiol**, [Rockville] 104(3), 1027-1032, 1994.
- NITO, K.; KAJIYAMA, T.; UNTEN-KOBAYASHI, J.; FUJII, A.; MOCHIZUKI, N.; KAMBARA, H.; NAGATANI, A. Spatial Regulation of the Gene Expression Response to Shade in Arabidopsis Seedlings. **Plant Cell Physiol**, [Tsukuba] 56:1306–1319, 2015.
- ORLANDO, M.; TRIVELLINI, A.; INCROCCI, L.; FERRANTE, A.; MENSUALI, A. The Inclusion of Green Light in a Red and Blue Light Background Impact the Growth and Functional Quality of Vegetable and Flower Microgreen Species. **Horticulturae**, [Basel] 8, 217, 1-20, 2022.
- PANNICO, A.; EL-NAKHEL, C.; GRAZIANI, G.; KYRIACOU, M.C.; GIORDANO, M.; SOTERIOU, G.A.; ZARRELLI, A.; RITIENI, A.; DE PASCALE, S.; ROUPHAEL, Y.

Selenium biofortification impacts the nutritive value, polyphenolic content, and bioactive constitution of variable microverdes genotypes. **Antioxidants**, [Basel] 9, 272, 1-21, 2020.

PARASCHIVU, M.; COTUNA, O.; SĂRĂȚEANU, V.; CARMEN, D.; PĂUNESCU, R. Microgreens-current status, global market trends and forward statements. **Sci. Manag. Econ. Eng. Agric. Rural Dev**, [Bucureste] 21:3, 633-639, 2021.

PENNISI, G.; BLASIOLI, S.; CELLINI, A.; MAIA, L.; CREPALDI, A.; BRASCHI, I.; SPINELLI, F.; FERNANDEZ, J. A.; STANGHELLINI, C.; MARCELIS, L. F. M.; ORSINI, F.; GIANQUINTO, G. Unraveling the Role of Red: Blue LED Lights on Resource Use Efficiency and Nutritional Properties of Indoor Grown Sweet Basil. **Front. Plant Sci.**, [Lausanne] 1-14, 2019.

PRITI, S. S.; KUKREJA, B.; MISHRA, G. P.; DIKSHIT, H. K.; SINGH, A.; ASKI, M.; KUMAR, A.; TAAK, Y.; STOB DAN, T.; DAS, S.; KUMAR, R. R.; YADAVA, D. K.; PRAVEEN, S.; KUMAR, S.; NAIR, R. M. Yield optimization, microbial load analysis, and sensory evaluation of mungbean (*Vigna radiata L.*), lentil (*Lens culinaris* subsp. *culinaris*), and Indian mustard (*Brassica juncea L.*) microgreens grown under greenhouse conditions. **PLoS One**, [San Francisco] 17: 5, 1-17, 2022.

RASHIDI, A.; TEHRANIFAR, A.; SAMIEL, L. Modifying spectral distributions during the seedling stage influences the flowering and branching of *Petunia × hybrida*. **Scientia Horticulturae**, [Amsterdam] 309, 2023.

RATH, M.; CHALLA, K.R.; SARVEPALLI, K.; NATH, U. CINCINNATA-Like TCP Transcription Factors in Cell Growth - An Expanding Portfolio. **Front Plant Sci.**, [Lausanne] 22:13, 2022.

SAKAI, T.; KAGAWA, T.; KASAHARA, M.; SWARTZ, T.E.; CHRISTIE, J.M.; BRIGGS, W.R.; WADA, M.; OKADA, K. Arabidopsis *nph1* and *npl1*: blue-light receptors that mediate both phototropism and chloroplast relocation. **Proc. Natl Acad. Sci. USA**, [Washington] 98, 6969–6974, 2001.

SANTOSO, J.; HADI, S.; AGRICIA, W. “The Study of Color Spectrum Curs Value Against Sunlight Color and Artificial Light for Plant Growth.” **Nusantara Science and Technology Proceedings**, [Yogyakarta] 11-22, 2020.

SAS INSTITUTE. **Statistical Analysis System**, User's Guide. Statistical. Version 9.1th ed. SAS. Inst. Inc. Cary. N.C. USA. 2012.

SASSI, M.; LU, Y.; ZHANG, Y.; WANG, J.; DHONUKSHE, P.; BLILOU I., DAI, M.; LI, J.; GONG, X.; JAILLAIS, Y.; YU, X.; TRAAS, J.; RUBERTI, I.; WANG, H.; SCHERES, B.; VERNOUX, T.; XU, J. COP1 mediates the coordination of root and shoot growth by light through modulation of PIN1- and PIN2-dependent auxin transport in Arabidopsis. **Development**, [Cambridge] 139 (18), 3402-3412, 2012.

SELUZICKI, A.; BURKO, Y.; CHORY, J. Dancing in the dark: darkness as a signal in plants, **Plant Cell Environ**, [Hoboken] vol. 40, 2017, p. 2487.

SEMENOVA, N.A.; SMIRNOV, A.A.; DOROKHOV, A.S.; PROSHKIN, Y.A.; IVANITSKIKH, A.S.; CHILINGARYAN, N.O.; DOROKHOV, A.A.; YANYKIN, D.V.; GUDKOV, S.V.; IZMAILOV, A.Y. Evaluation of the Effectiveness of Different LED

Irradiators When Growing Red Mustard (*Brassica juncea* L.) in Indoor Farming. **Energies**, [Basel] 15, 8076, 2022.

SHELFORD, T.J.; BOTH, A.J. On the technical performance characteristics of horticultural lamps. **Agri Engineering**, [Campina Grande] 3, 716-727, 2021.

SHIBAEVA, T.G.; SHERUDILO, E.G.; RUBAEVA, A.A.; TITOV, A.F. Continuous LED Lighting Enhances Yield and Nutritional Value of Four Genotypes of Brassicaceae Microverdes. **Plants**, [Basel] 11, 176, 1-14, 2022.

SIPOS, L.; BOROS, I.F.; CSAMBALIK, L.; SZÉKELY, G.; JUNG, A.; BALÁZS, L. Horticultural lighting system optimalization: A review. **Sci. Hortic.**, [Amsterdam] 273, 29-43, 2020.

SNOWDEN, M. C.; COPE, K. R.; BUGBEE, B. Sensitivity of seven diverse species to blue and green light: interactions with photon flux. **PLoS One**, [San Francisco] 11 1-32, 2016.  
SON, K.H.; OH, M.M. Growth, photosynthetic and antioxidant parameters of two lettuce cultivars as affected by red, green, and blue light-emitting diodes. **Hortic. Environ. Biotechnol.**, [Heidelberg] 56, 639–653, 2015.

SU, L.; HOU, P.; SONG, M.; ZHENG, X.; GUO, L.; XIAO, Y.; YAN, L.; LI, W.; YANG, J. Synergistic and Antagonistic Action of Phytochrome (Phy) A and PhyB during Seedling De-etiolation in *Arabidopsis thaliana*. **Int J Mol Sci.**, Basel 28;16(6):12, 199-212, 2015.

SU, J.; LIU, B.; LIAO, J.; YANG, Z.; LIN, C.; OKA, Y. Coordination of Cryptochrome and Phytochrome Signals in the Regulation of Plant Light Responses. **Agronomy**, [Basel] 7, 25, 2017.

SUZUKI, H.; KOSHIBA, T.; FUJITA, C.; YAMAUCHI, W.; KIMURA, T.; ISOBE, T.; SAKAI, T.; TAOKA, M.; OKAMOTO, T. Low-fluence blue light-induced phosphorylation of Zmphot1 mediates the first positive phototropism. **Journal of Experimental Botany**, [Oxford] 70 (20), 5929-5941, 2019.

TAIZ, L; ZEIGER, E; MOLLER, IM; MURPHY, A. 2017. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**, 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 888p.

TSUCHIDA-MAYAMA, T.; SAKAI, T.; HANADA, A.; UEHARA, Y.; ASAMI, T.; YAMAGUCHI, S. Role of the phytochrome and cryptochrome signaling pathways in hypocotyl phototropism. **Plant J.**, [Hoboken] 1;62(4):6, 53-62, 2010.

TURNER, E.R.; LUO, Y.; BUCHANAN, R. L. Microgreen nutrition, food safety, and shelf life: A review. **J. Food Sci.**, [Chicago] 85, 870–882, 2020.

VAN GELDEREN, K.; KANG, C.; PIERIK, R. Light signaling, root development, and plasticity. **Plant Physiol.**, [Rockville] 176 (2), 1049-1060, 2018.

WANG, X.; GAO, X.; LIU, Y.; FAN, S.; MA, Q. Progress of Research on the Regulatory Pathway of the Plant Shade-Avoidance Syndrome. **Front Plant Sci.**, [Lausanne] 15;11:439, 2020.

WHIPPO, C. W.; HANGARTER, R. P. Phytochrome modulation of blue-light-induced phototropism. **Plant Cell Environ.**, [Hoboken] 27:1223-1228, 2004.

XIAO, Z.; LESTER, G. E.; LUO, Y.; WANG, Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microverdes. **J Agric Food Chem.**, [Washington] 7644-7651, 2012.

XIN, G.; LI, L.; WANG, P.; LI, X.; HAN, Y.; ZHAO, X. The action of enhancing weak light capture via phototropic growth and chloroplast movement in plants. **Stress Biology**, [s.l.] 1-16, 2022.

YANG, N.; ZHANG, Y.; LIU, J.; LIU, Y.; CHEN, Q.; WANG, H.; GUO, X.; HERPPICH, H. B.; TANG, Z. Network during light-induced cotyledons opening and greening in *Astragalus membranaceus*. **Journal of Plant Interactions**, [Abingdon] 15:1, 358-370, 2020.

YEARGIN, T.; A.; LIN, Z.; PRADO, I.; SIRSAT, S. A.; GIBSON, K. E. Consumer practices and perceptions regarding the purchasing and handling of microgreens in the United States. **Food Control**, [Amsterdam] 145, 2023.

YING, Q.; KONG, Y.; JONES-BAUMGARDT, C.; ZHENG, Y. Responses of yield and appearance quality of four Brassicaceae microverdes to varied blue light proportion in red and blue light-emitting diodes lighting. **Scientia Horticulturae**, [Amsterdam] 1-8, 2020.

YING, Q.; KONG, Y.; ZHENG, Y. Applying Blue Light Alone, or in Combination with Far-red Light, during Nighttime Increases Elongation without Compromising Yield and Quality of Indoor-grown Microgreens. **HortScience horts**, [Alexandria] 55(6), 876-881, 2020.

ZONG, Q.; KAI, W.; FEI, C.; XIAOBING, L.; SHENG, L. Uniform lighting condition analysis generated by an array of LIGHT ETs with a wide angle of view. **Opt. Expresso**. [Washington] 18, 60-76, 2010.

VAN GELDEREN. K.; KANG, C.; PIERIK, R. Light signaling, root development, and plasticity. **Plant Physiol**, [Rockville] 176 (2), 1049-1060, 2018.

#### 4 CAPÍTULO 3 - EXPOSIÇÃO TARDIA A LUMINOSIDADE FAVORECE A PRODUÇÃO DE MICROVERDES DE COENTRO SOB DIFERENTES QUALIDADES DA LUZ

**Resumo** - Microverdes de coentro possuem cotilédones fotossintetizantes e necessitam de luz para realizar fotossíntese e seguir com seu desenvolvimento autotrófico. O objetivo desta pesquisa foi identificar o momento adequado de início da exposição a luz para a produção de microverdes de coentro e selecionar a qualidade de iluminação ideal, visando maiores rendimentos e eficiências energéticas e no uso da água. O experimento foi conduzido em sala de crescimento com ambiente controlado, em parcela subdividida e delineamento experimental em blocos casualizados (4). O fator primário, qualidade da luz, constituiu as parcelas com luz branca como controle e três diferentes proporções de luz vermelha e azul, representadas respectivamente pelas letras “R” e “B” ao longo da fita LED, sendo 3R:1B; 4R:1B e 5R:1B. O fator secundário foram três diferentes momentos de exposição à luz: desde o momento da sementeira; 2 dias após a sementeira (DAS) e 4 DAS. As características biométricas [comprimento (CH-cm) do hipocótilo e dos cotilédones (CC-cm); largura dos cotilédones (LC-cm); área foliar (AF-cm<sup>2</sup>); área foliar específica (AFE-cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>); peso fresco e seco da parte aérea (PFA-g)] e rendimento (RD-kg m<sup>-2</sup>) foram avaliadas. Também foram avaliadas a eficiência de uso da energia (EUE- kW h<sup>-1</sup>kg<sup>-1</sup>) e eficiência de uso da água (EUA- g<sup>1</sup> l<sup>-1</sup>H<sub>2</sub>O). O menor CH foi observado em plantas iluminadas por todo o período. Os maiores CC e AF foram nas plantas com iluminação R3:B1 e R4:B1, sendo maior quando iluminadas desde a sementeira. A LC maior foi das plantas iluminadas a partir do quarto DAS, sendo menor sob a branca. A AFE diferiu apenas em plantas que receberam luz por todo o período, sendo maior em R5:B1. O PFA, PSA, RD e EUA foram maiores em plantas cultivadas sob iluminação R:B. O consumo de energia foi menor nos tratamentos com início de exposição a luz em 2 e 4 DAS, sendo as microverdes mais uniformes, com maiores cotilédones e rendimento, sob iluminação vermelha e azul. A EUE foi maior em cultivo sob luz branca, porém com menores rendimentos. O consumo de energia reduzido com os tratamentos luminosos iniciados em 2 e 4 DAS e os maiores rendimentos observados nos tratamentos submetidos a estas condições, contribuíram para uma melhor EUE. A exposição aos 2 e 4 dias após a sementeira possibilitaram maior eficiência no uso da água na produção das microverdes.

**Palavras-chave:** Cotilédones. *Coriandrum sativum*. Eficiência de uso da água. Eficiência energética. Germinação.

#### 4 CHAPTER 3 - LATE LIGHT EXPOSURE FAVORS THE PRODUCTION OF CILANTRO MICROGREENS UNDER DIFFERENT LIGHT QUALITIES

**Abstract** - Microgreens of cilantro have photosynthesizing cotyledons need light to perform photosynthesis and proceed with their autotrophic development. The objective of this research was to identify the appropriate time of light exposure for the production of cilantro microgreens and to select the optimal lighting quality, aiming for higher yields and energy and water use efficiencies. The experiment was conducted in a growth room with controlled environment, in a subdivided plot and randomized block design (4). The primary factor, light quality, constituted the plots with white light as control and three different ratios of red and blue light, represented respectively by the letters "R" and "B" along the LED strip, being 3R:1B; 4R:1B and 5R:1B. The secondary factor was three different times of light exposure: from the time of sowing; 2 days after sowing (DAS) and 4 DAS. The biometric characteristics [hypocotyl length (CH-cm) and diameter (DH-cm); root length (CR-cm) and cotyledon length (CC-cm); cotyledon width (LC-cm); leaf area (LA-cm<sup>2</sup>); specific leaf area (SFA-cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>); fresh and dry weight of the aboveground part (SFP-g) and root (FRP-g)] and yield (RD-kg m<sup>-2</sup>) were evaluated. Energy use efficiency (EUE- kW/h/Kg) and water use efficiency (EUA- g<sup>1</sup> l<sup>-1</sup>H<sub>2</sub>O) were also evaluated. The lowest CH was observed in plants lit for the entire period. The highest CC and AF were in plants under R3:B1 and R4:B1 illumination, being higher when illuminated since sowing. The highest LC was in plants illuminated from the fourth DAS, being lower under white. The AFE differed only in plants that received light for the whole period, being higher in R5:B1. The PFA, PSA, RD and EUA were higher in plants grown under R:B lighting. Energy consumption was lower in the treatments with the onset of light exposure at 2 and 4 DAS, and microgreens were more uniform, with larger cotyledons and yield, under red and blue lighting. EUE was higher in cultivation under white light, but with lower yields. The reduced energy consumption with the light treatments started at 2 and 4 DAS and the higher yields observed in the treatments subjected to these conditions, contributed to a better EUE. Exposure at 2 and 4 days after sowing enabled higher water use efficiency in the production of the microgreens.

**Keywords:** Cotyledons. *Coriandrum sativum*. Water use efficiency. Energy efficiency. Germination.

#### 4.1 Introdução

No cultivo de microverdes, os rendimentos e os custos são os dois critérios mais importantes para otimizar as condições de cultivo (LIN *et al.*, 2022). Entre os elementos de custo de produção de microverdes, a iluminação artificial pode representar de 40 a 80% do total (SEMENOVA *et al.*, 2022), no entanto, também é um dos fatores que mais influenciam o crescimento e o rendimento das microverdes (MAWPHLANG *et al.*, 2017; KUSNETSOV *et al.*, 2020; SANTIN *et al.*, 2021).

Espécies que possuem cotilédones fotossintetizantes necessitam de luz logo após a germinação e a emergência para realizar fotossíntese e seguir com seu desenvolvimento autotrófico (SHI *et al.*, 2020). Uma espécie que possui cotilédones fotossintetizantes é o coentro. O coentro (*Coriandrum sativum* L.) pode ser cultivado em ambientes fechados na ausência total de luz natural, utilizando diodos emissores de luz (BRICE, 2020). Essa planta, da família da Apiaceae, é utilizada como medicinal, condimentar e recentemente como microverde (CARACCIOLO *et al.*, 2020).

O fruto de coentro é um esquizocarpo globular seco, comumente referido como semente, utilizado para a propagação (SOBHANI *et al.*, 2022). O comportamento de floração escalonado de coentro causa invariável formação de frutos, resultando em uma germinação desigual das sementes (REDDY; CHAURASIA; SUTNGA, 2020). Quando as plantas elevam os cotilédones fotossintetizantes acima do substrato, iniciam o processo fotossintético, resultando, posteriormente, em maior competição para as plantas germinadas (SHI *et al.*, 2020). Isso ocorre no cultivo de microverdes, o que requer alta densidade de semeadura (DI GOIA; SANTAMARIA, 2015).

A germinação irregular de sementes de coentro afeta o desenvolvimento das plantas e seu rendimento (GANTAIT *et al.*, 2022). Para microverdes, a germinação rápida e uniforme é fundamental para uma boa produção (LI *et al.*, 2021). Após a germinação, quando a iluminação ideal é aplicada, aumenta a capacidade fotossintética e melhora o crescimento e o rendimento das plantas (EBERT, 2022). Assim, determinar o momento e as condições de luz ideal são fundamentais para maximizar a qualidade e o resultado econômico da produção de microverdes (LIN *et al.*, 2022).

Levando em consideração que algumas sementes não precisam ficar expostas a luz desde a semeadura, que a ausência da luz no início do cultivo favorece o crescimento uniforme das plantas (FLORES; GONZÁLEZ-SALVATIERRA; JURADO, 2016) e que o início da exposição pós emergência pode resultar em maior eficiência energética e produtiva, o objetivo desta pesquisa foi identificar o momento adequado de início da exposição de sementes de

coentro a luz e selecionar a qualidade da luz ideal visando maiores rendimentos e eficiências energética e de uso da água na produção de microverdes de coentro.

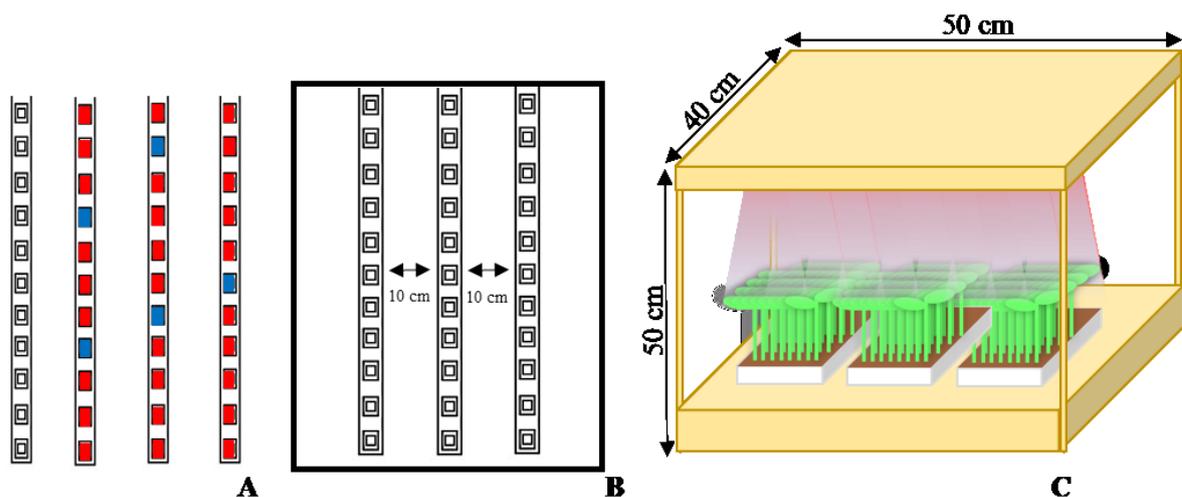
## 4.2 Material e métodos

### 4.2.1 Condições de crescimento e delineamento experimental

O experimento foi realizado na sala de crescimento de plantas do laboratório de Olericultura do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará-UFC, Campus Professor Prisco Bezerra, em Fortaleza-CE. Durante todo o experimento o ambiente foi mantido controlado. A temperatura ficou ajustada em  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  e a umidade relativa entre 60-70%.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, constituídos de estantes de metal (blocos) que continham as parcelas e subparcelas, sendo as microverdes de coentro cultivadas em 4 blocos. O experimento foi realizado em parcela subdividida, com dois fatores. O fator primário, qualidade da luz, constituiu as parcelas com luz branca como controle (fita LED branca, modelo 2835 com 60 LEDs  $\text{m}^{-1}$ ) e três diferentes proporções de luz vermelha (600-780 nm) e azul (400-500 nm), representadas respectivamente pelas letras “R” e “B” ao longo da fita LED (modelo 5050 com 60 LEDs  $\text{m}^{-1}$ ), 3R:1B; 4R:1B e 5R:1B (Figura 3A).

Figura 3 - Exemplo ilustrativo das condições experimentais. Qualidades da luz, com fitas LED branca e diferentes proporções de R:B (vermelho/azul) (A); Disposição das fitas LED nos painéis luminosos (B); Disposição das bandejas expostas a iluminação (C). Fortaleza, CE, UFC, 2023



Fonte: elaborada pela autora.

O fator secundário que constituiu as subparcelas foram três diferentes momentos de exposição à luz: exposição desde a sementeira; exposição 2 dias após a sementeira (DAS) e

exposição 4 DAS (Figura 3C). Os tratamentos que tiveram privação de luz foram cobertos com papel alumínio, sendo estes retirados em 2 ou 4 DAS, conforme cada tratamento.

As parcelas, 50 x 50 x 40 cm (altura x largura x comprimento), foram dispostas em estantes, sendo cada uma isolada com placas de isopor de 1,5 cm de espessura para evitar a interferência da luz nas parcelas vizinhas (Figura 3B e 3C). Em cada parcela foram casualizadas as subparcelas, bandejas de cultivo que foram alocadas na parcela.

O fotoperíodo aplicado foi de 16 h de luz/08 h de escuro, automatizado por um temporizador analógico (Golden cabo®). A densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) foi medida na altura do dossel, para todos os tratamentos, com um medidor de Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) modelo “SPECTRUM SPEC-3415A”, cujas medições foram quantificadas como a média de PPFD ( $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) na área total de cada bandeja (Quadro 2).

Quadro 2- Intensidade média, máxima e mínima (PPFD,  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) da luz nos painéis luminosos: parcelas/subparcelas. Fortaleza, CE, UFC, 2023

Qualidade da luz	<sup>3</sup> PPFD ( $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )		
	Média	Máx.	Mín.
Branca	2,0	2,2	1,5
<sup>1</sup> R3: <sup>2</sup> B1	6,8	7,7	4,7
R4: B1	8,4	9,9	5,0
R5: B1	7,1	8,0	4,8

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>R: Red (luz vermelha); <sup>2</sup>B: Blue (luz azul); <sup>3</sup>PPFD: Densidade de Fluxo de fótons fotossinteticamente ativos.

Foram utilizadas bandejas de polipropileno com dimensões de 18 x 10 x 4,5 cm (comprimento, largura, altura). O substrato utilizado foi uma mistura de pó de côco, previamente lavado, misturado com vermiculita na proporção de 5:1 (v/v). O volume de substrato utilizado foi de 180 cm<sup>3</sup>, cerca de 60 g (peso seco). O pH e a condutividade elétrica do substrato foram medidos, utilizando uma proporção 1:2,5 de substrato: água destilada, formando uma solução na qual as medições foram realizadas. Um medidor de condutividade elétrica de bancada (Marconi mCa -150®) e um medidor de pH (Mettler Toledo®) foram utilizados para essas medições. Os valores de pH e a condutividade elétrica do substrato foram 6,1 e 0,04 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente.

A semeadura, em cada bandeja, foi feita com 17 g, em média 2.000 sementes/frutos, da cultivar ‘Verdão’ (TopSeed®), que possui uma taxa de germinação de 80% e 99% de pureza (Informação do fabricante). Após o preenchimento das bandejas com o substrato, as sementes foram acomodadas homogeneamente em toda a superfície, sendo adicionada uma cobertura com cerca de 32 g (substrato-semente-substrato - SSS), com espessura de, aproximadamente, 1 cm de altura acima das sementes.

Cada conjunto SSS, foi irrigado por subirrigação com água destilada até que ficasse completamente umedecido, permanecendo nesta condição até o quarto dia após a semeadura. A partir do quinto dia após a semeadura, quando iniciou a emergência das plântulas, a irrigação passou a ser realizada com uma solução modificada de Hoagland e Arnon (1950), com um quarto de força e condutividade elétrica de  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ , apresentando a seguinte concentração de macronutrientes (em  $\text{mmol L}^{-1}$ ): 15,0 N; 1,0 P; 6,0 K; 5,0 Ca; 2,0 Mg; 2,0 S; e micronutrientes (em  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ): 90,0 Fe; 46,3 B; 18,30 Cl; 9,10 Mn; 0,8 Zn; 0,3 Cu e 0,1 Mo.

#### **4.2.2 Avaliações biométricas e rendimento**

Aos 14 DAS, foram coletadas 10 microverdes de coentro, de cada tratamento e repetição para as avaliações biométricas e de rendimento (JONES-BAUMGARDT *et al.*, 2019). A colheita foi feita com tesoura esterilizada com álcool 70%, cortando-se a cerca de 0,5 cm acima da região do colo da planta (XIAO *et al.*, 2012). As plantas foram retiradas cuidadosamente com porção de substrato, lavadas em água e secas em papel toalha.

As características avaliadas foram: comprimento do hipocótilo (cm); comprimento dos cotilédones (cm); largura dos cotilédones (cm); área foliar ( $\text{cm}^2$ ); área foliar específica ( $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ); peso fresco e seco da parte aérea (g) e rendimento ( $\text{kg m}^{-2}$ ). A área foliar e os pesos fresco e seco foram avaliadas para 10 plantas, pois seus valores individuais eram muito baixos.

O comprimento do hipocótilo foi medido do colo da planta ao ponto de inserção dos cotilédones. O comprimento dos cotilédones foi medido desde o ponto de inserção do pecíolo no hipocótilo até seu ápice e a largura dos cotilédones foi medida em sua região média, com auxílio de paquímetro digital (Digimess®).

A área foliar foi medida por método direto com um integrador de área foliar LI-COR®, modelo LI 3100 e a área foliar específica obtida pela relação da área foliar com o peso seco de parte aérea (FAN *et al.*, 2013).

O peso fresco foi medido com pesagem em balança analítica e o material vegetal fresco colocado em sacos de papel e levados para estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  por 48 horas. Após, determinou-se o peso seco com pesagem em balança analítica.

O rendimento, produção por área, foi calculado pesando-se a parte aérea (hipocótilos e cotilédones) de todas as plantas por bandeja ( $144 \text{ cm}^2$ ), de cada tratamento e repetição. Seus resultados foram expressos em  $1 \text{ m}^2$  (MORARU; ROSU e MINTAS, 2022).

#### 4.2.3 Avaliações de eficiência de uso da energia e da água

A eficiência de uso da energia (EUE), foi calculada com base no rendimento ( $\text{kg m}^{-2}$ ) e no consumo de energia para a produção de microverdes de coentro (KONG; SCHIESTEL; ZHENG, 2019):

$$EUE = \frac{RD}{\Sigma CE}$$

onde:

RD - rendimento de microverdes em  $\text{kg m}^{-2}$ ;

$\Sigma CE$  - eletricidade total consumida durante o cultivo em  $1\text{m}^2$ -  $\text{kW h}^{-1}$ .

O consumo de energia foi calculado com base na potência (Watts - W) dos LEDs utilizados em cada tratamento. A potência da fita LED R:B (modelo 5050, com 60 LEDs  $\text{m}^{-1}$ ) é de  $14,4 \text{ W m}^{-1}$  e da fita LED branca (modelo 2835, com 60 LEDs  $\text{m}^{-1}$ ) de  $4,8 \text{ W m}^{-1}$ . Uma vez que o rendimento das microverdes foi calculado para  $1 \text{ m}^2$ , a potência dos LEDs também foi calculada para painéis luminosos de  $1 \text{ m}^2$ , o que significaria a utilização de 6 fitas no painel de  $1 \text{ m}^2$ , ou seja, na mesma proporção adotada neste trabalho. A potência de cada painel foi obtida multiplicando-se a potência de cada fita  $\text{W m}^{-1}$  pela quantidade de fitas no painel. A potência de cada painel em Watts foi dividida por 1.000 para ser expressa em Quilowatt (kW), o que representa a potência total do painel, sendo então multiplicada pelo tempo de uso em horas, o que representa o consumo de energia (potência tempo<sup>-1</sup>), expressa em Quilowatt ( $\text{kW h}^{-1}$ ) (FRENZEL JÚNIOR, 2015).

A eficiência de uso da água (EUA) foi calculada com base no rendimento total colhido por bandeja e na quantidade total de água adicionada à cada bandeja, seguindo a metodologia de Zhang *et al.* (2021):

$$EUA = \frac{RDB}{\Sigma A}$$

onde:

RDB - Rendimento total colhido por bandeja em gramas;

$\Sigma A$  - quantidade total de água adicionada à cada bandeja para todo o cultivo

A razão entre o rendimento por bandeja e o volume de água utilizado na produção é expressa como a biomassa total produzida por litro de água utilizada ( $\text{RDB g}^1 \text{ l}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ ) (PENNISI *et al.*, 2019).

#### 4.2.4 Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando o sistema computacional estatístico SAS® (SAS Institute, 2012). O teste F foi aplicado para a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Os dados foram apresentados como média  $\pm$  erro padrão.

#### 4.3. Resultados e discussão

Verificou-se significância ( $p < 0,05$ ) nos dados submetidos à análise de variância (ANOVA) com efeito isolado para o comprimento do hipocótilo (CH) e do cotilédone (CC), largura do cotilédone (LC), área foliar (AF), peso fresco (PFA) e seco da parte aérea (PSA), rendimento (RD) e eficiência de uso de energia (EUE) nas diferentes qualidades da luz. Também verificou-se efeito isolado de acordo com o período de exposição a luz para o CH, RD, EUE e eficiência de uso da água (EUA). Para a interação entre os fatores, verificamos significância para quase todas as variáveis analisadas, exceto EUA (Tabela 3).

Tabela 3- Resumo da análise de variância para características biométricas, rendimento e eficiência de uso da energia e da água para microverdes de coentro produzidas em diferentes Qualidades da luz e períodos de exposição. Comprimento hipocótilo (CH), comprimento do cotilédone (CC), largura do cotilédone (LC), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), peso fresco da parte aérea (PFA), peso seco da parte aérea (PSA), rendimento (RD), eficiência de uso da energia (EUE) e da água (EUA). Fortaleza, CE, UFC, 2023

Variável analisada	Pr> Fc- Fontes de variações					
	<sup>2</sup> (QL)	<sup>3</sup> (PE)	QLxPE	Bloco	<sup>4</sup> CV1%	<sup>5</sup> CV2%
CH (cm)	0,0023*	0,0001*	0,0018*	0,8960 <sup>ns</sup>	4,18	5,23
CC (cm)	0,0059*	0,037 <sup>ns</sup>	0,0002*	0,5786 <sup>ns</sup>	7,45	6,53
LC (cm)	0,0001*	0,1256 <sup>ns</sup>	0,0000*	0,3764 <sup>ns</sup>	6,07	7,14
AF (cm <sup>2</sup> )	0,0495*	0,1622 <sup>ns</sup>	0,0025*	0,0152*	5,54	6,56
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	0,0642 <sup>ns</sup>	0,3354 <sup>ns</sup>	0,0001*	0,1807 <sup>ns</sup>	30,64	22,81
PFA (g)	0,0089*	0,2123 <sup>ns</sup>	0,0028*	0,0004*	9,77	11,94
PSA (g)	0,0106*	0,1914 <sup>ns</sup>	0,0002*	0,7375 <sup>ns</sup>	16,62	18,04
RD (kg m <sup>-2</sup> )	0,0000*	0,0025*	0,0008*	0,1681 <sup>ns</sup>	6,92	7,28
EUE (kg <sup>-1</sup> kW h <sup>-1</sup> )	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,3475 <sup>ns</sup>	8,01	8,66
EUA (g <sup>1</sup> l <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O)	0,1107 <sup>ns</sup>	0,0094*	0,8551 <sup>ns</sup>	0,3058 <sup>ns</sup>	30,91	29,77
<sup>1</sup> GL	3	2	6			

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>Grau de liberdade (GL); <sup>2</sup>Qualidade da luz (QL); <sup>3</sup>Períodos de exposição à luz (PE); <sup>4</sup>Coefficiente de variação da parcela; <sup>5</sup>Coefficiente de variação da subparcela \*Significativo em nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup>: Não significativo ( $p \geq 0,05$ ).

O comprimento do hipocótilo foi maior em plantas cultivadas em iluminação R3:B1 (8,97 cm). As plantas que foram iluminadas em dois (8,56 cm) e quatro (8,95 cm) dias após a semeadura também foram as que tiveram maior comprimento de hipocótilos (Tabela 4).

Tabela 4- Efeito isolado para características biométricas, rendimento e eficiência de uso da energia e da água para microverdes de coentro produzidas em diferentes Qualidades da luz e períodos de exposição. Comprimento hipocótilo (CH), comprimento do cotilédone (CC), largura do cotilédone (LC), área foliar (AF), peso fresco da parte aérea (PFA), peso seco da parte aérea (PSA), rendimento (RD), eficiência de uso da energia (EUE) e da água (EUA). Fortaleza, CE, UFC, 2023

Variável analisada	Qualidade da luz				<sup>3</sup> DMS
	Branca	<sup>1</sup> R3: <sup>2</sup> B1	R4:B1	R5:B1	
CH (cm)	8,13 <sup>0,12</sup> b	8,97 <sup>0,21</sup> a	8,52 <sup>0,11</sup> b	8,51 <sup>0,24</sup> b	0,45
CC (cm)	2,92 <sup>0,09</sup> b	3,24 <sup>0,09</sup> a	3,25 <sup>0,05</sup> a	2,91 <sup>0,07</sup> b	0,29
LC (cm)	4,02 <sup>0,25</sup> c	4,52 <sup>0,15</sup> b	4,81 <sup>0,08</sup> ab	4,97 <sup>0,22</sup> a	0,35
AF (cm <sup>2</sup> )	25,54 <sup>0,69</sup> b	27,04 <sup>0,54</sup> ab	26,59 <sup>0,80</sup> ab	27,50 <sup>0,57</sup> a	1,88
PFA (g)	0,36 <sup>0,02</sup> b	0,39 <sup>0,01</sup> ab	0,41 <sup>0,02</sup> a	0,43 <sup>0,02</sup> a	0,04
PSA (g)	0,01 <sup>0,0012</sup> b	0,02 <sup>0,0013</sup> a	0,02 <sup>0,0007</sup> ab	0,02 <sup>0,0014</sup> ab	0,004
RD (kg m <sup>-2</sup> )	1,27 <sup>0,05</sup> b	1,59 <sup>0,05</sup> a	1,66 <sup>0,03</sup> a	1,67 <sup>0,04</sup> a	0,14
EUE (kg <sup>-1</sup> kW h <sup>-1</sup> )	0,24 <sup>0,018</sup> a	0,10 <sup>0,005</sup> b	0,10 <sup>0,06</sup> b	0,10 <sup>0,06</sup> b	0,01

Variável analisada	Períodos de exposição à luz			DMS
	Todo	<sup>4</sup> DAS (2)	DAS (4)	
CH (cm)	8,08 <sup>0,13</sup> b	8,56 <sup>0,15</sup> a	8,95 <sup>0,16</sup> a	0,39
CC (cm)	3,18 <sup>0,07</sup> a	3,08 <sup>0,10</sup> b	2,98 <sup>0,05</sup> b	0,17
RD (kg m <sup>-2</sup> )	1,47 <sup>0,05</sup> b	1,55 <sup>0,06</sup> a	1,53 <sup>0,04</sup> b	0,09
EUE (kg <sup>-1</sup> kW h <sup>-1</sup> )	0,10 <sup>0,011</sup> c	0,12 <sup>0,013</sup> b	0,17 <sup>0,022</sup> a	0,03
EUA (g <sup>1</sup> l <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O)	19,11 <sup>0,88</sup> b	22,34 <sup>0,93</sup> ab	27,19 <sup>0,81</sup> a	6,02

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>R: Red (luz vermelha); <sup>2</sup>B: Blue (luz azul); <sup>3</sup>DMS: diferença mínima significativa; <sup>4</sup>DAS: dias após a semeadura. Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

No desdobramento para o comprimento do hipocótilo (Tabela 5), observou-se que quando as plantas foram iluminadas por todo o período de cultivo, os hipocótilos foram menores sob luz branca (8,21cm) e R5:B1 (7,42), os quais não diferiram.

Tabela 5- Desdobramentos das parcelas e subparcelas para características biométricas, rendimento e eficiência de uso da energia e da água para microverdes de coentro produzidas em diferentes Qualidades da luz e períodos de exposição. Comprimento hipocótilo (CH), comprimento do cotilédone (CC), largura do cotilédone (LC), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), peso fresco da parte aérea (PFA), peso seco da parte aérea (PSA), rendimento (RD), eficiência de uso da energia (EUE) e da água (EUA). Fortaleza, CE, UFC, 2023

Variável analisada	Subparcelas	Parcelas				
		Branca	<sup>1</sup> R3: <sup>2</sup> B1	R4:B1	R5:B1	<sup>3</sup> DMS
CH (cm)	Todo	8,21 <sup>0,19</sup> abA	8,25 <sup>0,30</sup> aB	8,46 <sup>0,02</sup> aA	7,42 <sup>0,09</sup> bB	0,801
	<sup>4</sup> DAS (2)	7,92 <sup>0,32</sup> BA	8,93 <sup>0,21</sup> aAB	8,53 <sup>0,34</sup> abA	8,87 <sup>0,05</sup> aA	0,801
	DAS (4)	8,25 <sup>0,01</sup> cA	9,71 <sup>0,08</sup> aA	8,58 <sup>0,11</sup> bcA	9,25 <sup>0,22</sup> abA	0,801
CC (cm)	Todo	2,95 <sup>0,10</sup> bB	3,45 <sup>0,16</sup> aB	3,23 <sup>0,10</sup> abA	3,10 <sup>0,12</sup> abB	0,405
	DAS (2)	2,53 <sup>0,06</sup> bA	3,40 <sup>0,10</sup> aA	3,32 <sup>0,12</sup> aA	3,08 <sup>0,13</sup> aA	0,405
	DAS (4)	2,71 <sup>0,06</sup> bA	2,88 <sup>0,05</sup> abA	3,22 <sup>0,09</sup> aA	3,13 <sup>0,01</sup> aAB	0,405
LC (cm)	Todo	3,16 <sup>0,11</sup> cC	5,16 <sup>0,31</sup> aB	4,50 <sup>0,00</sup> bB	5,02 <sup>0,18</sup> abB	0,596
	DAS (2)	3,76 <sup>0,08</sup> bB	5,26 <sup>0,10</sup> aB	4,81 <sup>0,12</sup> aAB	5,00 <sup>0,20</sup> aA	0,596
	DAS (4)	3,16 <sup>0,16</sup> bA	4,50 <sup>0,17</sup> bA	5,12 <sup>0,08</sup> aA	5,12 <sup>0,10</sup> abA	0,596
AF (cm <sup>2</sup> )	Todo	24,11 <sup>0,40</sup> bB	27,16 <sup>0,67</sup> abA	24,76 <sup>1,55</sup> bB	28,20 <sup>0,45</sup> aA	3,182
	DAS (2)	28,55 <sup>0,64</sup> aA	27,65 <sup>0,56</sup> aA	26,00 <sup>0,76</sup> aAB	26,95 <sup>0,87</sup> aA	3,182
	DAS (4)	23,97 <sup>0,46</sup> bB	26,32 <sup>1,45</sup> abA	29,02 <sup>1,005</sup> aA	27,37 <sup>1,54</sup> aA	3,182
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	Todo	1.564,00 <sup>231,44</sup> abA	650,00 <sup>26,08</sup> cB	998,00 <sup>64,34</sup> bcA	2.134,00 <sup>333,60</sup> aA	626,714
	DAS (2)	1.290,96 <sup>67,77</sup> aA	1.370,00 <sup>138,22</sup> aA	1.370,95 <sup>63,38</sup> aA	1.204,00 <sup>69,78</sup> aB	626,714
	DAS (4)	1,255,31 <sup>75,92</sup> aA	1.064,00 <sup>73,85</sup> aAB	1.289,32 <sup>48,29</sup> aA	1.124,00 <sup>98,37</sup> aB	626,714
RD (kg m <sup>-2</sup> )	Todo	1,14 <sup>0,004</sup> bB	1,46 <sup>0,03</sup> aB	1,61 <sup>0,08</sup> aA	1,67 <sup>0,02</sup> aB	0,212
	DAS (2)	1,19 <sup>0,02</sup> bB	1,80 <sup>0,08</sup> aB	1,64 <sup>0,07</sup> abA	1,57 <sup>0,07</sup> bAB	0,212
	DAS (4)	1,48 <sup>0,06</sup> cA	1,52 <sup>0,04</sup> bA	1,73 <sup>0,04</sup> abA	1,77 <sup>0,07</sup> aA	0,212
EUE (kg <sup>-1</sup> kW h <sup>-1</sup> )	Todo	0,18 <sup>0,001</sup> aC	0,08 <sup>0,002</sup> bB	0,09 <sup>0,004</sup> bB	0,09 <sup>0,001</sup> bB	0,02
	DAS (2)	0,22 <sup>0,005</sup> aB	0,11 <sup>0,005</sup> bA	0,10 <sup>0,004</sup> bB	0,10 <sup>0,004</sup> bB	0,02
	DAS (4)	0,31 <sup>0,001</sup> aA	0,11 <sup>0,003</sup> bA	0,12 <sup>0,005</sup> bA	0,13 <sup>0,001</sup> bA	0,02

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>R: Red (luz vermelha); <sup>2</sup>B: Blue (luz azul); <sup>3</sup>DMS: diferença mínima significativa; <sup>4</sup>DAS: dias após a semeadura. Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

O menor comprimento do hipocótilo (Tabela 5), observado em plantas iluminadas por todo o período pode ser explicado pela menor competição entre as plantas, quando as sementes germinadas iniciaram a emergência e já iniciaram o crescimento em direção à luz, a menor competição entre as plantas, reduziu a necessidade de alongamento de hipocótilo. O alongamento do hipocótilo é um pré-requisito para que as plantas recém-germinadas alcancem a superfície do solo e emerjam até a obtenção da luz (JONES-BAUMGARDT *et al.*, 2019).

As plântulas pós-germinadas no solo alongam o hipocótilo com um gancho fechado e os cotilédones amarelados movem-se em direção à superfície do solo. Ao atingir a superfície e absorver a luz, iniciam o desenvolvimento fotomorfogênico, cessando o alongamento do hipocótilo, o gancho e os cotilédones começam a abrir e os cloroplastos a se desenvolver para maximizar a captação de luz e o crescimento autotrófico (SU *et al.*, 2017).

Da mesma forma, as plantas que tiveram privação de luz após a germinação e emergência realizam alongamento dos hipocótilos. No escuro, os fatores de transcrição da família do fator de interação com o fitocromo (PIF) induzem a expressão de numerosos genes relacionados ao alongamento celular, o mutante quádruplo *pifQ* (*pif1*, *pif3*, *pif4* e *pif5*) exibe um fenótipo fotomorfogênico constitutivo caracterizado pelo hipocótilo curto de plântulas estioladas no escuro (YU *et al.*, 2023).

Embora haja gravitropismo positivo em resposta à luz, observamos que os hipocótilos de plantas cultivadas sob luz branca eram mais frágeis e as plantas menos eretas (Figura 4A), o que pode ter reduzido também o crescimento do hipocótilo.

Figura 4 - Microverdes de coentro aos 8 dias após a semeadura, produzidas em diferentes qualidades da luz e períodos de exposição. Bandejas expostas a luz por todo o período de cultivo em luz: branca (A); 3:1 (B); 4:1 (C); 5:1 (D). Bandejas expostas à luz a partir de 2 DAS em luz: branca (E); 3:1 (F); 4:1 (G); 5:1 (H). Bandejas expostas à luz a partir de 4 DAS em luz: branca (I); 3:1 (J); 4:1 (K); 5:1 (L). Fortaleza, CE, UFC, 2023



Fonte: elaborada pela autora (2023).

O maior comprimento dos cotilédones foi obtido quando as plantas receberam iluminação R3:B1 e R4:B1 (3,24 e 3,25 cm, respectivamente). No desdobramento (Tabela 5)

pode-se observar que o maior CH associado a proporção R4:B1. Ainda no desdobramento (Tabela 5), o comprimento do cotilédone foi menor sob luz branca em todos os períodos de exposição avaliados. A largura dos cotilédones foi maior nas plantas cultivadas sob iluminação R5:B1 (4,97 cm) (Tabela 4) e nas plantas iluminadas a partir do quarto DAS em todas as condições luminosas avaliadas (Tabela 5).

Para a maioria das espécies de plantas, a radiação vermelha é a região mais eficientemente absorvida do espectro eletromagnético, porém, a combinação da luz azul com a vermelha aumenta o crescimento das plantas. No entanto, essa resposta também pode ser dependente da espécie e da proporção R:B aplicada.

Os comprimentos de onda da luz vermelha e azul são conhecidos por influenciar muitos processos fisiológicos da planta durante o crescimento e desenvolvimento, particularmente a fotossíntese e o acúmulo de biomassa (LI *et al.*, 2020). Sob luz vermelha as clorofilas podem alcançar elevada eficiência metabólica, já a luz azul induz a abertura dos estômatos, e essa combinação permite uma melhor absorção e fixação de CO<sub>2</sub>, assim, mesmo que a luz vermelha seja usada de forma mais eficiente na fotossíntese, a presença de outros comprimentos de onda é necessária para maximizar o crescimento e a fisiologia da planta (MIAO *et al.*, 2019).

A maior área foliar foi obtida em plantas com maior proporção de luz vermelha, R5:B1, com 27,50 cm<sup>2</sup> de área foliar, seguido de R3:B1 e R4:B1, com 27,04 e 26,59 cm<sup>2</sup>, respectivamente (Tabela 4). A maior e menor área foliar obtida em plantas sob R5:B1 e luz branca, respectivamente está relacionada com o tamanho dos cotilédones (comprimento e largura) e sua abertura, que eram maiores em R5:B1 (Figura 4).

A área foliar específica diferiu apenas em plantas que receberam luz por todo o período, sendo maior em R5:B1 (2.134 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>). O peso fresco da parte aérea foi maior em plantas cultivadas sob iluminação R5:B1 (0,43 g) e R4:B1 (0,41 g). O peso seco da parte aérea foi maior em plantas cultivadas sob iluminação R3:B1 (0,020 g), que não diferiu de R4:B1 (0,020 g) e R5:B1 (0,021g).

O rendimento foi maior em plantas cultivadas em iluminação R:B, com produção de 1,67 kg m<sup>-2</sup> em R5:B1, 1,66 kg m<sup>-2</sup> em R4:B1 e 1,59 kg m<sup>-2</sup> em R3:B1. As plantas que receberam iluminação a partir do quarto dia após a semeadura tiveram rendimento superior em todas as proporções luminosas avaliadas, sendo o maior rendimento obtido na iluminação R5:B1, de 1,77 kg m<sup>-2</sup> (Tabela 5, figura 4L).

Algumas sementes necessitam de luz para germinar, um processo denominado fotoblastia (TAIZ *et al.*, 2017). No caso do coentro foi verificado que suas sementes podem germinar tanto na presença quanto na ausência de luz desde o início da semeadura, o que as caracteriza como de fotoblastia neutra. A maior desuniformidade e menor rendimento

encontrados para as plantas submetidas a luz branca ou R:B a partir da sementeira, pode estar relacionado ao fato de que as sementes de uma forma geral, apresentam diferentes estádios de maturação, o que gera germinação desuniforme e, por consequência, plantas com tamanhos diferenciados. Expostas a luz, essas plantas crescem e se desenvolvem mais rapidamente prejudicando as outras plantas menores mais próximas devido ao sombreamento que causam (GADOTTI *et al.*, 2020).

A fase mais crítica para o estabelecimento das plantas é o período entre a sementeira e a emergência, assim, a uniformidade e a velocidade de emergência assumem grande importância na produção e na qualidade do produto final (PEREIRA *et al.*, 2005). À medida que os cotilédones se desdobram e se tornam cada vez mais ativos fotossinteticamente é quando a iluminação se torna mais eficiente, pois as plantas começam a transição para um comportamento autotrófico. Fornecer luz antes desse período pode ser um desperdício de energia (JONES-BAUMGARDT *et al.*, 2020). Desse modo, evitar a iluminação nos primeiros dias após a sementeira pode funcionar como um processo de condicionamento das sementes viabilizando sua uniformidade de germinação com impacto positivo no estande final das plantas (ROMERO *et al.*, 2005).

A eficiência de uso da energia (EUE) teve efeito isolado tanto para as qualidades da luz, quanto para os períodos de exposição, sendo o maior valor obtido sob luz branca ( $0,24 \text{ kg}^{-1}\text{kW h}^{-1}$ ) e com iluminação após 4 DAS ( $0,17 \text{ kg}^{-1}\text{kW h}^{-1}$ ) (Tabela 4).

O aumento na EUE para o período de exposição após 4 DAS está em função do menor consumo de energia. Quando as plantas foram expostas por todo período a luz, totalizaram 224 horas de uso luz, com consumo de  $6,45 \text{ kW h}^{-1}$  sob luz branca e  $19,35 \text{ kW h}^{-1}$  em RB. Quando a luz foi iniciada 2 DAS o consumo foi de  $5,52 \text{ kW h}^{-1}$  sob luz branca e  $16,58 \text{ kW h}^{-1}$  em RB. Quando a luz foi iniciada 4 DAS o consumo foi de  $4,60 \text{ kWh}^{-1}$  sob luz branca e  $13,82 \text{ kW h}^{-1}$  em R:B. Dessa forma, a maior EUE para todas as combinações de qualidades da luz e períodos de exposição foram para a luz branca, expostas a partir dos 4 DAS ( $0,31 \text{ kg}^{-1}\text{kW h}^{-1}$ ) (Tabela 5).

A eficiência de uso da água (EUA) foi maior para os tratamentos com iluminação R:B, sendo  $11,03 \text{ g l}^{-1}\text{H}_2\text{O}$  em iluminação R5:B1, seguidas de  $10,06$  e  $9,77 \text{ g l}^{-1}\text{H}_2\text{O}$  em R4:B1 e R3:B1, respectivamente (Tabela 4).

À medida que a porção vermelha do espectro aumenta, a transpiração diminui, resultando em aumento da eficiência do uso da água. A diminuição da transpiração reduz devido a menor condutância estomática, sob maior proporção de luz vermelha (PENNISI *et al.*, 2019). A abertura estomática para a luz é conduzida por duas vias distintas, a primeira é uma resposta para a luz vermelha ou fotossintética considerado o principal mecanismo que coordena o

comportamento estomático com a fotossíntese. Já a segunda é uma resposta estimulada por luz azul, diretamente na célula guarda que estimula abertura estomática (MATTHEWS *et al.*, 2020).

A EUA foi ainda mais expressiva quando comparados os períodos de exposição à luz, plantas que foram iluminadas a partir dos 4 DAS produziram 27,19 g l<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O consumida, não diferindo daquelas produzidas com iluminação iniciada aos 2 DAS (Tabela 4).

A EUA pode ser um importante indicador da eficiência do sistema de cultivo, pois é calculado com base na biomassa total colhida e conforme aumenta o rendimento, a EUA também aumenta (ZHANG *et al.*, 2021). Tal colocação pode ser confirmada neste estudo já que seus maiores valores ocorreram em função dos maiores rendimentos para todas as fontes de variação.

A maior quantidade de água utilizada nos tratamentos iluminados desde o início da semeadura ocorreu porque nessas bandejas de cultivo, observamos a maior necessidade de água para irrigação nos quatro primeiros dias após a semeadura, o que ocorria pela diminuição acelerada do filme de água na bandeja de irrigação, comparado aos demais, o que pode ter ocorrido pela evaporação de água para o ambiente.

#### **4.4. Conclusão**

A exposição a luz de sementes de coentro para a produção de microverdes pode ser iniciada aos 2 e 4 dias após sua semeadura, e sob iluminação vermelha e azul, uma vez que nestas condições foi possível obter maiores rendimentos.

A EUE foi maior em cultivo sob luz branca, porém com menores rendimentos. O consumo de energia reduzido com os tratamentos luminosos iniciados em 2 e 4 DAS e os maiores rendimentos observados nos tratamentos submetidos a estas condições, contribuíram para uma melhor EUE, sendo considerados indicados para o cultivo de microverdes de coentro nas condições estudadas.

A exposição aos 2 e 4 dias após a semeadura possibilitaram maior eficiência no uso da água na produção de microverdes de coentro.

## REFERÊNCIAS

- ALEM, A.L.; ARIEL, F.D.; CHO, Y.; HONG, J.C.; GONZALEZ, D.H.; VIOLA, I.L. TCP15 interacts with GOLDEN2-LIKE 1 to control cotyledon opening in Arabidopsis. **Plant J.**, [Hoboken] 110(3), 748-763, 2022.
- ARSOVSKI, A.A.; GALSTYAN, A.; GUSEMAN, J.M.; NEMHAUSER, J.L. Photomorphogenesis. **The Arabidopsis Book.**, [Rockville] 10:e0147, 2012.
- BEYZI, E.; KARAMAN, K.; GUNES, A.; BEYZI, S.B. Change in some biochemical and bioactive properties and essential oil composition of coriander seed (*Coriandrum sativum* L.) varieties from Turkey. **Industrial Crops and Products**, [Amsterdam] 109, 74–78, 2017.
- BRICE, C. Supplementing White Light with Narrow-Band Light Wavelengths Impacts Cilantro Yield. Master's Thesis, **University of Tennessee**, Tennessee 2020.
- CARACCILO, F.; EL-NAKHEL, C.; RAIMONDO, M.; KYRIACOU, M.C.; CEMBALO, L.; DE PASCALE, S.; ROUPHAEL, Y. Sensory Attributes and Consumer Acceptability of 12 Microverdes Species. **Agronomy**, [Basel] 10:1043. 2020.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP, 590 p, 2012.
- DANTAS, N.; BENEDITO, C.; OLIVEIRA, V.; SILVA, K.; RÊGO, A.; PEREIRA, K.T.; MEDEIROS, H. Condicionamento fisiológico em sementes de coentro (*Coriandrum sativum* L.) / Seed priming in coriander (*Coriandrum sativum* L.). **Brazilian Journal of Development**, [s.l.] 7. 76554-76570, 2021.
- DI GIOIA F.; SANTAMARIA, P. editors. Microverdes: Novel Fresh and Functional Food to Explore All the Value of Biodiversity. **ECO-Logica**, Bari, Italy: 51-79, 2015.
- EBERT A. W. Sprouts and Microverdes-Novel Food Sources for Healthy Diets. **Plants**, [Basel] 11(4), 571, 1- 45, 2022.
- FAN, X.; XU, Z.; LIU, X.; TANG, C.; WANG, L.; HAN, X. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. **Scientia Horticulturae**, [Amsterdam] 153. 50-55, 2013.
- FLORES, J.; GONZÁLEZ-SALVATIERRA, C.; JURADO, E. Effect of light on seed germination and seedling shape of succulent species from Mexico. **Journal of Plant Ecology**, [Oxford] 9 (2), 174–179, 2016.
- FRENZEL JR., L. E. **Eletrônica Moderna: Fundamentos, Dispositivos, Circuitos e Sistemas**. Editora: McGraw Hill Brasil, 2015, 840p.
- GADOTTI, GI; HORNKE, NF; CAVALCANTE, JA; SILVA, JG; GONÇALVES, VP; CAPILHEIRA, AF. Efficiency of the gravity table in the processing of coriander seeds. **Horticultura Brasileira**, [Brasília] 38: 211-216, 2020.

GANTAIT, S.; SHARANGI, A.; MAHANTA, M.; MEENA, N. Agri-biotechnology of coriander (*Coriandrum sativum* L.): an inclusive appraisal. **Applied Microbiology and Biotechnology**, [Heidelberg] 106. 1-19, 2022.

GOMMERS, C.M.; MONTE, E. Seedling establishment: a dimmer switch-regulated process between dark and light signaling. **Plant Physiol**, [Rockville] 176, 1061–1074, 2018.

JAMBOR, T.; KNIZATOVA, N.; VALKOVA, V.; TIRPAK, F.; GREIFOVA, H.; KOVACIK, A.; LUKAC, N. Microgreens as a functional component of the human diet: a review. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, [*s. l.*] 12(1), e5870, 2022.

JONES-BAUMGARDT, C.; LLEWELLYN, D.; ZHENG, Y. Different Microgreen Genotypes Have Unique Growth and Yield Responses to Intensity of Supplemental PAR from Light-emitting Diodes during Winter Greenhouse Production in Southern Ontario, Canada. **HortScience**, [Alexandria] 1-8, 2020.

JONES-BAUMGARDT, C.; LLEWELLYN, D.; YING, Q.; ZHENG, Y. Intensity of sole-source light emitting diodes affects growth, yield, and quality of Brassicaceae microverdes. **HortScience**, [Alexandria] 1168- 1174, 2019.

KIM, J.; SONG, K.; PARK, E.; KIM, K.; BAE, G.; CHOI, G. Epidermal Phytochrome B Inhibits Hypocotyl Negative Gravitropism Non-Cell-Autonomously. **Plant Cell**, [Rockville] 28 (11): 2770-2785, 2016.

KOWITCHAROEN, L.; PHORNVILLAY, S.; LEKKHAM, P.; PONGPRASERT, N.; SRILAONG, V. Bioactive Composition and Nutritional Profile of Microgreens Cultivated in Thailand. **Appl. Sci.**, [Basel] 11, 7981, 2021.

KUSNETSOV, V.; DOROSHENKO, A.S.; KUDRYAKOVA, N.V. Role of Phytohormones and Light in De-etiolation. **Russ J Plant Physiol**, [London]67, 971-984, 2020.

LI, Y.; XIN, G.; LIU, C.; SHI, Q.; YANG, F.; WEI, M. Effects of red and blue light on leaf anatomy, CO<sub>2</sub> assimilation and the photosynthetic electron transport capacity of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings. **BMC Plant Biol.**, [London] 6;20 (1): 318, 1-16, 2020.  
LI, T.; LALK, G.; BI, G. Fertilization and Pre-Sowing Seed Soaking Affect Yield and Mineral Nutrients of Ten Microgreen Species. **Horticulturae**, [Basel] 7, 14, 2021.

LIN, HH., LIN, KH., YANG, MJ. Physiological responses and antioxidant properties of coriander plants (*Coriandrum sativum* L.) under different light intensities of red and blue lights. **Sci Rep.**, [London]12 , 21139, 2022.

LOBIUC, A.; VASILACHE, V.; PINTILIE, O.; STOLERU, T.; BURDUCEA, M.; OROIAN, M. *et al.* Blue and Red LED Illumination Improves Growth and Bioactive Compounds Contents in Acyanic and Cyanic *Ocimum basilicum* L. **Molecules**, [Basel]22: 2111, 1-14, 2017.

MANDAL, S.; MANDAL, M. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil: Chemistry and biological activity. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, [Amsterdam] v. 5, 421–428, 2015.

MATTHEWS J. S. A.; VIALET-CHABRAND, S.; LAWSON, T. Role of blue and red light in stomatal dynamic behaviour. **J Exp Bot.**, [Oxford] 6;71 (7): 2253-2269, 2020.

MAWPHLANG, O. I. L.; KHARSHIING, E.V. Photoreceptor mediated plant growth responses: Implications for photoreceptor engineering toward improved performance in crops. **Front. Plant Sci.**, [Lausanne] 8, 1–14, 2017.

MIAO, Y.; CHEN, Q.; QU, M.; GAO, L.; HOU, L. Blue light alleviates ‘red light syndrome’ by regulating chloroplast ultrastructure, photosynthetic traits and nutrient accumulation in cucumber plants. **Sci. Hortic.**, [Amsterdam] 257, 2019.

MORARU, P. I.; RUSU, T.; MINTAS, O. S. Trial Protocol for Evaluating Platforms for Growing Microgreens in Hydroponic Conditions. **Foods**, [Basel] 11: 9, 1-16, 2022.

MUTHERT, L. W. F.; IZZO, L. G.; VAN ZANTEN, M.; ARONNE, G. Root Tropisms: Investigations on Earth and in Space to Unravel Plant Growth Direction. **Front Plant Sci.**, [Lausanne] 2020.

ORLANDO, M.; TRIVELLINI, A.; INCROCCI, L.; FERRANTE, A.; MENSUALI, A. A inclusão de luz verde em um fundo de luz vermelha e azul afeta o crescimento e a qualidade funcional de espécies de microverdes vegetais e flores. **Horticulturae**, [Basel] 8, 217, 1-20, 2022.

ÖZYAZICI, G. Influence of Organic and Inorganic Fertilizers on Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Agronomic Traits, Essential Oil and Components under Semi-Arid Climate. **Agronomy**, [Basel] 2021, 11, 1427.

PANNICO, A.; EL-NAKHEL, C.; GRAZIANI, G.; KYRIACOU, M.C.; GIORDANO, M.; SOTERIOU, G.A.; ZARRELLI, A.; RITIENI, A.; DE PASCALE, S.; ROUPHAEL, Y. Selenium biofortification impacts the nutritive value, polyphenolic content, and bioactive constitution of variable microverdes genotypes. **Antioxidants**, [Basel] 9, 272, 1-21, 2020.

PENNISI, G.; BLASIOLI, S.; CELLINI, A.; MAIA, L.; CREPALDI, A.; BRASCHI, I.; SPINELLI, F.; FERNANDEZ, J. A.; STANGHELLINI, C.; MARCELIS, L. F. M.; ORSINI, F.; GIANQUINTO, G. Unraveling the Role of Red: Blue LED Lights on Resource Use Efficiency and Nutritional Properties of Indoor Grown Sweet Basil. **Front. Plant Sci.**, [Lausanne] 1-14, 2019.

PEREIRA R.S.; MUNIZ, M.F.B.; NASCIMENTO, W.M. Aspectos relacionados à qualidade de sementes de coentro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.3, p.703-706, 2005.

REDDY, A. N.; CHAURASIA, A. K.; SUTNGA, E. Assessment of Different Priming Methods on Germination and Quality Parameters of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.**, [s. l.] 9 (11): 3030-3038, 2020.

ROMERO, F. R.; DELATE, K.; HANNAPEL, D. J. The effect of seed source, light during germination, and cold-moist stratification on seed germination in three species of Echinacea for organic production. **HortScience**, [Alexandria] 40 (6):1751-1754, 2005.

SANTIN, M.; RANIERI, A.; CASTAGNA, A. Anything New under the Sun? An Update on Modulation of Bioactive Compounds by Different Wavelengths in Agricultural Plants **Plants**, [Basel] 1-38, 2021.

SAS INSTITUTE. **Statistical Analysis System**, [s.l.] User's Guide. Statistical. Version 9.1th ed. SAS. Inst. Inc. Cary. N.C. USA. 2012.

SEMENOVA, N.A.; SMIRNOV, A.A.; DOROKHOV, A.S.; PROSHKIN, Y.A.; IVANITSKIKH, A.S.; CHILINGARYAN, N.O.; DOROKHOV, A.A.; YANYKIN, D.V.; GUDKOV, S.V.; IZMAILOV, A.Y. Evaluation of the Effectiveness of Different LED Irradiators When Growing Red Mustard (*Brassica juncea* L.) in Indoor Farming. **Energies**, [Basel] 15, 8076, 2022.

SONG, B.; XU, H.; CHEN, L.; FAN, X.; JING, Z.; CHEN, S.; XU, Z. Study of the Relationship between Leaf Color Formation and Anthocyanin Metabolism among Different Purple Pakchoi Lines. **Molecules**, [Basel] 19; 25 (20):4809, 1-13, 2020.

SOBHANI, Z.; MOHTASHAMI, L.; AMIRI, M. S.; RAMEZANI, M.; EMAMI, S. A.; SIMAL-GANDARA, J. Ethnobotanical and phytochemical aspects of the edible herb *Coriandrum sativum* L. **J Food Sci.**, [Chicago] 87(4):1386-1422, 2022.

SU, J.; LIU, B.; LIAO, J.; YANG, Z.; LIN, C.; OKA, Y. Coordination of Cryptochrome and Phytochrome Signals in the Regulation of Plant Light Responses. **Agronomy**, [Basel] 7, 25, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E; MOLLER, IM; MURPHY, A. 2017. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 888p.

TEIXEIRA, R.T. Distinct Responses to Light in Plants. **Plants**, [Basel] 9, 894, 2020.  
TOSCANO, S.; CAVALLARO, V.; FERRANTE, A.; ROMANO, D.; PATANÉ, C. Effects of Different Light Spectra on Final Biomass Production and Nutritional Quality of Two Microverdes. **Plants**, [Basel]. 31;10(8):1584, 2021.

XIAO, Z.; LESTER, G. E.; LUO, Y.; WANG, Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microverdes. **J Agric Food Chem.**, [Washington] 7644-7651, 2012.

YANG, D.; SEATON, D.D.; KRAHMER, J.; HALLIDAY, K.J. Photoreceptor effects on plant biomass, resource allocation, and metabolic state. **Proc Natl Acad Sci USA**. [Washington] 5;113(27):76 ,67-72, 2016.

YU, Z.; MA, J.; ZHANG, M.; LI, X.; SUN, Y.; ZHANG, M.; DING, Z. Auxin promotes hypocotyl elongation by enhancing BZR1 nuclear accumulation in Arabidopsis. **Sci Adv.**, [Washington] 4;9(1), 2023.

ZHANG, X.; BIAN, Z.; YUAN, X.; CHEN, X.; LU, C. A review on the effects of light-emitting diode (LED) light on the nutrients of sprouts and microverdes. **Trends in Food Science & Technology**, [Amsterdam] 1- 61, 2020.

ZHANG, Y.; XIAO, Z.; AGER, E.; KONG, L.; TAN, L. Nutritional Quality and Health Benefits of Microgreens, a Crop of Modern Agriculture. **J. Future Foods.**, [s.l.] 1, 58–6, 2021.

## 5 CAPÍTULO 4 - QUALIDADE E INTENSIDADE LUMINOSA AFETAM A PRODUÇÃO EM MICROVERDES DE COENTRO

**Resumo** - O crescimento, desenvolvimento e rendimento das plantas resultam da absorção de fótons fotossintéticos emitidos pela fonte de luz. Uma forma de controlar a intensidade e a uniformidade de luz que chega às plantas é ajustando a distância entre a fonte luminosa e o dossel das plantas. O objetivo deste estudo foi definir a distância mais adequada entre o dossel das plantas e a fonte de luz, com diferentes qualidades, para o cultivo de microverdes de coentro. O experimento foi realizado em ambiente controlado, em parcela subdividida, com dois fatores, e delineamento experimental em blocos casualizados. O fator qualidade da luz consistiu de luz branca como controle e três diferentes proporções de luz vermelha e azul, representadas respectivamente pelas letras “R” e “B” ao longo da fita LED, sendo 3R:1B; 4R:1B e 5R:1B. O fator intensidade luminosa consistiu nas diferentes distâncias entre a superfície do substrato e a fonte luminosa: 30; 40 e 50 cm. Foram avaliadas a intensidade luminosa, uniformidade da luz (UN%) e distribuição espacial da intensidade em cada área de cultivo. As características biométricas [comprimento do hipocótilo (CH-cm) e dos cotilédones (CC-cm); largura dos cotilédones (LC-cm); área foliar (AF-cm<sup>2</sup>); área foliar específica (AFE-cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>); peso fresco e seco da parte aérea (PFA; PSA-g)], rendimento (RD-kg m<sup>-2</sup>) e eficiência de uso da energia foram avaliadas. Os painéis luminosos com luz R4:B1, tiveram a maior intensidade. As maiores PPFs em todas as qualidades da luz, foram obtidas na distância de 30 cm. A maior uniformidade foi com luz branca. Em 30 cm de distância houve uma distribuição espacial de fótons de maior intensidade, em uma maior área de iluminação. O CH foi maior em luz branca e nas distâncias de 40 e 50 cm. O CC, LC, AF, PFA e RD foram maiores nas plantas cultivadas em iluminação R:B, para todas as proporções comparadas à luz branca, sendo maior também na distância de 30 cm. As microverdes cultivadas sob luz branca não emitiram folhas e a AFE foi maior. A distância influencia principalmente na intensidade e quanto maior a intensidade, melhor o rendimento das microverdes de coentro. A menor distância, de 30 cm da fonte luminosa para a superfície do substrato, melhorou a distribuição espacial e aumentou a intensidade da luz, sendo que microverdes de coentro cultivadas em iluminação vermelho e azul tem características biométricas e rendimento superiores às sob iluminação branca.

**Palavras-chave:** *Coriandrum sativum*. Cotilédones. Distribuição espacial da luz. Uniformidade da luz.

## 5 CHAPTER 4 - LIGHT QUALITY AND INTENSITY AFFECT YIELD IN CORIANDER MICROGREENS

**Abstract** - Plant growth, development and yield result from the absorption by plants of photosynthetic photons emitted by the light source. One way to control the intensity and uniformity of light reaching the plants is to adjust the distance between the light source and the plant canopy. The objective of this study was to define the most appropriate distance between the plant canopy and the light source, with different qualities, for the cultivation of cilantro microgreens. The experiment was conducted in a controlled environment, in a subdivided plot, with two factors, and randomized block design (4). The light quality factor consisted of white light as a control and three different ratios of red and blue light, represented respectively by the letters "R" and "B" along the LED strip, being 3R:1B; 4R:1B and 5R:1B. The light intensity factor consisted of the different distances between the substrate surface and the light source: 30; 40 and 50 cm. Light intensity, light uniformity (UN%) and spatial distribution of intensity in each growing area were evaluated. The biometric characteristics [length of hypocotyl (CH-cm) and cotyledons (CC-cm); width of cotyledons (LC-cm); leaf area (LA-cm<sup>2</sup>); specific leaf area (SFA-cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>); fresh and dry weight of aerial part (CFP; PES-g)], yield (RD-kg m<sup>-2</sup>) and energy use efficiency were evaluated. The light panels with R4:B1 light, had the highest intensity. The highest PPFDs in all light qualities, were obtained at the 30 cm distance. The greatest uniformity was with white light. At 30 cm distance there was a spatial distribution of photons of higher intensity, over a larger area of illumination. The CH was higher in white light and at distances of 40 and 50 cm. The CC, LC; AF, PFA and RD were higher in plants grown in R:B illumination, for all ratios compared to white light, being higher also at the 30 cm distance. The microgreens grown under white light did not emit leaves and the AFE was higher. The distance mainly influences the intensity and the higher the intensity, the better the yield of coriander microgreens. The distance of 30 cm from the light source to the substrate surface improved the spatial distribution and increased the light intensity, and cilantro microgreens grown under red and blue lighting have superior biometric characteristics and yield than those under white lighting.

**Keywords:** *Coriandrum sativum*. Cotyledons. Spatial distribution of light. Light uniformity.

## 5.1 Introdução

A Agricultura Urbana é identificada como uma ferramenta importante para sustentar a segurança alimentar local, gerando empregos e renda nas áreas urbanas, principalmente com a agricultura vertical (FAO, 2020). Esse tipo de agricultura refere-se à produção de plantas em edifícios com controle ambiental preciso, sendo também denominadas de fazendas verticais (RAJAN *et al.*, 2019). As fazendas verticais estão se tornando populares em áreas urbanas, uma vez que os fatores ambientais podem ser totalmente controlados, o que aumenta a capacidade de alcançar uma eficiência de uso dos recursos e maior rendimento das culturas (JAYALATH *et al.*, 2021).

Uma parte importante da Agricultura Urbana é dada pela produção de microverdes, um negócio potencialmente lucrativo na era da pandemia de Covid 19 quando agricultores precisaram adaptar a produção alimentar aos novos contextos econômicos e sociais (PARASCHIVU; COTUNA, 2021).

No cultivo de microverdes em fazendas verticais a iluminação artificial é a única fonte de luz, e graças ao desenvolvimento de diodos emissores de luz (LED) de baixo consumo, foram desenvolvidos sistemas de cultivo interior altamente avançados e intensivos (ANTA, 2022). Para a produção agrícola, os LEDs com maior eficiência de radiação fotossinteticamente ativa são os LEDs vermelho e azul (R:B) (SEMENOVA *et al.*, 2022).

As plantas possuem fotorreceptores com sensibilidade de perceber a luz em intensidade de luz (número de fótons) e qualidade (comprimento de onda) que geram sinais celulares que regulam fotorrespostas específicas (TAIZ *et al.*, 2017). O crescimento, desenvolvimento e rendimento das plantas resulta de fótons fotossintéticos emitidos pela fonte de luz e absorvidos pelos órgãos clorofilados. Esses fótons capturados resultam na produção de assimilados fotossintéticos (JIN *et al.*, 2022). Portanto, controlar a intensidade e a qualidade da luz é eficaz para otimizar o rendimento e a qualidade das plantas (LIN *et al.*, 2022).

Uma das formas de se controlar a intensidade e a uniformidade de luz que chega às plantas é ajustando a distância entre a fonte luminosa e o dossel das plantas. A maior proximidade da fonte de luz com o dossel possibilita a ocorrência de maiores intensidades e uniformidade, no entanto, pode resultar em superaquecimento e absorção pontual dos fótons, por outro lado, se a fonte luminosa for colocada mais distante haverá dissipação da luz, o que reduzirá a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) para essas plantas (REHMAN *et al.*, 2017).

Informações sobre a distância entre a fonte luminosa e o dossel das plantas para microverdes não são apresentadas na maioria das pesquisas, os poucos trabalhos encontrados

que apresentam essa informação utilizaram distância (cm) da bandeja para a fonte luminosa de 40 (AMPIM *et al.*, 2020), 50 (KAMAL *et al.*, 2020), 38 (GEROVAC *et al.*, 2016) e 56,5 (KOPSELL *et al.*, 2014). O objetivo deste estudo foi definir a distância mais adequada entre o dossel das plantas e a fonte de luz, com diferentes qualidades, para o cultivo de microverdes de coentro.

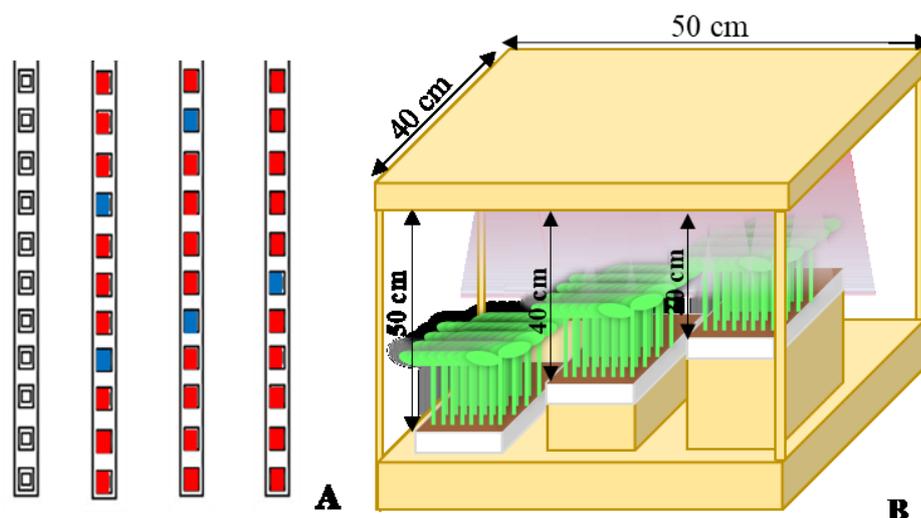
## 5.2. Material e métodos

### 5.2.1 Condições de crescimento e delineamento experimental

O experimento foi realizado na sala de crescimento de plantas do laboratório de Olericultura do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará-UFC, Campus Professor Prisco Bezerra, em Fortaleza-CE. Durante todo o experimento o ambiente foi mantido controlado. A temperatura ficou ajustada em  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  e a umidade relativa entre 60-70%.

O experimento foi realizado em parcela subdividida, com dois fatores. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, constituídos de estantes de metal que continham as parcelas e subparcelas, cada estante representou um bloco, sendo as microverdes de coentro cultivadas em quatro blocos/estantes. O fator primário, qualidade da luz, constituiu as parcelas com luz branca como controle (fita LED branca, modelo 2835 com 60 LEDs  $\text{m}^{-1}$ ) e três diferentes proporções de luz vermelha (600-780 nm) e azul (400-500 nm), representadas respectivamente pelas letras “R” e “B” ao longo da fita LED (modelo 5050 com 60 LEDs  $\text{m}^{-1}$ ), 3R:1B; 4R:1B e 5R:1B (Figura 5A).

Figura 5 - Exemplo ilustrativo das condições experimentais. Qualidades da luz, com fitas LED branca e diferentes proporções de R:B (vermelho:azul) (A); Distância entre as bandejas e os painéis luminosos (B). Fortaleza, CE, UFC, 2023



Fonte: elaborada pela autora (2023).

O fator secundário que representou as subparcelas foram diferentes intensidades luminosas proporcionadas a partir das diferentes distâncias entre a superfície do substrato e a fonte luminosa: 30 cm; 40 cm e 50 cm (Figura 5B).

As parcelas, 50 x 40 cm (largura e comprimento, respectivamente), foram dispostas em estantes de metal, sendo cada uma isolada com placas de isopor de 1,5 cm de espessura para evitar a interferência da luz nas parcelas vizinhas. Em cada parcela ficaram dispostas e casualizadas as subparcelas. Em cada subparcela/parcela foi alocada uma bandeja de cultivo de microverdes de coentro que foi exposta à luz a partir dos 4 dias após a semeadura (DAS). O fotoperíodo aplicado foi de 16 horas de luz/08 horas de escuro, automatizado por meio de um temporizador analógico (Golden cabo®).

Foram utilizadas bandejas de polipropileno com dimensões de 18 x 10 x 4,5 cm (comprimento, largura, altura). O substrato utilizado foi uma mistura de pó de côco, previamente lavado, misturado com vermiculita na proporção de 5:1 (v/v). O volume de substrato utilizado foi de 180 cm<sup>3</sup>, cerca de 60 g (peso seco). O pH e a condutividade elétrica do substrato foram medidos utilizando uma proporção 1:2,5 de substrato: água destilada, formando uma solução na qual as medições foram realizadas (KYRIACOU *et al.*, 2020). Um medidor de condutividade elétrica de bancada (Marconi mCa -150®) e um medidor de pH (Mettler Toledo®) foram utilizados para essas medições. Os valores de pH e a condutividade elétrica do substrato foram 6,1 e 0,04 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente.

A semeadura, em cada bandeja, foi feita com 17 g, em média 2.000 sementes/frutos, da cultivar ‘Verdão’ (TopSeed®), que possui uma taxa de germinação de 80% e 99% de pureza (Informação do fabricante). Após o preenchimento das bandejas com o substrato, as sementes foram acomodadas homogeneamente em toda a superfície, sendo adicionada uma cobertura com cerca de 32 g (substrato-semente-substrato - SSS), com espessura de, aproximadamente, 1 cm de altura acima das sementes.

Cada conjunto SSS, foi irrigado por subirrigação com água destilada até que ficasse completamente umedecido, permanecendo nesta condição até o quarto DAS. A partir do quinto DAS, quando iniciou a emergência das plântulas, a irrigação passou a ser realizada com uma solução modificada de Hoagland e Arnon (1950), com um quarto de força e condutividade elétrica de 0,7 dS m<sup>-1</sup>, apresentando a seguinte concentração de macronutrientes (em mmol L<sup>-1</sup>): 15,0 N; 1,0 P; 6,0 K; 5,0 Ca; 2,0 Mg; 2,0 S; e micronutrientes (em μmol L<sup>-1</sup>): 90,0 Fe; 46,3 B; 18,30 Cl; 9,10 Mn; 0,8 Zn; 0,3 Cu e 0,1 Mo.

### 5.2.2 Avaliações de intensidade, uniformidade e distribuição espacial da luz

A densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) foi medido na altura do dossel, para cada distância avaliada, com um medidor de Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) modelo “Spectrum Spec-3415A”. As medições foram realizadas dividindo-se toda a área do painel em quadrantes de 5 cm<sup>2</sup>, totalizando 48 pontos amostrados, no qual foram registrados os valores mínimo, máximo e médio (calculado automaticamente pelo equipamento) de PPFD em cada distância avaliada entre a superfície do substrato e a fonte luminosa: 30 cm; 40 cm e 50 cm.

A uniformidade da luz (UN%) foi obtida das duas maneiras recomendadas pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE), uma delas pela razão entre a intensidade de luz mínima e máxima do painel luminoso ( $U = \text{Min}/\text{Max}$ ) (MOAVEN *et al.*, 2022). A outra pela razão entre a intensidade de luz mínima e média do painel luminoso ( $U = \text{Min}/\text{Média}$ ) (Kim *et al.*, 2014), medidas em  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

A distribuição espacial da intensidade foi ilustrada a partir das medições de PPFD nos 48 quadrantes de 5 cm<sup>2</sup> para cada área de cultivo/painel luminoso (MOAVEN *et al.*, 2022).

### 5.2.3 Avaliações biométricas e rendimento

Aos 14 DAS, coletamos 10 microverdes de coentro, de cada tratamento e repetição para as avaliações biométricas e de rendimento (JONES-BAUMGARDT *et al.*, 2019). A colheita foi feita com tesoura esterilizada com álcool 70%, cortando-se a cerca de 0,5 cm acima da região do colo da planta (XIAO *et al.*, 2012). As plantas foram retiradas cuidadosamente com porção de substrato, lavadas em água e secas em papel toalha.

As características avaliadas foram: comprimento do hipocótilo (cm); comprimento de dos cotilédones (cm); largura dos cotilédones (cm); área foliar (cm<sup>2</sup>); área foliar específica (cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>); peso fresco e seco da parte aérea (g) e rendimento (kg m<sup>-2</sup>). A área foliar e os pesos fresco e seco foram avaliados para 10 plantas, já que seus valores individuais foram muito baixos.

O comprimento do hipocótilo foi medido do colo da planta ao ponto de inserção dos cotilédones. O comprimento dos cotilédones foi medido desde o ponto de inserção do pecíolo no hipocótilo até seu ápice e a largura dos cotilédones foi medida em sua região média, com auxílio de paquímetro digital (Digimess®).

A área foliar foi medida por método direto com um integrador de área foliar LI-COR®, modelo LI 3100 e a área foliar específica obtida pela relação da área foliar com o peso seco de parte aérea (FAN *et al.*, 2013). O peso fresco foi medido com pesagem em balança analítica e o material vegetal fresco colocado em sacos de papel e levados para estufa com circulação

forçada de ar a uma temperatura de 65 °C por 48 horas. Após, determinou-se o peso seco com pesagem em balança analítica.

O rendimento (produção por área) foi calculado pesando-se a parte aérea (hipocótilos e cotilédones) de todas as plantas por bandeja (144 cm<sup>2</sup>), de cada tratamento e repetição. Seus resultados foram expressos em 1m<sup>2</sup> (MORARU; ROSU e MINTAS, 2022).

#### ***5.2.4 Análise estatística***

A análise estatística foi realizada utilizando o sistema computacional estatístico SAS® (SAS Institute, 2012). O teste F foi aplicado para a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Os dados foram apresentados como média ± erro padrão.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.3.1 Avaliações de intensidade da luz

Os painéis luminosos com luz R4:B1, tiveram a maior intensidade mínima, média e máxima, nas três distâncias avaliadas, enquanto os painéis luminosos com luz branca, tiveram as menores intensidades. As maiores PPFDs em todas as qualidades da luz, foram obtidas na distância de 30 cm (Quadro 3).

Quadro 3- Intensidade média, máxima e mínima, e uniformidade (%) da luz nos painéis luminosos. Fortaleza, CE, UFC, 2023

Qualidade da luz	Distância entre as bandejas e os painéis luminosos (cm)	<sup>3</sup> PPFD ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )			Uniformidade %	
		Média	Máx.	Mín.	Mín/ Média	Mín/ Máx
Branca	30	2,5	3,0	1,5	60	50
<sup>1</sup> R3: <sup>2</sup> B1	30	9,6	11,5	4,8	50	42
R4: B1	30	11,9	14,4	7,9	66	55
R5: B1	30	9,9	10,2	4,9	49	48
Branca	40	2,2	2,6	1,5	68	58
R3: B1	40	7,8	9,6	4,8	62	50
R4: B1	40	10	11,9	7,2	72	61
R5: B1	40	9,0	9,9	5,1	57	52
Branca	50	2,0	2,2	1,5	75	68
R3: B1	50	6,8	7,7	4,7	69	61
R4: B1	50	8,4	9,9	5,0	60	51
R5: B1	50	7,1	8,0	4,8	68	60

Fonte: elaborada pela autora.<sup>1</sup>R: Red (luz vermelha); <sup>2</sup>B: Blue (luz azul); <sup>3</sup>PPFD: Densidade de Fluxo de fótons fotossinteticamente ativos.

A maior PPFd na menor distância (30 cm) é explicada pela “Lei do Quadrado Inverso”, no qual a intensidade da luz diminui com a distância da fonte à superfície receptora, e a taxa de diminuição é proporcional ao quadrado da distância entre o emissor e o receptor, ou seja, a intensidade da luz medida é inversamente proporcional à distância ao quadrado, da fonte de radiação (BROWNSON, 2014). Assim, aproximar a fonte luminosa das plantas ou as plantas da fonte luminosa aumentará a densidade de fótons incidentes, o que pode ser uma alternativa viável do ponto de vista técnico e econômico, já que muitos sistemas de iluminação são operados por meio de calibrações de software e hardware para que a PPFd seja quantificada com precisão e ajustada para a iluminação artificial (AL MURAD *et al.*, 2021).

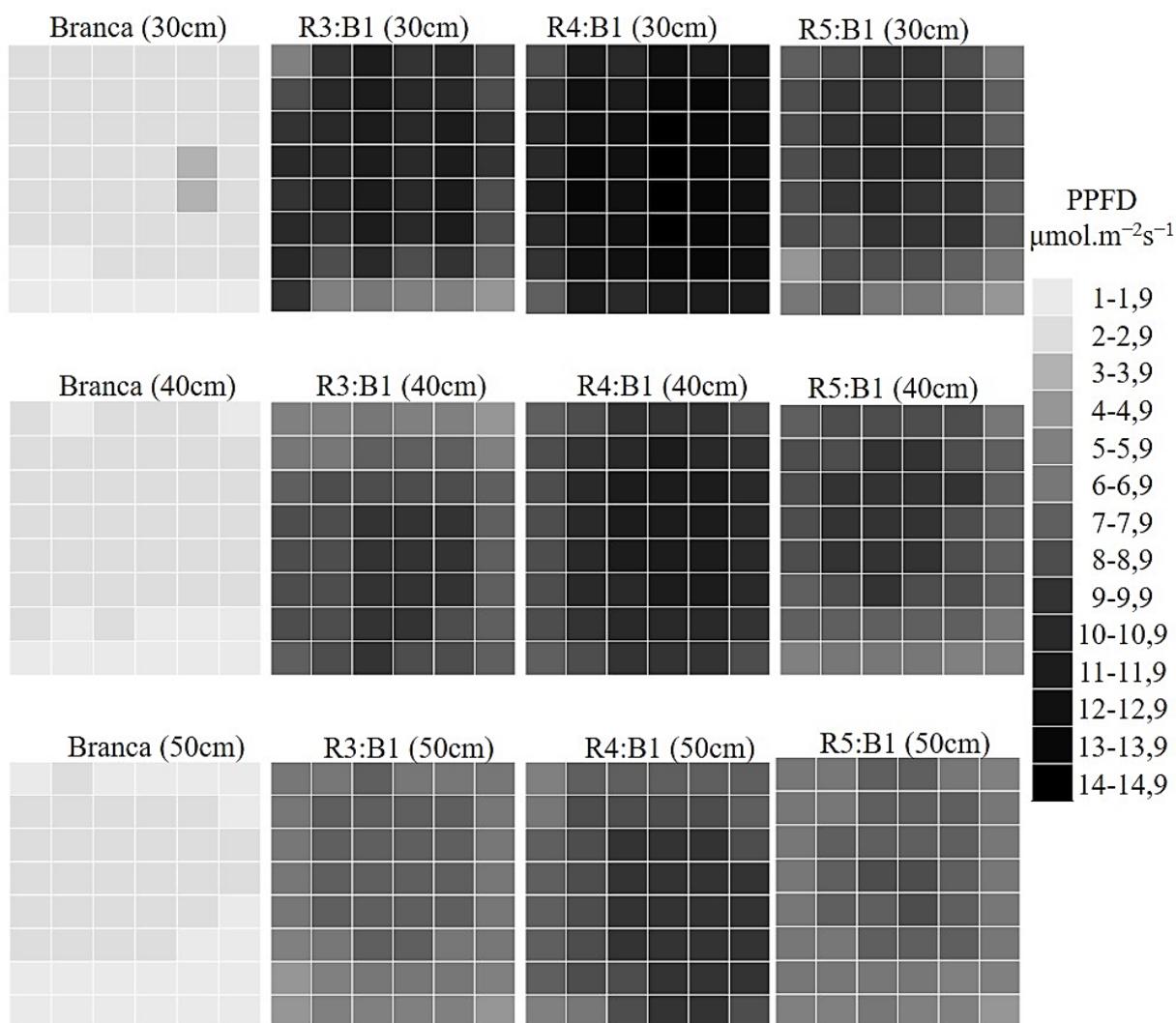
No entanto, apesar da possibilidade de se aumentar a intensidade luminosa sobre a planta reduzindo sua distância da fonte de luz, essa aproximação deve ser planejada de forma cuidadosa, pois um aumento da intensidade de fótons produzirá mais calor, o que deve ser efetivamente removido do sistema para melhor funcionalidade (BIAN *et al.*, 2016). O maior calor dos LEDs está relacionado principalmente com emissores de alta intensidade, os emissores LED com menor intensidade, como os utilizados na pesquisa, podem ser colocados mais próximos da superfície da planta, sem causar nenhum dano, e ainda são operados com menor consumo de energia (MASSA *et al.*, 2008).

A maior uniformidade no sistema de iluminação, nos dois métodos avaliados, foi com luz branca (Quadro 1), isso porque os valores de PPFD mínimo, médio e máximo foram muito próximos. A uniformidade foi maior quando calculada em função da média de PPFD, uma vez que os valores máximos, foram acima da média, reduzindo a uniformidade nos cálculos. A uniformidade também foi reduzida conforme a distância entre fonte de luz e altura do dossel das plantas foi reduzido.

De acordo com a “Lei do Quadrado Inverso”, uma planta receberá 100% dos fótons se estiver a menos de 30,48 cm da fonte de luz (BROWNSON, 2014). Porém, quando reduz a distância da luz incidente sua distribuição tende a ser mais pontual, reduzindo sua uniformidade (BICKFORD; DUNN, 1972). Uma forma de melhorar a uniformidade na iluminação é otimizar a iluminância dos LEDs (ZONG *et al.*, 2010), o que conseguimos obter, com a distribuição da iluminação em três fitas.

A distribuição espacial da intensidade mostra que os painéis dispostos à 30 cm da superfície do substrato tem fótons de maior intensidade em uma maior área de iluminação. Já em 40 e 50 cm, os fótons de maior intensidade estão localizados na porção mais centralizada do painel. A melhor distribuição espacial de fótons com maior intensidade foi obtida com iluminação R3:B1 e R4:B1 (Figura 6).

Figura 6 - Distribuição espacial da intensidade (PPFD,  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) nos painéis luminosos medidos em plano horizontal à uma distância de 30, 40 e 50 cm da fonte luminosa para a superfície do substrato nas bandejas. Fortaleza, CE, UFC, 2023



Fonte: elaborada pela autora. <sup>1</sup>R: Red (luz vermelha); <sup>2</sup>B: Blue (luz azul); <sup>3</sup>PPFD: Densidade de Fluxo de fótons fotossinteticamente ativos. Fonte: elaborada pela autora.

A distribuição dos LEDs no painel luminoso complementa a uniformidade da iluminação, pois evita que os fótons se espalhem, reduzindo assim o desperdício de eletricidade, mantendo o fluxo constante de fótons fotossintéticos, uma vez que a eficiência de captura de fótons no dossel diminui à medida que o campo de iluminação se torna menor (RAHMAN *et al.*, 2021). Neste estudo, mantivemos um maior campo de iluminação quando distribuímos as 3 fitas LEDs de forma equidistante nos painéis, espaçadas em 10 cm. A aproximação dos painéis também para as plantas melhorou a distribuição espacial por reduzir o ângulo de iluminação, pois a intensidade radiante (ou luminosa) é o fluxo radiante (ou luminoso) por ângulo sólido em uma determinada direção da fonte, de modo que a proximidade dos LEDs, distribuídos por todo o painel possibilitou a redução do quociente do fluxo radiante pelo ângulo sólido em que se propaga, ou seja, maior acúmulo de fótons na mesma direção (PARET; CRÉGO, 2019).

### 5.3.2 Avaliações biométricas e rendimento

Verificou-se significância ( $p < 0,05$ ) nos dados submetidos à análise de variância (ANOVA) com efeito isolado para todas as variáveis analisadas em microverdes de coentro produzidas nas diferentes qualidades da luz e distâncias. Já para a interação entre os fatores, verificamos significância para o comprimento do hipocótilo (CH), comprimento (CC) e largura do cotilédone (LC), área foliar (AF) e área foliar específica (AFE) (Tabela 6).

Tabela 6- Análise de variância para características biométricas e rendimento para microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz e e distâncias para fonte luminosa. Comprimento do hipocótilo (CH), comprimento do cotilédone (CC), largura do cotilédone (LC), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), peso fresco da parte aérea (PFA), peso seco da parte aérea (PSA) e rendimento (RD). Fortaleza, CE, UFC, 2023

Variável analisada	Pr> Fc- Fontes de variações					
	<sup>2</sup> (QL)	<sup>3</sup> (DS)	QL x DS	Bloco	<sup>4</sup> CV1%	<sup>5</sup> CV1%
CH (cm)	0,0275*	0,0000*	0,0000*	0,4713 <sup>ns</sup>	10,04	7,41
CC (cm)	0,0147*	0,000*	0,0002*	0,4817 <sup>ns</sup>	13,53	8,88
LC (cm)	0,0001*	0,0000*	0,0000*	0,0852 <sup>ns</sup>	12,03	9,71
AF (cm <sup>2</sup> )	0,0155*	0,0007*	0,0015*	0,9869 <sup>ns</sup>	9,31	7,42
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	0,0000*	0,0209*	0,0115*	0,1939 <sup>ns</sup>	9,22	16,79
PFA (g)	0,0040*	0,0335*	0,8391 <sup>ns</sup>	0,0002*	13,35	14,91
PSA (g)	0,0000*	0,0001*	0,6123 <sup>ns</sup>	0,2405 <sup>ns</sup>	9,33	10,97
RD (kg m <sup>-2</sup> )	0,0320*	0,0000*	0,1042 <sup>ns</sup>	0,1745 <sup>ns</sup>	15,36	12,78
<sup>1</sup> GL	3	2	6	3		

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>Grau de liberdade (GL); <sup>2</sup>Qualidade da luz (QL); <sup>3</sup>Distância do painel luminoso para a superfície do substrato (DS); <sup>4</sup>Coefficiente de variação \*Significativo em nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup>: Não significativo ( $p > 0,05$ ).

O comprimento do hipocótilo (CH) foi maior em luz branca (9,23 cm) e nas distâncias de 40 (9,03) e 50 cm (9,08) (Tabela 7).

Tabela 7- Efeito isolado para características biométricas e rendimento para microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz e distâncias para a fonte luminosa. Comprimento do hipocótilo (CH), comprimento do cotilédone (CC), largura do cotilédone (LC), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), peso fresco da parte aérea (PFA), peso seco da parte aérea (PSA) e rendimento (RD). Fortaleza, CE, UFC, 2023

Variável analisada	Qualidade da luz				
	Branca	<sup>1</sup> R3:2B1	R4:B1	R5:B1	<sup>3</sup> DMS
CH (cm)	9,23 <sup>0,05</sup> a	8,38 <sup>0,07</sup> ab	8,11 <sup>0,18</sup> b	8,06 <sup>0,06</sup> b	1,08
CC (cm)	2,68 <sup>0,21</sup> b	3,02 <sup>0,23</sup> ab	2,68 <sup>0,52</sup> ab	3,37 <sup>0,56</sup> a	0,515
LC (cm)	0,34 <sup>0,07</sup> b	0,47 <sup>0,04</sup> a	0,40 <sup>0,23</sup> a	0,36 <sup>0,17</sup> b	0,06
AF (cm <sup>2</sup> )	35,15 <sup>0,01</sup> b	41,06 <sup>0,02</sup> a	39,20 <sup>0,02</sup> ab	39,83 <sup>0,02</sup> a	4,60
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	919,98 <sup>1,15</sup> a	717,54 <sup>1,13</sup> b	681,80 <sup>0,61</sup> b	644,48 <sup>1,78</sup> b	87,14
PFA (g)	0,37 <sup>38,22</sup> b	0,40 <sup>15,07</sup> b	0,35 <sup>28,90</sup> b	0,47 <sup>0,02</sup> a	0,07
PSA (g)	0,04 <sup>0,034</sup> b	0,05 <sup>0,020</sup> a	0,06 <sup>0,020</sup> a	0,06 <sup>0,020</sup> a	0,004
RD (kg m <sup>-2</sup> )	2,27 <sup>2,09</sup> b	2,79 <sup>3,70</sup> a	2,63 <sup>2,44</sup> ab	2,81 <sup>3,46</sup> a	0,51

Variável analisada	Distância do painel luminoso para a superfície do substrato (cm)			
	30	40	50	DMS <sup>2</sup>
CH (cm)	7,24 <sup>0,21</sup> b	9,03 <sup>0,23</sup> a	9,08 <sup>0,21</sup> a	0,55
CC (cm)	3,52 <sup>0,07</sup> a	2,93 <sup>0,04</sup> b	2,51 <sup>0,05</sup> c	0,23
LC (cm)	0,49 <sup>0,01</sup> a	0,43 <sup>0,02</sup> b	0,31 <sup>0,01</sup> c	0,03
AF (cm <sup>2</sup> )	41,18 <sup>1,15</sup> a	38,61 <sup>1,13</sup> b	36,63 <sup>0,66</sup> b	2,54
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	817,24 <sup>38,22</sup> a	695,58 <sup>15,07</sup> b	710,03 <sup>60,54</sup> ab	109,91
PFA (g)	0,43 <sup>0,03</sup> a	0,42 <sup>0,02</sup> ab	0,37 <sup>0,03</sup> b	0,05
PSA (g)	0,06 <sup>0,002</sup> a	0,06 <sup>0,001</sup> a	0,05 <sup>0,003</sup> b	0,05
RD (kg m <sup>-2</sup> )	3,36 <sup>0,14</sup> a	2,31 <sup>0,26</sup> b	2,21 <sup>0,09</sup> b	0,29

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>R: Red (luz vermelha); <sup>2</sup>B: Blue (luz azul); <sup>3</sup>DMS: diferença mínima significativa; Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

O maior comprimento do hipocótilo entre as plantas cultivadas sob luz branca e nas maiores distâncias (40 e 50 cm) estão em função do alongamento em resposta a evitação à sombra (BOCCACCINI *et al.*, 2020). Um aumento na PPFd resultou em menor comprimento do hipocótilo em microverdes de couve-rábano, couve-mizuna e mostarda (GEROVAC *et al.*, 2016). Microverdes de chicória, rabanete e alfafa também tiveram menor comprimento de hipocótilo quando submetidas a maiores PPFds, independentemente da combinação espectral (ORLANDO *et al.*, 2022). Esses resultados estão de acordo com os obtidos em nossa pesquisa, em que o aumento da PPFd resultou em menores comprimentos de hipocótilo, a exceção da luz branca, na qual as plantas tiveram os maiores hipocótilos sem se diferenciar entre as distâncias avaliadas (Tabela 8).

Tabela 8- Desdobramentos das parcelas e subparcelas para características biométricas e rendimento para microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz e distâncias para fonte luminosa. Comprimento do hipocótilo (CH), comprimento do cotilédone (CC), largura do cotilédone (LC), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), peso fresco da parte aérea (PFA), peso seco da parte aérea (PSA) e rendimento (RD). Fortaleza, CE, UFC, 2023

Variável analisada	Subparcelas Distância (cm)	Parcelas				
		Branca	<sup>1</sup> R3: <sup>2</sup> B1	R4:B1	R5:B1	<sup>3</sup> DMS
CH (cm)	30	9,35 <sup>0,40</sup> aA	7,85 <sup>0,10</sup> bB	5,83 <sup>0,31</sup> cB	5,93 <sup>0,48</sup> cB	1,37
	40	8,8 <sup>0,31</sup> aBA	8,20 <sup>0,30</sup> aAB	9,05 <sup>0,31</sup> aA	9,13 <sup>0,48</sup> aA	1,37
	50	9,53 <sup>0,15</sup> aA	9,11 <sup>0,65</sup> aA	9,45 <sup>0,17</sup> aA	9,13 <sup>0,05</sup> aA	1,37
CC (cm)	30	2,85 <sup>0,13</sup> cA	3,31 <sup>0,02</sup> bcA	4,33 <sup>0,31</sup> aA	3,60 <sup>0,14</sup> bA	0,62
	40	2,73 <sup>0,10</sup> abA	3,07 <sup>0,02</sup> abAB	3,33 <sup>0,31</sup> aB	2,60 <sup>0,14</sup> bB	0,62
	50	2,46 <sup>0,14</sup> aA	2,68 <sup>0,10</sup> aB	2,45 <sup>0,07</sup> aC	2,46 <sup>0,03</sup> aC	0,62
LC (cm)	30	0,36 <sup>0,02</sup> bA	0,56 <sup>0,01</sup> aA	0,43 <sup>0,03</sup> aA	0,60 <sup>0,01</sup> aA	0,08
	40	0,33 <sup>0,02</sup> bB	0,52 <sup>0,04</sup> aA	0,50 <sup>0,03</sup> aB	0,36 <sup>0,01</sup> bB	0,08
	50	0,29 <sup>0,03</sup> aC	0,31 <sup>0,01</sup> aB	0,32 <sup>0,01</sup> aC	0,33 <sup>0,02</sup> aB	0,08
AF (cm <sup>2</sup> )	30	33,50 <sup>1,32</sup> bA	45,40 <sup>1,90</sup> abA	39,80 <sup>1,13</sup> bA	46,06 <sup>2,17</sup> aA	6,05
	40	36,15 <sup>2,17</sup> aA	40,90 <sup>1,38</sup> aAB	39,80 <sup>1,16</sup> aA	37,00 <sup>1,04</sup> aB	6,05
	50	34,35 <sup>1,51</sup> aA	36,90 <sup>0,75</sup> aB	38,00 <sup>1,46</sup> aA	37,3 <sup>1,07</sup> aB	6,05
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	30	728,95 <sup>36,32</sup> aB	739,48 <sup>22,75</sup> aA	642,70 <sup>48,23</sup> aA	729,00 <sup>32,12</sup> aA	209,64
	40	877,11 <sup>72,44</sup> aB	667,19 <sup>14,20</sup> abA	699,70 <sup>54,56</sup> aA	538,34 <sup>35,24</sup> aA	209,64
	50	1.153,87 <sup>118,91</sup> aA	745,97 <sup>18,89</sup> bA	703,01 <sup>68,46</sup> bA	667,08 <sup>51,86</sup> bA	209,64

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>R: Red (luz vermelha); <sup>2</sup>B: Blue (luz azul); <sup>3</sup>DMS: diferença mínima significativa; Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

O comprimento do cotilédone (CC), foi maior nas microverdes sob iluminação R5:B1 (3,37 cm) e na distância de 30 cm (3,52cm) (Tabela 7). A largura do cotilédone (LC) foi maior nas microverdes cultivadas R3:B1 (0,47 cm) e R4:B1 (0,40 cm) e também na distância de 30 cm (0,49 cm) (Tabela 7). A expansão celular nos cotilédones pode ser influenciada pela intensidade e qualidade da luz (SHAFIQ *et al.*, 2021). Na luz vermelha, podem ser observados aumentos significativos no comprimento e na largura das células do parênquima com o aumento da intensidade da luz (KOZUKA *et al.*, 2011).

A área foliar (AF) e o peso fresco da parte aérea (PFA) foram maiores nas plantas cultivadas em iluminação R:B, para todas as proporções se comparadas à luz branca, sendo maior também na distância de 30 cm (41,18 cm<sup>2</sup>) (Tabela 7). A maior AF nas microverdes sob iluminação R:B, na menor distância, também está em função da presença da primeira folha definitiva nesses tratamentos, sendo o maior valor obtido em R5:B1 (46,06 cm<sup>2</sup>), no qual a primeira folha encontrava-se maior e mais expandida (Tabela 8; Figura 7J). As microverdes cultivadas sob luz branca não emitiram folhas, sendo observado apenas um primórdio foliar sob distancia de 30 cm (Figura 7A).

Figura 7 - Microverdes de coentro aos 14 dias após a semeadura, produzidas em diferentes qualidades da luz e distâncias para fonte luminosa. Plantas sob luz branca em distância de 30 (A); 40 (B) e 50 cm (C). Plantas sob luz R3:B1 em distância de 30 (D); 40 (E) e 50 cm (F). Plantas sob luz R4:B1 em distância de 30 (G); 40 (H) e 50 cm (I). Plantas sob luz R5:B1 em distância de 30 (J); 40 (K) e 50 cm (L). Barra= 1,0 cm. Fortaleza, CE, UFC, 2023



Fonte: elaborada pela autora (2023).

Em microverdes de couve-rábano e mostarda, o aumento na PPFD levou a maior área foliar, o que ocorreu devido ao maior tamanho dos cotilédones (SAMUOLIENĖ *et al.*, 2013). A emissão de folhas é um processo regulado pela luz, uma mudança na intensidade da luz altera rapidamente os programas energético, hormonal, de proliferação celular e de diferenciação (MOHAMMED *et al.*, 2018). Com aumento da intensidade da luz, as folhas se desenvolvem

com um mesófilo paliádico multicamada para apoiar o desempenho fotossintético, resultando em uma atividade mitótica aumentada, o que aumenta também a atividade meristemática (LÓPEZ-JUEZ *et al.*, 2007; KALVE *et al.*, 2014).

A emissão de folhas sob maior proporção de luz vermelha pode ter ocorrido pela maior distribuição do transportador de auxina PIN1 para a membrana plasmática, permitindo a exportação de auxina, que precede o crescimento de primórdios e induz a iniciação do órgão (YOSHIDA *et al.*, 2011; SASSI *et al.*, 2012).

A área foliar específica (AFE), foi maior nos tratamentos sob luz branca ( $919,98 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ), sendo mais expressivo em luz branca, na distância de 50 cm ( $1.153,87 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ) (Tabela 8). A maior AFE em luz branca e na menor intensidade causada pela maior distância entre a fonte de luz e as plantas estão relacionadas à menor espessura dos cotilédones, que reduzem o peso seco das plantas (EVANS *et al.*, 2001; VALLADARES; NIINEMETS, 2008).

O peso seco da parte aérea (PSA) foi maior nas plantas cultivadas em iluminação R:B, para todas as proporções e nas distâncias de 30 e 40 cm (Tabela 2). O peso seco é influenciado pela morfologia e anatomia da parte aérea, nas microverdes cultivadas em menores intensidades de luz, os cotilédones são mais finos, devido a menor espessura do tecido paliádico e a menor quantidade de cloroplastos (BORSUK; BRODERSEN, 2019).

O rendimento (RD), foi maior em plantas cultivadas em iluminação R:B, sendo R3:B1 ( $2,79 \text{ kg m}^{-2}$ ), R4:B1 ( $2,63 \text{ kg m}^{-2}$ ) e R5:B1 ( $2,81 \text{ kg m}^{-2}$ ), comparadas à luz branca ( $2,21 \text{ kg m}^{-2}$ ), e na distância de 30 cm ( $3,36 \text{ kg m}^{-2}$ ) (Tabela 7). O rendimento aumentou conforme aumentou a intensidade da luz. O rendimento das plantas depende da quantidade de luz incidente que atinge o dossel (JAYALATH *et al.*, 2021). Em plantas cujos cotilédones epígeos se expandem e realizam fotossíntese, à medida que a luz incidente aumenta, a fotossíntese do dossel e o acúmulo de biomassa das plantas também aumentam, desde que a fotossíntese do dossel não seja saturada de luz (KLASSEN *et al.*, 2003).

#### **5.4. Conclusão**

A distância de 30 cm da fonte luminosa combinada com as qualidades R:B avaliadas são as mais indicadas para a produção de microverdes de coentro, com distribuição espacial de fótons de maior intensidade em uma maior área de iluminação e maiores rendimentos em todas as proporções de vermelho e azul, que foram superiores ao de microverdes cultivadas sob luz branca.

## REFERÊNCIAS

- AL MURAD, M.; RAZI, K.; JEONG, B.R.; SAMY, P.M.A.; MUNEER, S. Light Emitting Diodes (LEDs) as Agricultural Lighting: Impact and Its Potential on Improving Physiology, Flowering, and Secondary Metabolites of Crops. **Sustainability**, [Basel] 2021, *13*, 1985.
- AMPIM, P.A.Y.; OBENG, E.; GONZALEZ, E. O.; WEERASOORIYA, A.; OSUJI, G. O.; MYERS, D. J. The Response of Egyptian Spinach and Vegetable Amaranth Microgreens to Different Light Regimes. **Sci J Biol & Life Sci.**, [s.l.] 1: 2, 1-5, 2020.
- ANTA, C. V. **Cultivo de microgreen de rúcula en agricultura vertical indoor: Evaluación económica y medioambiental**. Dissertação de mestrado, Universidade politécnica de Cartagena, Cartagena. 55 p, 2022.
- BIAN, Z.H.; CHENG, R.F.; YANG, Q.C.; WANG, J.; LU, C. Continuous light from red, blue, and green light-emitting diodes reduces nitrate content and enhances phytochemical concentrations and antioxidant capacity in lettuce. **J. Am. Soc. Hortic. Sci.**, [Alexandria] 186–195, 2016.
- BICKFORD, E. D.; DUNN, S. **Lighting for plant growth** (The Kent State Univ. Press, Kent, OH), 1972, 230p.
- BOCCACCINI, A.; LEGRIS, M.; KRAHMER, J.; ALLENBACH-PETROLATI, L.; GOYAL, A.; GALVAN-AMPUDIA, C.; VERNOUX, T.; KARAYEKOV E CASAL J.J.; FANKHAUSER, C. Low Blue Light Enhances Phototropism by Releasing Cryptochrome1-Mediated Inhibition of PIF4 Expression. **Plant Physiol.**, [Rockville] Aug;183 (4):1780-1793, 2020.
- BORSUK, A.M.; BRODERSEN, C.R. The Spatial Distribution of Chlorophyll in Leaves. **Plant Physiol.**, [Rockville] Jul;180(3):1406-1417, 2019.
- CUI, H.; JIN, L.; LI, B.; ZHANG, J.; ZHAO, B.; DONG, S.; LIU, P. Effects of shading on stalks morphology, structure and lodging of summer maize in field. **Scientia Agricultura Sinica**, [Pequim] 45, 3497–3505, 2012.
- EVANS, J.R.; POORTER, H. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: The relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant Cell Environ.** [West Sussex] 24, 755–767, 2001.
- FAN, X.; XU, Z.; LIU, X.; TANG, C.; WANG, L.; HAN, X.. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. **Scientia Horticulturae**, [Amsterdam] 153. 50-55, 2013.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2020, Green Cities Initiative; FAO/UN: Rome, Italy. Disponível em: <http://www.fao.org/3/cb0848en/cb0848en.pdf>. Acesso em 18 de janeiro de 2023.
- GEROVAC, J. R.; CRAVER, J. K.; BOLDT, J. K.; LOPEZ, R. G. Light intensity and quality from solesource light-emitting diodes impact growth, morphology, and nutrient content of brassica microverdes. **HortSci.**, [Alexandria] 497-503, 2016.

GIORDANO, M.; PETROPOULOS, S.; KYRIACOU, M.; GRAZIANI, G.; ZARRELLI, A.; ROUPHAEL, Y.; EL-NAKHEL, C. Nutritive and Phytochemical Composition of Aromatic Microgreen Herbs and Spices Belonging to the Apiaceae Family. **Plants**, [Basel] 11. 1-14, 2022.

JAYALATH, T.C.; VAN IERSEL M.W. Canopy Size and Light Use Efficiency Explain Growth Differences between Lettuce and Mizuna in Vertical Farms. **Plants**, Basel. Apr 6;10(4):704, 2021.

BROWNSON, J. R. S. **Laws of Light**. In Solar Energy Conversion Systems. Elsevier, [Amsterdam] 2014, 480p.

JIN, W.; FORMIGA, L. D.; HEUVELINK, E.; MARCELIS, L. F. M. Light use efficiency of lettuce cultivation in vertical farms compared with greenhouse and field. **Food and Energy Security**, [Hoboken] 1-10, 2022.

JONES-BAUMGARDT, C.; LLEWELLYN, D.; YING, Q.; ZHENG, Y. Intensity of sole-source light emitting diodes affects growth, yield, and quality of Brassicaceae microverdes. **HortScience**, [Alexandria] 1168- 1174, 2019.

KAMAL, K.Y.; KHODAEIAMINJAN, M.; EL-TANTAWY, A. A.; MONEIM, D. A.; SALAM, A. A.; ASHSHORMILLESY, S. M. A. I.; HERRANZ, R.; EL-ESAWI, M. A.; NASSRALLAH, A. A.; RAMADAN, M. F. Evaluation of growth and nutritional value of Brassica microverdes grown under red, blue and green LEDs combinations. **Physiologia Plantarum**, [Hoboken] 1-15, 2020.

KIM, M. J.; CHOO, Y. K.; KIM, U. J.; CHUNG, S. O. Evaluation of Light Intensity and Uniformity of LEDs for Protected Crop Production. **Aribusiness and Information Management**, [s. l.] 6 (1), 37-44, 2014.

KLASSEN, S.P.; RITCHIE, G.L.; FRANTZ, J.M.; PINNOCK, D.R.; BUGBEE, B. **Digital Imaging and Spectral Techniques: Applications to Precision Agriculture and Crop Physiology**. American Society of Agronomy; Minneapolis, MN, USA: Real-Time Imaging of Ground Cover: Relationships with Radiation Capture, Canopy Photosynthesis, and Daily Growth Rate, 3–14, 2003.

KOPSELL, D. A.; SAMS, C. E.; BARICKMAN, T. C.; MORROW, R. C. Sprouting broccoli accumulate higher concentrations of nutritionally important metabolites under narrow-band light-emitting diode lighting. **J Am Soc Hortic Sci.**, [Alexandria] 469–477, 2014.

KOZUKA, T.; KONG, S.G.; DOI, M.; SHIMAZAKI, K.; NAGATANI, A. Tissue-autonomous promotion of palisade cell development by phototropin 2 in Arabidopsis. **Plant Cell.**, [Rockville] 23(10):3684-95, 2011.

KYRIACOU, M.C.; EL-NAKHEL, C.; PANNICO, A.; GRAZIANI, G.; SOTERIOU, G.A.; GIORDANO, M.; PALLADINO, M.; RITIENI, A.; DE PASCALE, S.; ROUPHAEL, Y. Phenolic Constitution, Phytochemical and Macronutrient Content in Three Species of Microverdes as Modulated by Natural Fiber and Synthetic Substrates. **Antioxidants**, [Basel] 9, 252, 1-23, 2020.

LIN, HH., LIN, KH., YANG, MJ. Physiological responses and antioxidant properties of coriander plants (*Coriandrum sativum* L.) under different light intensities of red and blue lights. **Sci Rep.**, [London] 12 , 21139, 2022.

LIU, W.G.; HUSSAIN, S.; TING, L.; ZOU, J.; REN, M.; TAO, Z.; JIANG, L.; FENG, Y.; YANG, W.Y. Shade stress decreases stem strength of soybean through restraining lignin biosynthesis. **Journal of Integrative Agriculture.**, [Pequim] 18, 43–53, 2019.

MASSA, G.D.; KIM, H.; WHEELER, R.M.; MITCHELL, C.A. Plant productivity in response to LED lighting. **Hortscience**, [Alexandria] 43:1951–1956, 2008.

MOAVEN, A.; PAHLEVANINEZHAD, H.; PAHLEVANINEZHAD, M.; PAHLEVANI, M. Uniform Illumination Using Single-Surface Lens through Wavefront Engineering. **Horticulturae**, [Basel] 8, 1019, 2022.

MORARU, P. I.; RUSU, T.; MINTAS, O. S. Trial Protocol for Evaluating Platforms for Growing Microgreens in Hydroponic Conditions. **Foods**, Basel, 11: 9, 1-16, 2022.

ORLANDO, M.; TRIVELLINI, A.; INCROCCI, L.; FERRANTE, A.; MENSUALI, A. A inclusão de luz verde em um fundo de luz vermelha e azul afeta o crescimento e a qualidade funcional de espécies de microverdes vegetais e flores. **Horticulturae**, [Basel] 8, 217, 1-20, 2022.

PARASCHIVU, M.; COTUNA, O. Considerations on Covid 19 impact on agriculture and food security and forward-looking statements. **Engineering in Agriculture and Rural Development**, [s. l.] Vol.21(1):573-581, 2021.

REHMAN, M.; ULLAH, S.; BAO, Y.; WANG, B.; PENG, D.; LIU, L. Light-emitting diodes: whether an efficient source of light for indoor plants. **Environ Sci Pollut Res Int.**, [Heidelberg] 24 (32): 24743-24752, 2017.

SAMUOLIENĖ, G.; BRAZAITYTE, A.; JANKAUSKIENE, J.; VIRŠILE, A.; SIRTAUTAS, R.; NOVIČKOVAS, A.; SAKALAUŠKIENE, S.; SAKALAUŠKAITE, J.; DUCHOVSKIS, P. O nível de irradiância do LED afeta o crescimento e a qualidade nutricional de Brassica microverdes. **Open Life Sci.**, [Varsóvia] 8 :1241-1249, 2013.

SEMENOVA, N.A.; SMIRNOV, A.A.; DOROKHOV, A.S.; PROSHKIN, Y.A.; IVANITSKIKH, A.S.; CHILINGARYAN, N.O.; DOROKHOV, A.A.; YANYKIN, D.V.; GUDKOV, S.V.; IZMAILOV, A.Y. Evaluation of the Effectiveness of Different LED Irradiators When Growing Red Mustard (*Brassica juncea* L.) in Indoor Farming. **Energies**, [Basel] 15, 8076, 2022.

SHAFIQ, I.; HUSSAIN, S.; RAZA, M.A.; IQBAL, N.; ASGHAR, M.A.; RAZA, A.; FAN, Y.-F.; MUMTAZ, M.; SHOAIB, M.; ANSAR, M.; MANAF, A.; YANG, W. Crop photosynthetic response to light quality and light intensity. **J. Integr. Agric.**, [Pequim] 20, 4–23, 2021.

STOYNOVA-BAKALOVA, E.; KARANOV, E.; PETROV, P.I.; HALL, M.A. Cell division and cell expansion in cotyledons of arabidopsis seedlings. **New Phytologist**, [London] 162(2):471–479, 2004.

SU, J.; LIU, B.; LIAO, J.; YANG, Z.; LIN, C.; OKA, Y. Coordination of Cryptochrome and Phytochrome Signals in the Regulation of Plant Light Responses. **Agronomy**, [Basel] 7, 25, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, IM.; MURPHY, A. 2017. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**, Porto Alegre: 6 ed. Artmed, 888p.

VALLADARES, F.; NIINEMETS, Ü. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, [Palo Alto] 39, 237–257, 2008.

XIAO, Z.; LESTER, G. E.; LUO, Y.; WANG, Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microverdes. **J Agric Food Chem**, [Washington] 7644-7651, 2012.

YING, Q.; KONG, Y.; JONES-BAUMGARDT, C.; ZHENG, Y. Responses of yield and appearance quality of four Brassicaceae microverdes to varied blue light proportion in red and blue light-emitting diodes lighting. **Scientia Horticulturae**, [Amsterdam] 1-8, 2020.

ZONG, Q.; KAI, W.; FEI, C.; XIAOBING, L.; SHENG, L. Uniform lighting condition analysis generated by an array of light ets with a wide angle of view. **Opt. Express**, [Washington] 18, 60-76, 2010.

ZHANG, W.; WU, L.; DING, Y.; FEI, W.; WU, X.; LI, G.; LIU, Z.; SHE, T.; DINNG, C.; WANG S. Top-dressing nitrogen fertilizer rate contributes to decrease culm physical strength by reducing structural carbohydrate content in japonica rice. **Journal of Integrative Agriculture**, [Basel] 15, 992–1004, 2016.

## 6 CAPÍTULO 5 – FOTOPERÍODO E QUALIDADE DA LUZ INFLUENCIAM A PRODUÇÃO E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO CULTIVO DE MICROVERDES DE COENTRO

**Resumo** - A produção de microverdes é realizada principalmente em ambientes fechados, com iluminação artificial, sendo necessárias soluções voltadas para aumentar a eficiência da conversão de energia em rendimento e qualidade das plantas. O objetivo desta pesquisa foi identificar o fotoperíodo que possibilite a obtenção de microverdes de coentro com melhores resultados biométricos, de rendimento e de eficiência energética, sob diferentes qualidades da luz. O experimento foi realizado em sala de crescimento com ambiente controlado, em parcela subdividida e delineamento experimental inteiramente casualizado, com 3 repetições. As parcelas foram compostas por três fotoperíodos: 16 horas de luz/08 horas de escuro (16/08); 12 horas de luz/12 horas de escuro (12/12) e dois ciclos de 08 horas de luz/04 horas de escuro (08/04-2x). As subparcelas foram compostas por diferentes qualidades da luz, luz branca como controle e três diferentes proporções de luz vermelha e azul, representadas, respectivamente, pelas letras “R” e “B” ao longo da fita LED, sendo 3R:1B; 4R:1B e 5R:1B. As características biométricas [comprimento do hipocótilo (CH-cm) e dos cotilédones (CC-cm); largura dos cotilédones (LC-cm); área foliar (AF-cm<sup>2</sup>); área foliar específica (AFE-cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>); peso fresco e seco da parte aérea (PFA, PSA-g)] e rendimento (RD-kg m<sup>-2</sup>) foram avaliadas. Também foram avaliadas as características referentes a eficiência energética: quantidade de luz diária integral (DLI- mol m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>); eficiência de uso da energia (EUE- kg kWh<sup>-1</sup>); custo total de energia para a produção de microverdes de coentro em 1 m<sup>2</sup> (CTE- R\$ m<sup>-2</sup>) e custo de energia para cada kg de microverdes de coentro produzido em 1 m<sup>2</sup> (CEP- R\$ kg<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup>). O CH e CC foram maiores em fotoperíodo 12/12. A LC, AF, AFE, PFA, PSA e RD foram maiores nos fotoperíodos 16/08 e 08/04 (2x) e na iluminação R:B. A DLI foi superior para os tratamentos com luz R:B nos três fotoperíodos avaliados. A EUE, CTE e CTP foram maiores para as plantas cultivadas nos fotoperíodos de 12/12 e sob luz branca. A produção de microverdes de coentro foi superior em fotoperíodo 16/08 e 08/04 (2x) e na iluminação com LEDs R:B. O fotoperíodo de 12/12 e sob luz branca, possibilitou produzir microverdes de coentro com maior rendimento por quantidade de energia utilizada.

**Palavras-chave:** *Coriandrum sativum*. Custos. Fotossíntese. Luz diária integral.

## 6 CHAPTER 5 - PHOTOPERIOD AND LIGHT QUALITY INFLUENCE YIELD AND ENERGY EFFICIENCY IN CORIANDER MICROGREENS CULTIVATION

**Abstract** - The production of microgreens is mainly carried out indoors, with artificial lighting, and solutions are needed to increase the efficiency of energy conversion into plant yield and quality. The objective of this research was to identify the photoperiod that allows to obtain coriander microgreens with better biometric, yield and energy efficiency results, under different light qualities. The experiment was conducted in a growth room with controlled environment, in a subdivided plot and completely randomized, with 3 repetitions. The plots were composed of three photoperiods: 16 hours light/08 hours dark (08/16); 12 hours light/12 hours dark (12/12) and two cycles of 08 hours light/04 hours dark (04/08-2x). The subplots were composed by different qualities of light, white light as control and three different proportions of red and blue light, represented, respectively, by the letters "R" and "B" along the LED strip, being 3R:1B; 4R:1B and 5R:1B. The biometric characteristics [hypocotyl length (CH-cm), root length (CR-cm) and cotyledon length (CC-cm); cotyledon width (LC-cm); leaf area (LA-cm<sup>2</sup>); specific leaf area (SFA-cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>); aboveground fresh and dry weight (SFA, PES-g)] and yield (RD-kg m<sup>-2</sup>) were evaluated. Also, the characteristics referring to energy efficiency were evaluated: daily integral light quantity (DLI- mol m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>); energy use efficiency (EUE); total energy cost for the production of cilantro microgreens in 1 m<sup>2</sup> (CTE- R\$ m<sup>-2</sup>) and energy cost for each kg of cilantro microgreens produced in 1m<sup>2</sup> (CEP- R\$ kg<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup>). The CH and CC were higher in 12/12 photoperiod. CR, LC, AF, AFE, PFA, PSA and RD were higher in photoperiod 08/16 and 04/08 (2x) and in R:B illumination. DLI was higher for the R:B light treatments in all three photoperiods evaluated. EUE, CTE and CTP were higher for plants grown in the 12/12 photoperiods and under white light. The yield of cilantro microgreens was higher in photoperiod 12/16 and 4/8 (2x) and in R:B LED lighting. The 12/12 photoperiod and under white light, made it possible to produce cilantro microgreens with higher yield per amount of energy used.

**Keywords:** *Coriandrum sativum*. Costs. Photosynthesis. Full daily light.

## 6.1 Introdução

A produção de microverdes tem atraído muitos produtores devido à crescente demanda e alto valor de mercado (TREADWELL *et al.*, 2020). Como a iluminação artificial para o cultivo dessas plantas representa o maior custo de produção, são necessárias soluções voltadas para aumentar a eficiência da conversão de energia em rendimento e qualidade (PROIETTI *et al.*, 2021). Com a iluminação artificial por diodos emissores de luz (LED) e sistemas de controle programáveis, o tempo e a intensidade da iluminação hortícola são controlados com precisão, o que contribui para a obtenção de maiores rendimentos por eletricidade consumida, ou seja, maior eficiência energética no ambiente de cultivo (RASHIDI *et al.*, 2023).

Uma vez que a luz é um importante sinal ambiental, que induz a biossíntese de pigmentos fotossintéticos e fitoquímicos e melhora a qualidade nutricional das plantas, o fotoperíodo (duração da luz em um período de 24 horas) e a intensidade da luz (densidade do fluxo de fótons fotossintéticos-PPFD  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) têm efeitos significativos em sua produção (LIN *et al.*, 2022). Como produto do fotoperíodo e da intensidade, a luz diária integral (DLI), importante medida de eficiência energética, indica a quantidade cumulativa de luz que uma planta recebe em um dia, ou seja, o número de mols de fótons acumulados que incidem sobre uma superfície de  $1 \text{ m}^2$  em um período de 24 horas (RENGASAMY *et al.*, 2022). Devido as luzes vermelhas e azuis serem as principais fontes envolvidas na fisiologia das plantas, sua proporção no ambiente de cultivo também é crucial (WANG *et al.*, 2023), já que ambas possuem intensidades luminosas diferentes (LI *et al.*, 2020), ademais ambos são usados em conjunto para fornecer a radiação fotossinteticamente ativa mais eficiente (BRICE, 2020).

O fotoperíodo pode ser aplicado com a duração do período luminoso de forma contínua ou em regimes de iluminação cíclica com mais de um ciclo claro-escuro ao longo de 24 horas, com comprimentos de período claro e escuro na escala de tempo das horas e, ainda, com iluminação intermitente e flutuante o que inclui pequenas mudanças na intensidade da luz, na escala de milissegundos até cerca de uma hora (WARNER *et al.*, 2023). O fotoperíodo de 16 horas/claro e 08 horas/escuro tem sido o mais utilizado no cultivo de microverdes (JONES-BAUMGARDT *et al.*, 2020), e pode influenciar no alongamento de hipocótilos, área foliar e peso fresco das plantas (PENNISI *et al.*, 2019; SEMENOVA *et al.*, 2022).

Considerar como estratégias de iluminação de microverdes ajustes na qualidade da luz e no fotoperíodo, podem otimizar os rendimentos das plantas melhorando a eficiência energética em seus sistemas de cultivo. O objetivo foi identificar a qualidade da luz e o fotoperíodo que possibilitem a obtenção de microverdes de coentro com melhores características biométricas, de rendimento e com maior eficiência energética.

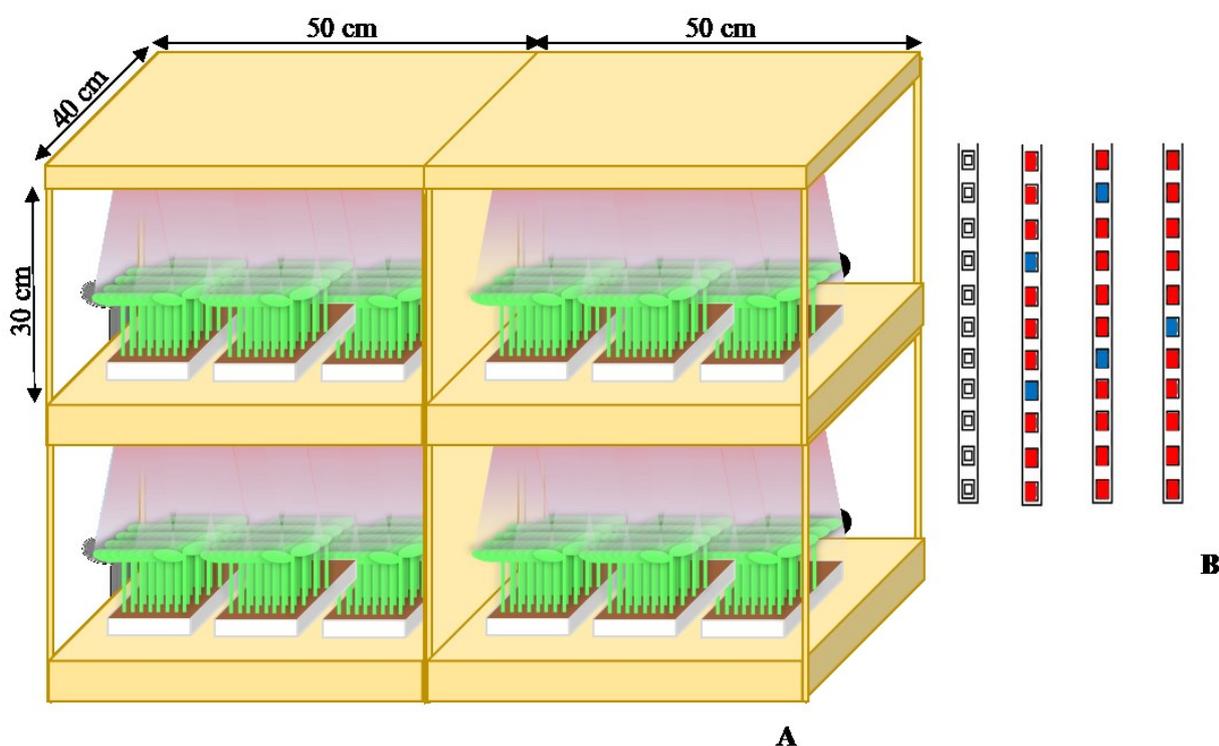
## 6.2 Material e métodos

### 6.2.1 Condições de crescimento e delineamento experimental

O experimento foi realizado na sala de crescimento de plantas do laboratório de Olericultura do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará-UFC, Campus Professor Prisco Bezerra, em Fortaleza-CE. Durante todo o experimento o ambiente foi mantido controlado. A temperatura ficou ajustada em  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  e a umidade relativa entre 60-70%.

O experimento foi conduzido em parcela subdividida, com dois fatores. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 3 repetições. O fator primário que constituiu as parcelas foi composto por três fotoperíodos: 16 horas de luz/08 horas de escuro, considerado padrão (16/08); 12 horas de luz/12 horas de escuro (12/12) e 08 horas de luz/04 horas de escuro, em regime cíclico, com dois ciclos (08/04-2x). Cada parcela recebeu um fotoperíodo (Figura 1A), no qual foram casualizadas as subparcelas (Figura 8B).

Figura 8 - Exemplo ilustrativo das condições experimentais. Parcela que recebe um determinado fotoperíodo, sendo que em cada um de seus compartimentos foi inserido uma subparcela (A); Fitas LED branca e com diferentes proporções de R:B (vermelho/azul) (B). Fortaleza, CE, UFC, 2023



Fonte: elaborada pela autora.

O fator secundário, qualidade da luz, constituiu as subparcelas com luz branca como controle (fita LED branca, modelo 2835 com 60 LEDs  $\text{m}^{-1}$ ) e três diferentes proporções de luz vermelha (600-780 nm) e azul (400-500 nm), representadas respectivamente pelas letras “R” e

“B” ao longo da fita LED (modelo 5050 com 60 LEDs  $\text{m}^{-1}$ ), 3R:1B; 4R:1B e 5R:1B (Figura 8B).

As subparcelas, 30 x 50 x 40 cm (altura x largura e comprimento, respectivamente), foram dispostas nas parcelas, sendo cada uma isolada com placas de isopor de 1,5 cm de espessura para evitar a interferência da luz das subparcelas vizinhas (Figura 8A). Em cada subparcela, as fitas de LED foram dispostas em placas de isopor, formando painéis luminosos, em quantidades de três fitas espaçadas a cada 10 cm no sentido longitudinal. Cada painel luminoso foi instalado a uma distância de 30 cm da superfície do substrato das bandejas de cultivo. Em cada subparcela foi alocada uma bandeja que foi exposta à luz.

Os fotoperíodos aplicados em cada parcela foram automatizados por meio de um temporizador analógico (Golden cabo®) e a exposição das plantas à luz iniciou aos quatro dias após a semeadura (DAS). A densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) foi medida na altura do dossel, para todos os tratamentos, com um medidor de Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) modelo “SPECTRUM SPEC-3415A”, cujas medições foram quantificadas como a máxima, mínima e média (na área total de cada bandeja) PPFD ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) (Quadro 4).

Quadro 4- Intensidade média, máxima e mínima da luz nos painéis luminosos. Fortaleza, CE, UFC, 2023

Qualidade da luz	<sup>3</sup> PPFD ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )		
	Média	Máxima	Mínima
Branca	2,5	3,0	1,0
<sup>1</sup> R3: <sup>2</sup> B1	9,6	11,5	4,8
R4: B1	11,9	14,4	7,9
R5: B1	9,9	10,2	4,9

Fonte: elaborada pela autor. Legenda: <sup>1</sup>R: Red (luz vermelha); <sup>2</sup>B: Blue (luz azul); <sup>3</sup>PPFD: Densidade de Fluxo de fótons fotossinteticamente ativos.

Foram utilizadas bandejas de polipropileno com dimensões de 18 x 10 x 4,5 cm (comprimento, largura, altura). O substrato utilizado foi uma mistura de pó de côco, previamente lavado, misturado com vermiculita na proporção de 5:1 (v/v). O volume de substrato utilizado foi de 180  $\text{cm}^3$ , cerca de 60 g (peso seco). O pH e a condutividade elétrica do substrato foram medidos utilizando uma proporção 1:2,5 de substrato: água destilada, formando uma solução na qual as medições foram realizadas (KYRIACOU *et al.*, 2020). Um medidor de condutividade elétrica de bancada (Marconi mCa -150®) e um medidor de pH (Mettler Toledo®) foram utilizados para as medições. Os valores de pH e a condutividade elétrica do substrato foram 6,1 e 0,04  $\text{dS m}^{-1}$ , respectivamente.

A semeadura, em cada bandeja, foi feita com 17 g, em média 2.000 sementes/frutos, pesadas com o auxílio de uma balança Analítica Bel M214-AIH®. Foi utilizada a cultivar ‘Verdão’ (TopSeed®), com taxa de germinação de 80% e 99% de pureza (Informação do fabricante). Após o preenchimento das bandejas com o substrato, acomodou-se homogeneamente as sementes em toda a superfície do substrato, sendo adicionada uma cobertura de 1 cm de substrato sobre as sementes, ou seja, aproximadamente 32 g formando a tríplice substrato-semente-substrato (SSS).

Cada conjunto SSS, foi irrigado por subirrigação com água destilada até o substrato ficar completamente umedecido, permanecendo nesta condição até o 4º DAS. A partir do 5º DAS, momento em que a emergência das plântulas iniciou, a irrigação foi realizada com uma solução modificada de Hoagland e Arnon (1950), de um quarto de força e condutividade elétrica de 0,7 dS m<sup>-1</sup>, com a seguinte concentração de macronutrientes (em mmol L<sup>-1</sup>): 15,0 N; 1,0 P; 6,0 K; 5,0 Ca; 2,0 Mg; 2,0 S; e micronutrientes (em µmol L<sup>-1</sup>): 90,0 Fe; 46,3 B; 18,30 Cl; 9,10 Mn; 0,8 Zn; 0,3 Cu e 0,1 Mo.

### **6.2.2 Avaliações biométricas e de rendimento**

Aos 14 dias após a semeadura (DAS), foram coletadas 10 microverdes de coentro, de cada tratamento e repetição para as avaliações biométricas e de rendimento (JONES-BAUMGARDT *et al.*, 2019). A colheita foi feita com tesoura esterilizada com álcool 70%, cortando-se a cerca de 0,5 cm acima da região do colo da planta (XIAO *et al.*, 2012). As plantas foram retiradas cuidadosamente com porção de substrato, lavadas em água e secas em papel toalha.

As características avaliadas foram: comprimento do hipocótilo (cm); comprimento dos cotilédones (cm); largura dos cotilédones (cm); área foliar (cm<sup>2</sup>); área foliar específica (cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>); peso fresco e seco da parte aérea (g) e rendimento (kg m<sup>-2</sup>). A área foliar e os pesos fresco e seco da parte aérea foram avaliados para 10 plantas, já que seus valores individuais eram muito baixos.

O comprimento do hipocótilo foi medido do colo da planta ao ponto de inserção dos cotilédones. O comprimento dos cotilédones foi medido desde o ponto de inserção do pecíolo no hipocótilo até seu ápice. A largura dos cotilédones foi medida em sua região média, com auxílio de um paquímetro digital (Digimess®).

A área foliar foi medida por método direto com um integrador de área foliar (LI-COR®, modelo LI 3100) e a área foliar específica obtida pela relação da área foliar com o peso seco da parte aérea (FAN *et al.*, 2013).

O peso fresco foi medido com pesagem em balança analítica (Bel M214-AIH®), sendo o material vegetal fresco colocado em sacos de papel e levados para estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 65 °C por 48 horas. Após este período, determinou-se o peso seco, com pesagem em balança analítica.

O rendimento (produção por área) foi calculado pesando-se a parte aérea (hipocótilos e cotilédones) de todas as plantas por bandeja (144 cm<sup>2</sup>), de cada tratamento e repetição. Seus resultados foram expressos em 1 m<sup>2</sup> (MORARU; ROSU e MINTAS, 2022).

#### 6.2.4 Avaliações de eficiência energética

As avaliações de eficiência energética foram: quantidade de luz diária integral (DLI); eficiência de uso da energia (EUE); custo total de energia para a produção de 1 m<sup>2</sup> (CTE) e custo de energia para cada quilo produzido em 1 m<sup>2</sup> (CEP).

A quantidade de luz diária integral (DLI) foi calculada a partir dos valores de PPFd das diferentes qualidades da luz e das horas de luz aplicadas em cada fotoperíodo (RENGASAMY *et al.*, 2022):

$$DLI = \frac{PPFD \times 3600 \times \text{Fotoperíodo em horas}}{1.000.000}$$

onde:

DLI = Integral de luz diária em mol m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

PPFD = Densidade de fluxo de fótons fotossintéticos medida em μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

A eficiência de uso da energia (EUE), foi calculada com base no rendimento (kg m<sup>-2</sup>) e no consumo de energia para a produção de microverdes de coentro (KONG; SCHIESTEL; ZHENG, 2019):

$$EUE = \frac{RD}{\Sigma CE}$$

onde:

RD - rendimento de microverdes em kg m<sup>-2</sup>;

ΣCE - eletricidade total consumida durante o período de exposição em 1m<sup>2</sup>- kW h<sup>-1</sup>.

O consumo de energia foi calculado com base na potência (Watts - W) dos LEDs utilizados em cada tratamento. A potência da fita LED R:B (modelo 5050, com 60 LEDs m<sup>-1</sup>) é de 14,4 W m<sup>-1</sup> e da fita LED branca (modelo 2835, com 60 LEDs m<sup>-1</sup>) de 4,8 W m<sup>-1</sup>. Uma vez que o rendimento das microverdes foi calculado para 1 m<sup>2</sup>, a potência dos LEDs também foi calculada para painéis luminosos de 1 m<sup>2</sup>, o que significaria a utilização de 6 fitas, em cada qualidade da luz (Branca ou R:B). A potência de cada painel foi obtida multiplicando a potência de cada fita W m<sup>-1</sup> pela quantidade de fitas no painel. A potência de cada painel em Watts foi

dividida por 1.000 para ser expressa em Quilowatt (kW), indicando a potência total do painel, sendo então multiplicada pelo tempo de uso em horas, indicando o consumo de energia (potência tempo<sup>-1</sup>), expressa em Quilowatt (kW h<sup>-1</sup>) (FRENZEL JÚNIOR, 2015).

A partir do consumo de energia em cada tratamento, foi calculado o custo total de energia para a produção de microverdes de coentro em 1 m<sup>2</sup> (CTE) e o custo de energia para cada kg produzido em 1 m<sup>2</sup> (CEP) (KONDRATEVA *et al.*, 2021). Para os cálculos de custo total de energia para a produção de 1 m<sup>2</sup>, multiplicou-se o consumo total de energia, em cada condição de cultivo, pela tarifa cobrada pela concessionária de energia do Estado do Ceará-Brasil para o ano de 2023. Utilizou-se como base para os cálculos o valor de R\$ 0,59 (kW h<sup>-1</sup>) referente ao horário “fora ponta”, da tarifa branca, na bandeira tarifária verde (Resolução Homologatória nº 3.026, de 19 de abril de 2022, Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL 2022a; 2022b). O custo de energia para cada kg produzido em 1 m<sup>2</sup> foi calculado pela relação entre o custo total da energia elétrica consumida e o rendimento obtido em 1 m<sup>2</sup>.

## ***2.5 Análise estatística***

A análise estatística foi realizada utilizando o sistema computacional estatístico SAS® (SAS INSTITUTE INC, 2012). O teste F foi aplicado para a análise de variância (ANOVA) das variáveis analisadas, e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Os dados foram apresentados como média ± erro padrão.

### 6.3. Resultados e discussão

#### 6.3.1 Avaliações biométricas e de rendimento

Para as avaliações biométricas de microverdes de coentro, verificou-se diferença nos dados obtidos na análise de variância (ANOVA) com efeito isolado para o comprimento do hipocótilo (CH) e do cotilédone (CC), largura do cotilédone (LC), área foliar (AF), área foliar específica (AFE) e peso fresco (PFA) e seco da parte aérea (PSA) nos diferentes fotoperíodos e qualidades da luz e para o rendimento (RD) apenas em função dos fotoperíodos. Para a interação entre os fatores, verificou-se significância para LC, AFE, PSA e RD (Tabela 9).

Tabela 9- Resumo da análise de variância para características biométricas e rendimento para microverdes de coentro produzidas em diferentes fotoperíodos e qualidades da luz. Comprimento do hipocótilo (CH) e do cotilédone (CC), largura do cotilédone (LC), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), peso fresco da parte aérea (PFA), peso seco da parte aérea (PSA) e rendimento (RD). Fortaleza, CE, UFC, 2023

Variável analisada	Pr> Fc- Fontes de variações				
	<sup>2</sup> (FT)	<sup>3</sup> (QL)	FT x QL	<sup>4</sup> CV1%	<sup>5</sup> CV2%
CH (cm)	0,0412*	0,0004*	0,1208 <sup>ns</sup>	7,32	5,60
CC (cm)	0,0007*	0,0037*	0,0270 <sup>ns</sup>	4,95	8,23
LC (cm)	0,0008*	0,0030*	0,0262*	13,50	22,38
AF (cm <sup>2</sup> )	0,0003*	0,0006*	0,5358 <sup>ns</sup>	8,96	10,55
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	0,0004*	0,0198*	0,0019*	8,62	12,11
PFA (g)	0,0253*	0,0319*	0,4786 <sup>ns</sup>	11,04	17,70
PSA (g)	0,0008*	0,0000*	0,0002*	4,10	7,08
RD (kg m <sup>-2</sup> )	0,1238 <sup>ns</sup>	0,0021*	0,0003*	3,24	5,09
GL <sup>1</sup>	2	3	6		

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>Grau de liberdade (GL); <sup>2</sup>Fotoperíodos (FT); <sup>3</sup>Qualidade da luz (QL); <sup>4</sup>Coefficiente de variação da parcela; <sup>5</sup>Coefficiente de variação da subparcela \*Significativo em nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup>: Não significativo ( $p \geq 0,05$ ).

O comprimento do hipocótilo (CH) foi maior em plantas cultivadas em fotoperíodo 12/12 (10,32 cm). O CH teve efeito isolado nas diferentes qualidades da luz, sendo maior sob luz branca (10,60 cm) que sob as plantas cultivadas em R:B (Tabela 10).

Tabela 10- Efeito isolado para características biométricas e rendimento para microverdes de coentro produzidas em diferentes fotoperíodos e qualidades da luz. Comprimento do hipocótilo (CH) e do cotilédone (CC), largura do cotilédone (LC), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), peso fresco da parte aérea (PFA), peso seco da parte aérea (PSA) e rendimento (RD). Fortaleza, CE, UFC, 2023

Variável analisada	Fotoperíodos			<sup>1</sup> DMS	
	12/12	16/08	08/04(2x)		
CH (cm)	10,32 <sup>0,22</sup> a	9,57 <sup>0,25</sup> b	9,40 <sup>0,23</sup> b	0,89	
CC (cm)	2,74 <sup>0,09</sup> a	2,34 <sup>0,04</sup> c	2,51 <sup>0,10</sup> b	0,15	
LC (cm)	3,71 <sup>0,46</sup> c	5,69 <sup>0,18</sup> a	4,57 <sup>0,49</sup> b	0,78	
AF (cm <sup>2</sup> )	19,77 <sup>0,73</sup> b	26,59 <sup>0,78</sup> a	27,55 <sup>1,30</sup> a	2,76	
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	805,43 <sup>26,16</sup> c	969,94 <sup>40,35</sup> b	1.101,33 <sup>67,69</sup> a	103,54	
PFA (g)	0,46 <sup>0,02</sup> b	0,54 <sup>0,04</sup> a	0,47 <sup>0,02</sup> ab	0,06	
PSA (g)	0,025 <sup>0,0012</sup> b	0,027 <sup>0,0009</sup> a	0,025 <sup>0,0009</sup> b	0,001	
Variável analisada	Qualidade da luz				DMS
	Branca	<sup>2</sup> R3: <sup>3</sup> B1	R4:B1	R5:B1	
CH (cm)	10,60 <sup>0,28</sup> a	9,29 <sup>0,19</sup> b	9,74 <sup>0,28</sup> b	9,71 <sup>0,24</sup> b	0,728
CC (cm)	2,35 <sup>0,06</sup> b	2,54 <sup>0,09</sup> b	2,46 <sup>0,07</sup> b	2,77 <sup>0,14</sup> a	0,277
LC (cm)	3,76 <sup>0,32</sup> b	4,72 <sup>0,44</sup> b	4,30 <sup>0,34</sup> b	5,84 <sup>0,71</sup> a	1,389
AF (cm <sup>2</sup> )	20,93 <sup>1,21</sup> b	24,71 <sup>1,37</sup> a	26,03 <sup>1,78</sup> a	26,88 <sup>1,43</sup> a	3,464
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	908,24 <sup>44,67</sup> b	921,43 <sup>63,71</sup> b	1.077,7 <sup>101,92</sup> a	928,23 <sup>33,86</sup> ab	154,804
PFA (g)	0,41 <sup>0,01</sup> b	0,51 <sup>0,04</sup> ab	0,51 <sup>0,02</sup> ab	0,54 <sup>0,04</sup> a	0,117
PSA (g)	0,023 <sup>0,0007</sup> c	0,028 <sup>0,0012</sup> ab	0,025 <sup>0,0009</sup> bc	0,029 <sup>0,0011</sup> a	0,002
RD (kg m <sup>-2</sup> )	5,14 <sup>0,15</sup> b	5,15 <sup>0,16</sup> b	5,40 <sup>0,14</sup> ab	5,66 <sup>0,04</sup> a	0,362

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>DMS: diferença mínima significativa. <sup>2</sup>R: Red (luz vermelha); <sup>3</sup>B: Blue (luz azul). Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

O maior CH em fotoperíodo 12/12 (menor duração da luz) e sob luz branca (menor intensidade luminosa) está associado ao fototropismo. As plantas reconhecem a direção de uma fonte de luz e exibem respostas fototrópicas, reguladas por uma via de sinalização que controla o alongamento celular, em que as células sob menor intensidade de luz se alongam mais do que aquelas sob maior intensidade de luz (HAGA; SAKAI, 2023).

Tabela 11- Desdobramentos das parcelas e subparcelas para características biométricas e rendimento para microverdes de coentro produzidas em diferentes fotoperíodos e qualidades da luz. Comprimento do hipocótilo (CH) e do cotilédone (CC), largura do cotilédone (LC), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), peso fresco da parte aérea (PFA), peso seco da parte aérea (PSA) e rendimento (RD). Fortaleza, CE, UFC, 2023

Variável analisada	Subparcelas	Desdobramento das parcelas dentro das subparcelas			
		Parcelas			<sup>3</sup> DMS
		12/12	16/08	08/04 (2x)	
CC (cm)	R3:B1	2,56 <sup>0,08</sup> aB	2,51 <sup>0,06</sup> aA	2,56 <sup>0,29</sup> aB	0,39
	R4:B1	2,71 <sup>0,05</sup> aB	2,31 <sup>0,03</sup> bA	2,36 <sup>0,07</sup> abB	0,39
	R5:B1	3,21 <sup>0,07</sup> aA	2,25 <sup>0,01</sup> bA	2,84 <sup>0,02</sup> aA	0,39
	Branca	2,47 <sup>0,07</sup> aB	2,29 <sup>0,05</sup> aA	2,29 <sup>18</sup> aB	0,39
LC (cm)	R3:B1	4,77 <sup>0,41</sup> aB	4,58 <sup>0,31</sup> aB	4,80 <sup>1,44</sup> aB	1,96
	R4:B1	3,55 <sup>0,25</sup> bB	5,57 <sup>0,17</sup> aB	3,79 <sup>0,33</sup> abB	1,96
	R5:B1	3,25 <sup>0,33</sup> bA	8,07 <sup>0,06</sup> aA	6,21 <sup>0,33</sup> aA	1,96
	Branca	4,36 <sup>0,33</sup> aB	4,36 <sup>0,23</sup> aB	3,47 <sup>0,91</sup> aB	1,96
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	R3:B1	767,11 <sup>85,91</sup> bA	891,23 <sup>107,72</sup> bA	1,105,95 <sup>18,28</sup> aB	222,48
	R4:B1	755,31 <sup>27,56</sup> bA	1,069,27 <sup>23,41</sup> bA	1,408,52 <sup>128,94</sup> aA	222,48
	R5:B1	891,37 <sup>21,44</sup> aA	856,37 <sup>54,81</sup> aA	1,036,96 <sup>33,49</sup> aB	222,48
	Branca	807,94 <sup>27,83</sup> bA	1,062,89 <sup>43,21</sup> aA	853,88 <sup>53,25</sup> abB	222,48
PSA (g)	R3:B1	0,25 <sup>0,0017</sup> bA	0,031 <sup>0,0023</sup> aA	0,026 <sup>0,0003</sup> bBC	0,003
	R4:B1	0,026 <sup>0,0011</sup> aA	0,026 <sup>0,0004</sup> aB	0,021 <sup>0,0006</sup> bC	0,003
	R5:B1	0,025 <sup>0,0012</sup> bA	0,030 <sup>0,0006</sup> aA	0,031 <sup>0,0002</sup> aA	0,003
	Branca	0,022 <sup>0,0003</sup> aAB	0,021 <sup>0,0004</sup> aB	0,025 <sup>0,0005</sup> aAB	0,003
RD (kg m <sup>-2</sup> )	R3:B1	5,37 <sup>0,20</sup> aA	5,18 <sup>0,23</sup> aBC	5,49 <sup>0,04</sup> aA	67,06
	R4:B1	5,23 <sup>0,12</sup> aAB	5,90 <sup>0,04</sup> aA	5,07 <sup>0,20</sup> aA	67,06
	R5:B1	5,67 <sup>0,08</sup> aA	5,73 <sup>0,05</sup> aAB	5,58 <sup>0,02</sup> aA	67,06
	Branca	4,71 <sup>0,21</sup> aB	4,60 <sup>0,20</sup> a6C	5,53 <sup>0,06</sup> aA	67,06

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>R: Red (luz vermelha); <sup>2</sup>B: Blue (luz azul); <sup>3</sup>DMS: diferença mínima significativa; Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

O maior comprimento dos cotilédones (CC) foram verificados em fotoperíodos 12/12 (2,74 cm), sendo maiores também sob iluminação R5:B1 (2,77 cm) (Tabela 10). Nos fotoperíodos 08/04 (2x) e 12/12, a proporção R5:B1 se destacou com os maiores CCs, em relação às demais qualidades da luz. A largura dos cotilédones foi maior nas plantas cultivadas sob fotoperíodo 16/08 (5,69 cm), sendo maiores também sob iluminação R5:B1 (5,84 cm), com efeito isolado (Tabela 10) e na interação com o fotoperíodo 08/04 (2x) (Tabela 11).

A área reduzida do cotilédone sob iluminação branca pode ser uma resposta da priorização do alongamento do hipocótilo em detrimento da expansão do cotilédone durante o desenvolvimento inicial (WIT *et al.*, 2018). Os padrões de expressão de órgãos tornam-se cada vez mais específicos ao longo do tempo, o que provavelmente reflete as diferentes respostas de crescimento do hipocótilo e dos cotilédones (KOHNEN *et al.*, 2016).

A maior área foliar (AF) foi obtida nos fotoperíodos 16/08 (26,59 cm<sup>2</sup>) e 08/04 (2x) (27,55 cm<sup>2</sup>). As proporções R:B também proporcionaram maiores AF que a luz branca (Tabela 2). A AF das microverdes é composta por hipocótilo, cotilédones e folhas (até 1 par), assim,

qualquer um destes três órgãos da planta pode ter uma maior ou menor importância na composição da AF. Mesmo tendo os maiores hipocótilos, as plantas cultivadas em luz branca, tiveram menor área foliar, o que nos leva a sugerir que o maior tamanho dos cotilédones em iluminação R:B contribuiu de forma significativa para a área foliar total (HAYASHI *et al.*, 2022).

A maior área foliar específica (AFE) foi obtida em plantas que receberam fotoperíodo 08/04 (2x) ( $1.101,33 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ) e sob luzes R4:B1 ( $1.077,70 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ) e R5:B1 ( $928,23 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ) (Tabela 11). A menor AFE no fotoperíodo 12/12 pode estar relacionada as adaptações das plantas para otimizar o uso da menor quantidade de luz disponível, semelhante a uma resposta de sombra (SHAFIQ *et al.*, 2021). Esses ambientes com pouca luz produzem folhas mais finas, aumentando a AFE, ou seja, a proporção de área por massa seca de folhas (GALIENI *et al.*, 2016).

O peso fresco da parte aérea (PFA) foi maior em plantas cultivadas nos fotoperíodos 16/08 (0,54g) e 08/04 (2x) (0,47g), sendo superior também sob iluminação R:B (Tabela 10). Em estudo com microverdes de rabanete e repolho, sob fotoperíodo 08/4 (2x), o peso fresco do rabanete aumentou 6% em comparação com o fotoperíodo 16/08, enquanto o peso fresco do repolho foi comparável em ambas as variantes, mostrando que o fotoperíodo 08/4 (2x) não proporciona efeitos negativos sobre o crescimento das plantas (KONDRATEVA *et al.*, 2021; FILATOV *et al.*, 2022), podendo ser utilizado e adaptado para o cultivo de microverdes em locais em que o preço da tarifa energética é diferente ao longo do dia (AVGOUSTAKI; XYDIS, 2021)

O regime de fotoperíodo cíclico deve atender as demandas fotossintéticas da planta, pois aumentar o número de ciclos de luz aumenta também o tempo de atraso fotossintético total em todo o período de luz ao longo de 24 h, reduzindo a fotossíntese líquida total ao longo de um ciclo de crescimento (WARNER *et al.*, 2023). Uma vez iluminada, a taxa de fotossíntese de folhas adaptadas ao escuro tem um período de atraso, referido como indução fotossintética, que é limitada devido ao início da atividade enzimática no ciclo do carbono e abertura estomática, em que aproximadamente, 10 minutos são necessários para atingir 80% da taxa fotossintética máxima (HANG *et al.*, 2019; KIMURA *et al.*, 2020).

O maior peso seco da parte aérea (PSA) foi obtido em fotoperíodo 16/08 (0,027 g) e sob luz R5:B1 (0,029 g) (Tabela 10). A proporção R5:B1 possibilitou maior peso seco nos fotoperíodos 16/08 (0,031 g) e 08/04 (2x) (0,030 g) (Tabela 11). O fotoperíodo influencia na morfologia das microverdes, o que é diretamente relacionado com a biomassa das plantas (LIU *et al.*, 2022), de modo que nos tratamentos em que as plantas tiveram maiores CC, LC, AF e PFA, o PSA também foi maior.

O maior rendimento (RD) foi obtido nas proporções luminosas R5:B1 (5,66 kg m<sup>-2</sup>) e R4:B1 (5,15 kg m<sup>-2</sup>) (Tabela 10). Resultados semelhantes foram observados nos fotoperíodos 16/08 e 08/04 (2x) (Tabela 11). Os RDs semelhantes nos fotoperíodos 16/08 e 08/04 (2x) podem estar relacionadas com a integral de luz diária (DLI) semelhantes (Quadro 5), ambos contribuindo de forma similar com a quantidade total de luz diária (SONG *et al.*, 2020). Nos fotoperíodos 16/08 e 08/04 (2x) a DLI foi maior que em 12/12, sendo que à medida que a DLI aumenta, o rendimento também aumenta, independentemente do fotoperíodo e intensidade. O aumento de 1% na quantidade de luz leva a um aumento de 1% no rendimento (GAO *et al.*, 2020).

### 6.3.2 Avaliações de eficiência energética

A quantidade de luz diária integral (DLI), foi superior para os tratamentos com luz R:B nos três fotoperíodos avaliados, se comparado a luz branca (controle). A maior DLI foi de 408,96 mol m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup> com iluminação R4:B1 em fotoperíodo de 16/08 e 08/04 (2x), sendo 373,33% maior que a menor DLI obtida sob luz branca, em fotoperíodo de 12/12 (86,4 mol m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>) (Quadro 5).

Quadro 5- Integral de luz diária (DLI, mol m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>) nos diferentes fotoperíodos e qualidades da luz. Fortaleza, CE, UFC, 2023

Qualidade da luz	DLI		
	12/12	16/08	08/04 (2x)
Branca	86,40	115,20	115,20
<sup>1</sup> R3: <sup>2</sup> B1	293,76	391,68	391,68
R4: B1	362,88	483,84	483,84
R5: B1	306,72	408,96	408,96

Fonte: elaborada pela autor. Legenda: <sup>1</sup>R: Red (luz vermelha); <sup>2</sup>B: Blue (luz azul)

As menores DLIs sob luz branca e maiores sob luz R:B estão principalmente em função de suas respectivas PPFs (Quadro 5). A quantidade total de radiação que atinge o dossel é determinada pela intensidade da luz na superfície e pela duração da exposição, quando a PPF é integrada ao longo de um dia (fotoperíodo, h d<sup>-1</sup>), a DLI resultante representa os fótons PAR acumulados em uma determinada área durante aquele dia (HERNADEZ, 2021).

A DLI para os fotoperíodos de 16/08 e 08/04 (2x) tem os mesmos valores. Isso ocorre porque na sua quantificação, o que importa não são os momentos de aplicação da luz, mas o somatório do período luminoso dentro de um período de 24 h, o que no caso dos dois fotoperíodos é igual. Várias combinações de PPF × fotoperíodo podem indicar o mesmo DLI

e efeitos nas características de desempenho da luz e de rendimento das plantas (ELKINS; VAN IERSEL, 2020).

A eficiência de uso da energia (EUE), custo total de energia para a produção em 1 m<sup>2</sup> (CTE) e custo de energia para cada quilo produzido em 1 m<sup>2</sup> (CEP), indicaram diferença (p<0,05) na análise de variância (ANOVA), com efeito isolado para todas as variáveis analisadas, sem interação entre elas (Tabela 12).

Tabela 12- Análise de variância para avaliações de eficiência para microverdes de coentro produzidas em diferentes fotoperíodos e qualidades da luz. Eficiência de uso da energia (EUE), custo total de energia para a produção em 1 m<sup>2</sup> de microverdes de coentro (CTE) e custo de energia para cada quilo de microverdes de coentro produzido em 1 m<sup>2</sup> (CEP). Fortaleza, CE, UFC, 2023

Variável analisada	Pr> Fc- Fontes de variações				
	<sup>2</sup> (FT)	<sup>3</sup> (QL)	FT x QL	<sup>4</sup> CV1%	<sup>5</sup> CV2%
EUE (kg kWh <sup>-1</sup> )	0,000*	0,000*	0,416 <sup>ns</sup>	4,51	33,17
CTE (R\$ m <sup>-2</sup> )	0,000*	0,000*	0,507 <sup>ns</sup>	5,52	19,73
CEP-V (R\$ kg <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	0,000*	0,000*	0,101 <sup>ns</sup>	4,76	20,65
GL <sup>1</sup>	2	3	6		

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>Grau de liberdade (GL); <sup>2</sup>Fotoperíodos (FT); <sup>3</sup>Qualidade da luz (QL); <sup>4</sup>Coeficiente de variação da parcela; <sup>5</sup>Coeficiente de variação da subparcela \*Significativo em nível de 5% de probabilidade (p<0,05); <sup>ns</sup>: Não significativo (p>=0,05).

A EUE foi maior para as plantas cultivadas nos fotoperíodos de 12/12 e sob luz branca (Tabela 13). Isso indica que a EUE reduziu com o aumento de horas de luz e nas luzes R:B.

Tabela 13- Efeito isolado para avaliações de eficiência de uso da energia para microverdes de coentro produzidas em diferentes fotoperíodos e qualidades da luz. Eficiência de uso da energia (EUE); custo total de energia para a produção de microverdes de coentro em 1 m<sup>2</sup> (CTE) e custo de energia para cada quilo de microverdes de coentro produzido em 1 m<sup>2</sup> (CEP). Fortaleza, CE, UFC, 2023

Variável analisada	Fotoperíodos				DMS <sup>1</sup>
	12/12	16/08	08/04-08/04		
EUE (kg kW h <sup>-1</sup> )	0,73 <sup>0,09</sup> a	0,58 <sup>0,11</sup> b	0,60 <sup>0,11</sup> b		0,03
CTE (R\$ m <sup>-2</sup> )	4,17 <sup>0,54</sup> b	6,75 <sup>0,70</sup> a	6,58 <sup>0,70</sup> a		0,42
CEP (R\$ kg <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	0,94 <sup>0,09</sup> b	1,26 <sup>0,14</sup> a	1,22 <sup>0,13</sup> a		0,07
Variável analisada	Qualidade da luz				DMS
	Branca	<sup>2</sup> R3: <sup>3</sup> B1	R4:B1	R5:B1	
EUE (kg kW h <sup>-1</sup> )	1,15 <sup>0,08</sup> a	0,51 <sup>0,09</sup> b	0,43 <sup>0,02</sup> b	0,45 <sup>0,02</sup> b	0,28
CTE (R\$ m <sup>-2</sup> )	2,84 <sup>0,42</sup> b	6,82 <sup>0,61</sup> a	7,42 <sup>0,34</sup> a	7,42 <sup>0,34</sup> a	1,61
CEP (R\$ kg <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	0,55 <sup>0,07</sup> b	1,35 <sup>0,14</sup> a	1,38 <sup>0,07</sup> a	1,31 <sup>0,06</sup> a	0,32

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>R: Red (luz vermelha); <sup>2</sup>B: Blue (luz azul); <sup>3</sup>DMS: diferença mínima significativa. Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

A EUE é uma proporção da produção e do consumo de energia, então é possível que o segundo tenha um efeito maior para este cálculo (KONG; SCHIESTEL; ZHENG, 2019). As

plantas cultivadas no fotoperíodo 12/12 e sob luz branca tiveram EUE mais alto, indicando que mais biomassa foi produzida com a menor quantidade de energia de entrada (LANOUE *et al.*, 2022). Embora o rendimento produzido nessas condições não tenha sido o maior, a entrada de energia necessária para sua produção foi menor, resultando no maior EUE.

O custo total de energia e o custo efetivo para a produção de microverdes de coentro em 1 m<sup>2</sup>, no período de 10 dias de luz foram menores sob fotoperíodo de 12 horas de luz, e maiores nos outros fotoperíodos que não diferiram, uma vez que a quantidade de horas de luz por dia foi igual em ambos, 16 h (Tabela 10). A luz branca proporcionou os menores custos, total e efetivo, para a produção de microverdes. Isso está associado a seu menor consumo de energia devido a sua menor potência (FRENZEL JÚNIOR, 2015).

#### **6.4. Conclusão**

A produção de microverdes de coentro foi superior em fotoperíodo 16/08 e 08/04 (2x) e na iluminação com LEDs vermelho e azul. Sob o fotoperíodo 12/12 e sob luz branca se produz microverdes de coentro com maior rendimento por quantidade de energia de entrada, sendo uma forma de reduzir custos na sua produção.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Resolução homologatória N° 3.026, de 19 de abril de 2022**. 2022. Disponível em: [https://www.enel.com.br/pt-ceara/Tarifas\\_Enel.html](https://www.enel.com.br/pt-ceara/Tarifas_Enel.html). Acesso em 20 de fevereiro de 2023.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Sobre as bandeiras tarifárias**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/bandeiras-tarifarias>. Acesso em 20 de fevereiro de 2023.

BRICE, C. Supplementing White Light with Narrow-Band Light Wavelengths Impacts Cilantro Yield. Master's Thesis, **University of Tennessee**, [Tennessee] 2020.

ELKINS, C.; VAN IERSEL, M. W. Longer Photoperiods with the Same Daily Light Integral Increase Daily Electron Transport through Photosystem II in Lettuce. **Plants**, [Basel] 10;9 (9): 1172, 1-14, 2020.

FAN, X.; XU, Z.; LIU, X.; TANG, C.; WANG, L.; HAN, X. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. **Scientia Horticulturae**, [Amsterdam] 153. 50-55, 2013.

FILATOV, D. A.; VETCHINNIKOV, A. A.; OLONINA, S. I.; OLONIN, I. YU. Intermittent LED lighting helps reduce energy costs when growing microverdes on vertical controlled environment farms. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [Bristol] 979, 1-5, 2022.

FRENZEL JR., L. E. **Eletrônica Moderna: Fundamentos, Dispositivos, Circuitos e Sistemas**. Editora: McGraw Hill Brasil. 840p, 2015.

GALIENI, A.; STAGNARI, F.; SPECA, S.; PISANTE, M. Leaf traits as indicators of limiting growing conditions for lettuce (*Lactuca sativa*). **Ann. Appl. Biol.**, [London] 169, 342-356, 2016.

GAO, Q.; LIAO, Q.; LI, Q.; YANG, Q.; WANG, F.; LI, J. Effects of LED Red and Blue Light Component on Growth and Photosynthetic Characteristics of Coriander in Plant Factory. **Horticulturae**, [Basel] 8, 1165, 1-17, 2022.

HAGA, K.; SAKAI, T. Photosensory adaptation mechanisms in hypocotyl phototropism: how plants recognize the direction of a light source. **Journal of Experimental Botany**, [Oxford] 2023.

HANG, T.; LU, N.; TAKAGAKI, M.; MAO, H. Leaf area model based on thermal effectiveness and photosynthetically active radiation in lettuce grown in mini-plant factories under different light cycles. **Sci. Hort.**, [Amsterdam] 252, 113-120, 2019.

HAYASHI, E.; AMAGAI, Y.; KOZAI, T.; MARUO, T.; TSUKAGOSHI, S.; NAKANO, A.; JOHKAN, M. Variations in the Growth of Cotyledons and Initial True Leaves as Affected by Photosynthetic Photon Flux Density at Individual Seedlings and Nutrients. **Agronomy**, [Basel] 12, 194, 1-16, 2022.

HERNANDEZ, V.M. Enabling Year-round Cultivation in the Nordics-Agrivoltaics and Adaptive LED Lighting Control of Daily Light Integral. **Agriculture**, [Basel] 11, 1255, 2021.

JONES-BAUMGARDT, C.; LLEWELLYN, D.; YING, Q.; ZHENG, Y. Intensity of sole-source light emitting diodes affects growth, yield, and quality of Brassicaceae microverdes. **HortScience**, [Alexandria] 1168- 1174, 2019.

JONES-BAUMGARDT, C.; LLEWELLYN, D.; ZHENG, Y. Different Microgreen Genotypes Have Unique Growth and Yield Responses to Intensity of Supplemental PAR from Light-emitting Diodes during Winter Greenhouse Production in Southern Ontario, Canada. **HortScience**, [Alexandria] 1-8, 2020.

KIMURA, H.; HASHIMOTO-SUGIMOTO, M.; IBA, K.; TERASHIMA, I.; YAMORI, W. Improved stomatal opening enhances photosynthetic rate and biomass production in fluctuating light. **J. Exp. Bot.**, [Oxford] 71, 2339-2350, 2020.

KOHNEN, M. V.; SCHMID-SIEGERT, E.; TREVISAN, M.; PETROLATI, L. A.; SÉNÉCHAL, F.; MÜLLER-MOULÉ, P.; MALOOF, J.; XENARIOS, I.; FANKHAUSER, C. Neighbor detection induces organ-specific transcriptomes, revealing patterns underlying hypocotyl-specific growth. **Plant Cell**, [Rockville] 28, 2889-2904 2016.

KONDRATEVA, N.; FILATOV, D.; BOLSHIN, R.; KRASNOLUTSKAYA, M.; SHISHOV, A.; OVCHUKOVA, S.; MIKHEEV, G. Determination of the effective operating hours of the intermittent lighting system for growing vegetables. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.**, [Bristol] 935, 012004, 2021.

KONG, Y.; SCHIESTEL, K.; ZHENG, Y. Pure blue light effects on growth and morphology are slightly changed by adding low-level UVA or far-red light: A comparison with red light in four microgreen species. **Environmental and Experimental Botany**, [Amsterdam] 157, 58-68, 2019.

KYRIACOU, M.C.; EL-NAKHEL, C.; PANNICO, A.; GRAZIANI, G.; SOTERIOU, G.A.; GIORDANO, M.; PALLADINO, M.; RITIENI, A.; DE PASCALE, S.; ROUPHAEL, Y. Phenolic Constitution, Phytochemical and Macronutrient Content in Three Species of Microverdes as Modulated by Natural Fiber and Synthetic Substrates. **Antioxidants**, [Basel] 9, 252, 1-23, 2020.

LANOUE J, LOUIS, S.; LITTLE, C.; HAO, X. Continuous lighting can improve yield and reduce energy costs while increasing or maintaining nutritional contents of microgreens. **Front Plant Sci.**, [Lausanne] 1-17, 2022.

LI, Y.; XIN, G.; LIU, C.; SHI, Q.; YANG, F.; WEI, M. Effects of red and blue light on leaf anatomy, CO<sub>2</sub> assimilation and the photosynthetic electron transport capacity of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings. **BMC Plant Biol.**, [London] 6;20 (1): 318, 1-16, 2020.

LIN, HH., LIN, KH., YANG, MJ. Physiological responses and antioxidant properties of coriander plants (*Coriandrum sativum* L.) under different light intensities of red and blue lights. **Sci Rep.**, [London] 12 , 21139, 2022.

LIU, Z.; SHI, J.; WAN, J.; PHAM, Q.; ZHANG, Z.; SUN, J.; YU, L.; LUO, Y.; WANG, T.T.; CHEN, P. Profiling of Polyphenols and Glucosinolates in Kale and Broccoli Microverdes Grown under Chamber and Windowsill Conditions by Ultrahigh-Performance

Liquid Chromatography High-Resolution Mass Spectrometry. **ACS Food Sci. Technol.**, [Washington] 2, 101-113, 2021.

MORARU, P. I.; RUSU, T.; MINTAS, O. S. Trial Protocol for Evaluating Platforms for Growing Microgreens in Hydroponic Conditions. **Foods**, [Basel] 11: 9, 1-16, 2022.

OLIVEIRA, F. J. B.; FERSON, S.; DYER, R. A. Collaborative decision support system framework for vertical farming business developments. **International Journal of Decision Support System Technology (IJDSST)**, [s. l.] 13 (1), 34-66, 2021.

ORLANDO, M.; TRIVELLINI, A.; INCROCCI, L.; FERRANTE, A.; MENSUALI, A. A inclusão de luz verde em um fundo de luz vermelha e azul afeta o crescimento e a qualidade funcional de espécies de microverdes vegetais e flores. **Horticulturae**, [Basel] 8, 217, 1-20, 2022.

PANNICO, A.; EL-NAKHEL, C.; GRAZIANI, G.; KYRIACOU, M.C.; GIORDANO, M.; SOTERIOU, G.A.; ZARRELLI, A.; RITIENI, A.; DE PASCALE, S.; ROUPHAEL, Y. Selenium biofortification impacts the nutritive value, polyphenolic content, and bioactive constitution of variable microverdes genotypes. **Antioxidants**, [Basel] 9, 272, 1-21, 2020.

PENNISI, G.; BLASIOLI, S.; CELLINI, A.; MAIA, L.; CREPALDI, A.; BRASCHI, I.; SPINELLI, F.; FERNANDEZ, J. A.; STANGHELLINI, C.; MARCELIS, L. F. M.; ORSINI, F.; GIANQUINTO, G. Unraveling the Role of Red: Blue LED Lights on Resource Use Efficiency and Nutritional Properties of Indoor Grown Sweet Basil. **Front. Plant Sci.**, [Lausanne] 1-14, 2019.

PROIETTI, S.; MOSCATELLO, S.; RICCIO, F.; DOWNEY, P.; BATTISTELLI, A. Continuous lighting promotes plant growth, light conversion efficiency, and nutritional quality of *Eruca vesicaria* (L.) Cav. in controlled environment with minor effects due to light quality. **Frontiers in Plant Science**, [Lausanne] 12, 1-13, 2020.

RASHIDI, A.; TEHRANIFAR, A.; SAMIEI, L. Modifying spectral distributions during the seedling stage influences the flowering and branching of *Petunia × hybrida*. **Scientia Horticulturae**, [Amsterdam] 309, 2023.

RENGASAMY, N.; OTHMAN, R.Y.; CHE, H.S.; HARIKRISHNA, J.A. Artificial Lighting Photoperiod Manipulation Approach to Improve Productivity and Energy Use Efficacies of Plant Factory Cultivated *Stevia rebaudiana*. **Agronomy**, [Basel] 12, 1787, 2022.

SASSI, M.; LU, Y.; ZHANG, Y.; WANG, J.; DHONUKSHE, P.; BLILOU I., DAI, M.; LI, J.; GONG, X.; JAILLAIS, Y.; YU, X.; TRAAS, J.; RUBERTI, I.; WANG, H.; SCHERES, B.; VERNOUX, T.; XU, J. COP1 mediates the coordination of root and shoot growth by light through modulation of PIN1- and PIN2-dependent auxin transport in *Arabidopsis*. **Development**, [Cambridge] 139 (18), 3402-3412, 2012.

SEMENOVA, N.A.; SMIRNOV, A.A.; DOROKHOV, A.S.; PROSHKIN, Y.A.; IVANITSKIKH, A.S.; CHILINGARYAN, N.O.; DOROKHOV, A.A.; YANYKIN, D.V.; GUDKOV, S.V.; IZMAILOV, A.Y. Evaluation of the Effectiveness of Different LED Irradiators When Growing Red Mustard (*Brassica juncea* L.) in Indoor Farming. **Energies**, [Basel] 15, 8076, 2022.

SHAFIQ, I.; HUSSAIN, S.; RAZA, M.A.; IQBAL, N.; ASGHAR, M.A.; RAZA, A.; FAN, Y.-F.; MUMTAZ, M.; SHOAB, M.; ANSAR, M.; MANAF, A.; YANG, W.; YANG, F. Crop photosynthetic response to light quality and light intensity. **J. Integr. Agric.**, [Pequim] 20, 4-23, 2021.

SHARATHKUMAR, M.; HEUVELINK, E.; MARCELIS, L. F. M. Vertical Farming: Moving from Genetic to Environmental Modification. **Trends Plant Sci.**, [Cambridge] 25 (8):724-727, 2020.

SONG, B.; XU, H.; CHEN, L.; FAN, X.; JING, Z.; CHEN, S.; XU, Z. Study of the Relationship between Leaf Color Formation and Anthocyanin Metabolism among Different Purple Pakchoi Lines. **Molecules**, [Basel] 19; 25 (20):4809, 1-13, 2020.

TREADWELL, D.D.; HOCHMUTH, R.; LANDRUM, L.; LAUGHLIN, W. Microgreens: A new specialty crop. **IFAS Ext.**, [Gainesville] HS1164, 2020.

WARNER, R.; WU, B. S.; MACPHERSON, S.; LEFSRUD, M. How the Distribution of Photon Delivery Impacts Crops in Indoor Plant Environments: A Review. **Sustainability**, [Basel] 15, 4645, 1-14, 2023.

WIT, M.; GEORGE, G. M.; INCE, Y. Ç.; DANKWA-EGLI, B.; HERSCH, M.; ZEEMAN, S. C.; FANKHAUSER, C. Changes in resource partitioning between and within organs support growth adjustment to neighbor proximity in Brassicaceae seedlings. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [Washington] 115, 9953-9961, 2018.

XIAO, Z.; LESTER, G. E.; LUO, Y.; WANG, Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microverdes. **J Agric Food Chem.**, [Washington] 7644-7651, 2012.

## 7 CAPÍTULO 6 – A QUALIDADE DA LUZ NO RENDIMENTO, CONCENTRAÇÃO MINERAL E ACEITAÇÃO PELO CONSUMIDOR DE MICROVERDES DE COENTRO

**Resumo** - A luz influencia a produção, biossíntese de pigmentos fotossintéticos, qualidade nutricional e atributos sensoriais das microverdes. O objetivo desta pesquisa foi avaliar as características biométricas, o rendimento, pigmentos fotossintéticos, concentração mineral, fator de translocação, atributos sensoriais e aceitação pelo consumidor de microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz. O experimento foi realizado em ambiente controlado. O fator avaliado, qualidade da luz, consistiu de luz branca como controle e outras três proporções de luz vermelha (R) e azul (B), ao longo da fita LED, sendo 3R:1B; 4R:1B e 5R:1B. Foram avaliadas as seguintes características: biométricas [comprimento do hipocótilo (CH-cm) e dos cotilédones (CC-cm); largura dos cotilédones (LC-cm); área foliar (AF-cm<sup>2</sup>); área foliar específica (AFE-cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>); peso fresco e seco da parte aérea (PFA-g); porcentagem de peso seco da parte aérea (PPSA%)], rendimento (RD-kg m<sup>-2</sup>); pigmentos fotossintéticos (clorofilas a e b; clorofila total (a+b) e carotenoides); quantificação de nutrientes minerais na parte aérea das plantas [nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), ferro (Fe), manganês (Mg), zinco (Zn) e cobre (Cu)]; fator de translocação de cada mineral [determinado a partir da relação de suas concentrações na parte aérea e nas raízes (g kg<sup>-1</sup>)]; análise sensorial (realizada com participantes que fizeram a degustação das microverdes e responderam à um formulário contendo os descritores sensoriais e de aceitabilidade: aparência, textura, aroma e sabor). O CH e AFE foram maiores em luz branca. A LC, AF, PFA, PSA, PPSA e RD foram maiores em iluminação R:B. A maior concentração de clorofila *a* e carotenoides foi obtida em R3:B1, e clorofilas totais em todas as proporções R:B. A maior concentração e fator de translocação de N e K, foi obtida em microverdes cultivadas em iluminação R:B. A maior concentração de Mg e Cu e fator de translocação foram em microverdes sob luz branca. As concentrações de P, Fe, Mn e Zn não diferiram entre os tratamentos. A maior concentração de nutrientes minerais estão nas microverdes cultivadas em iluminação R:B, com maiores porcentagens de matéria seca. Na análise sensorial, as amostras foram classificadas entre “gostei” e “gostei muito”, indicando boa aceitabilidade pelos consumidores.

**Palavras-chave:** Análise sensorial. *Coriandrum sativum*. Diodos emissores de luz. Pigmentos fotossintéticos.

## 7 CHAPTER 6 - LIGHT QUALITY ON YIELD, MINERAL CONCENTRATION AND CONSUMER ACCEPTANCE OF CILANTRO MICROGREENS

**Abstract** - Light influences the yield, biosynthesis of photosynthetic pigments, nutritional quality and sensory attributes of microgreens. The objective of this research was to evaluate the biometric characteristics, yield, photosynthetic pigments, mineral concentration, translocation factor, sensory attributes and consumer acceptance of cilantro microgreens produced in different light qualities. The experiment was carried out in a controlled environment. The evaluated factor, light quality, consisted of white light as control and other three proportions of red (R) and blue (B) light along the LED strip, being 3R:1B; 4R:1B and 5R:1B. The following characteristics were evaluated: biometric [length of hypocotyl (CH-cm) and cotyledons (CC-cm); width of cotyledons (LC-cm); leaf area (AF-cm<sup>2</sup>); specific leaf area (AFE-cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>); fresh and dry weight of the aerial part (PFA-g); percentage of dry weight of the aerial part (PPSA%)], yield (RD-kg m<sup>-2</sup>); photosynthetic pigments (chlorophylls a and b; total chlorophyll (a+b) and carotenoids); quantification of mineral nutrients in the aerial part of the plants [nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na), iron (Fe), manganese (Mg), zinc (Zn) and copper (Cu)]; translocation factor of each mineral [determined from the ratio of their concentrations in the aboveground part and in the roots (g kg<sup>-1</sup>)]; Sensory analysis (performed with participants who tasted the microgreens and answered a form containing sensory descriptors and acceptability appearance, texture, aroma and flavor). CH and AFE were greater in white light. LC, AF, PFA, PSA, PPSA and RD were higher in R:B illumination. The highest concentration of chlorophyll a and carotenoids was obtained in R3:B1, and total chlorophylls in all R:B ratios. The highest concentration and translocation factor of N and K, was obtained in microgreens grown in R:B illumination. The highest concentration of Mg and Cu and translocation factor were in microgreens under white light. The concentrations of P, Fe, Mn and Zn did not differ among treatments. The highest concentration of mineral nutrients are in the microgreens grown under R:B lighting, with higher dry matter percentages. In the sensory analysis, the samples were classified between "I liked it" and "I liked it a lot", indicating good acceptability by the consumers.

**Keywords:** Sensory analysis. *Coriandrum sativum*. Light emitting diodes. Photosynthetic pigments.

## 7.1 Introdução

A atenção para as microverdes está aumentando devido ao aumento da conscientização sobre a necessidade da alimentação saudável (KOWITCHAROEN *et al.*, 2021). Inicialmente, as microverdes eram usadas para a decoração de pratos culinários (SHIBAEVA *et al.*, 2022), mas, atualmente, são utilizadas também para melhorar o valor nutricional das refeições (GIORDANO *et al.*, 2022). Microverdes podem ser usadas em pratos doces e salgados, podem complementar o sabor, a textura e a cor de saladas, sopas, pães, pizzas e sanduíches, e suplementar smoothies, sucos e bebidas saudáveis, resultando em produtos de valor agregado (GUPTA *et al.*, 2023; LEKSHMI; BINDU, 2023).

A luz induz a biossíntese de pigmentos fotossintéticos e fitoquímicos e melhora a qualidade nutricional das plantas (LIN *et al.*, 2022). A luz vermelha promove maiores rendimentos e fotossíntese. A luz azul é eficaz para estimular a fotomorfogênese, regulação de abertura/fechamento de estômatos, bem como biossíntese de clorofilas e concentração mineral (LOCONSOLE *et al.*, 2019).

O cultivo de microverdes, além da importância alimentar e nutricional, representa uma das fontes de menor custo na obtenção de superalimentos (mais nutritivos), com desperdício mínimo (apenas raiz) durante o consumo (HOANG; VŨ, 2020). A seleção de espécies/genótipos potenciais para cultivo como microverdes é importante para explorar características como maiores rendimentos, composição nutricional, atributos sensoriais e aceitação pelo consumidor (NIROULA *et al.*, 2019). Uma espécie cultivada como microverde é a *Coriandrum sativum* (coentro), já citada como fonte rica em nutrientes, podendo ser usada em aditivos alimentares diários (DHAKSHAYANI; ALIAS, 2022).

A análise sensorial examina as propriedades (cor, aparência, aroma, textura e sabor) de um produto ou alimento por meio dos sentidos (visão, olfato, paladar, tato e audição) dos provadores, este tipo de análise é utilizada há séculos com a finalidade de aceitar ou rejeitar produtos alimentícios (RUIZ-CAPILLAS *et al.*, 2021). Assim, a análise sensorial de microverdes representa uma importantes metodologia de observação para garantir ou não sua aceitação pelos consumidores (BYARUGABA *et al.*, 2020).

O objetivo desta pesquisa foi avaliar as características biométricas, o rendimento, pigmentos fotossintéticos, concentração mineral, fator de translocação, atributos sensoriais e aceitação pelo consumidor de microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz.

## 7.2 Material e métodos

### 7.2.1 Condições de crescimento e delineamento experimental

O experimento foi realizado na sala de crescimento de plantas do laboratório de Olericultura do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará-UFC, Campus Professor Prisco Bezerra, em Fortaleza-CE. Durante todo o experimento o ambiente foi mantido controlado. A temperatura ficou ajustada em  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  e a umidade relativa entre 60-70%.

O experimento foi realizado em blocos casualizados (estantes), cada estante representou um bloco, sendo as microverdes de coentro cultivadas em 4 blocos/estantes. O fator avaliado foi a qualidade de luz, sendo luz branca como controle (fita LED branca, modelo 2835 com 60 LEDs  $\text{m}^{-1}$ ) e três proporções de luz vermelha (600-780 nm) e azul (400–500 nm), representadas respectivamente pelas letras “R” e “B” ao longo da fita LED (modelo 5050 com 60 LEDs  $\text{m}^{-1}$ ), 3R:1B; 4R:1B e 5R:1B.

As plantas foram cultivadas em estantes de metal, cujos compartimentos foram isolados com placas de isopor, com 1,5 cm de espessura, para evitar a interferência da luz nas parcelas vizinhas. Cada compartimento de cultivo teve dimensão de 30 x 40 x 50 cm (altura, largura e comprimento, respectivamente). Em cada compartimento ficaram dispostos e casualizados os painéis luminosos com três fitas de LED, espaçadas em 10 cm, nas diferentes proporções R:B. Os painéis luminosos, conforme cada tratamento, foram instalados na porção superior de cada compartimento, a uma distância de 30 cm da superfície do substrato das bandejas de cultivo.

O fotoperíodo aplicado foi automatizado por meio de um temporizador analógico (Golden cabo®), com exposição de 08 horas de luz/04 horas de escuro (2 x) e a exposição das plantas à luz iniciou aos 4 dias após a semeadura (DAS). A densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) foi medida na altura do dossel, para todos os tratamentos, com um medidor de Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) modelo “SPECTRUM SPEC-3415A”, cujas medições foram quantificadas como a média de PPFD ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) na área total de cada bandeja.

Foram utilizadas bandejas de polipropileno com dimensões de 18 x 10 x 4,5 cm (comprimento, largura, altura). O substrato utilizado foi uma mistura de pó de côco, previamente lavado, misturado com vermiculita na proporção de 5:1 (v/v). O volume de substrato utilizado foi de 180  $\text{cm}^3$ , cerca de 60 g (peso seco). O pH e a condutividade elétrica do substrato foram medidos em uma solução preparada a partir da mistura de substrato:água destilada na proporção 1:2,5, respectivamente (KYRIACOU *et al.*, 2020). Um medidor de condutividade elétrica de bancada (Marconi mCa -150®) e um medidor de pH (Mettler

Toledo®) foram utilizados para essas medições. Os valores de pH e a condutividade elétrica do substrato foram 6,1 e 0,04 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente.

A semeadura, em cada bandeja, foi feita com 17 g, em média 2.000 sementes/frutos, da cultivar ‘Verdão’ (TopSeed®), que possui uma taxa de germinação de 80% e 99% de pureza (Informação do fabricante). Após o preenchimento das bandejas com o substrato, as sementes foram acomodadas homogeneamente em toda a superfície, sendo adicionada uma cobertura com cerca de 32 g (substrato-semente-substrato - SSS), com espessura de, aproximadamente, 1 cm de altura acima das sementes.

Cada conjunto SSS, foi irrigado por subirrigação com água destilada até que ficasse completamente umedecido, permanecendo nesta condição até o quarto DAS. A partir do quinto DAS, quando iniciou a emergência das plântulas, a irrigação passou a ser realizada com solução modificada de Hoagland e Arnon (1950), com um quarto de força e condutividade elétrica de 0,7 dS m<sup>-1</sup>, apresentando a seguinte concentração de macro (em mmol L<sup>-1</sup>): 15,0 N; 1,0 P; 6,0 K; 5,0 Ca; 2,0 Mg; 2,0 S; e micronutrientes (em μmol L<sup>-1</sup>): 90,0 Fe; 46,3 B; 18,30 Cl; 9,10 Mn; 0,8 Zn; 0,3 Cu e 0,1 Mo.

### **7.2.2 Avaliações biométricas e rendimento**

Aos 14 DAS foram coletados 10 microverdes de coentro, de cada tratamento e repetição, para as avaliações biométricas e de rendimento (JONES-BAUMGARDT *et al.*, 2019). A colheita foi feita com tesoura esterilizada com álcool 70%, cortando-se a cerca de 0,5 cm acima da região do colo da planta (XIAO *et al.*, 2012). As plantas foram retiradas cuidadosamente com porção de substrato, lavadas em água e secas em papel toalha.

As características avaliadas foram: comprimento do hipocótilo; comprimento dos cotilédones (cm); largura dos cotilédones (cm); área foliar (cm<sup>2</sup>); área foliar específica (cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>); peso fresco e seco da parte aérea (g); porcentagem de peso seco da parte aérea (%) e rendimento (kg m<sup>-2</sup>). A área foliar e os pesos fresco e seco foram avaliados para 10 plantas, já que seus valores individuais foram muito baixos.

O comprimento do hipocótilo foi medido do colo da planta ao ponto de inserção dos cotilédones. O comprimento dos cotilédones foi medido desde o ponto de inserção do pecíolo, no hipocótilo, até seu ápice e a largura dos cotilédones foi medida em sua região média, com auxílio de paquímetro digital (Digimess®).

A área foliar foi medida por método direto com um integrador de área foliar LI-COR®, modelo LI 3100 e a área foliar específica obtida pela relação da área foliar com o peso seco de parte aérea (FAN *et al.*, 2013).

O peso fresco foi medido com pesagem em balança analítica e o material vegetal fresco colocado em sacos de papel e levados para estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 65 °C por 48 horas. Após, determinou-se o peso seco com pesagem em balança analítica. A porcentagem de peso seco da parte aérea (PPSA) foi determinada de acordo com a seguinte equação (MARCHIONI *et al.*, 2021):

$$\text{PPSA (\%)} = \left[ \frac{(\text{PFA} - \text{PSA}) / \text{PFA}}{\text{PFA}} \right] \times 100$$

onde:

PFA - Peso fresco da parte aérea (g);

PSA - Peso seco da parte aérea (g)

O rendimento (produção por área) foi calculado pesando-se a parte aérea (hipocótilos e cotilédones) de todas as plantas por bandeja (144 cm<sup>2</sup>), de cada tratamento e repetição. Seus resultados foram expressos em 1m<sup>2</sup> (MORARU; ROSU e MINTAS, 2022).

### **7.2.3 Avaliações de pigmentos fotossintéticos**

Os pigmentos fotossintéticos avaliados foram as clorofilas *a* e *b*, clorofilas totais (*a+b*) e carotenóides. Os extratos foram preparados incubando sete cotilédones totalmente expandidos das microverdes, em dimetil sulfoxido (DMSO) saturado com carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>). Após 24 horas no escuro, as amostras foram incubadas a 65 °C por 45 min e então submetidas a leituras de absorvância a 665, 649 e 480 nm. As concentrações de pigmentos foram determinados usando as equações: Clorofila *a* = 12,47 (A665) – 3,62 (A649); Clorofila *b* = 25,06 (A649) – 6,50 (A665); Clorofilas totais = 7,15 (A665) – 18,71 (A649); Carotenóides = [1000 (A480) – 1,29 (clorofila *a*) – 53,78 (clorofila *b*)]/220 (WELLBURN, 1984). As concentrações de clorofila e carotenóides foram expressas em miligrama de pigmento por grama de matéria fresca de tecido foliar (mg g<sup>-1</sup>).

### **7.2. 4 Análise de nutrientes minerais e fatores de bioconcentração e translocação**

Para a determinação dos nutrientes minerais, foram colhidas 150 gramas de parte aérea e 50 gramas de raiz, de material fresco, para cada tratamento e repetição. O material vegetal fresco foi colocado em saco de papel e levado para estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 65 °C por 48 horas. Após este período, as amostras estavam secas e foram maceradas em almofariz, com auxílio de um pistilo até que adquirissem a textura de pó fino, que foram armazenadas em sacos de plástico identificados, com fechamento hermético. Foram

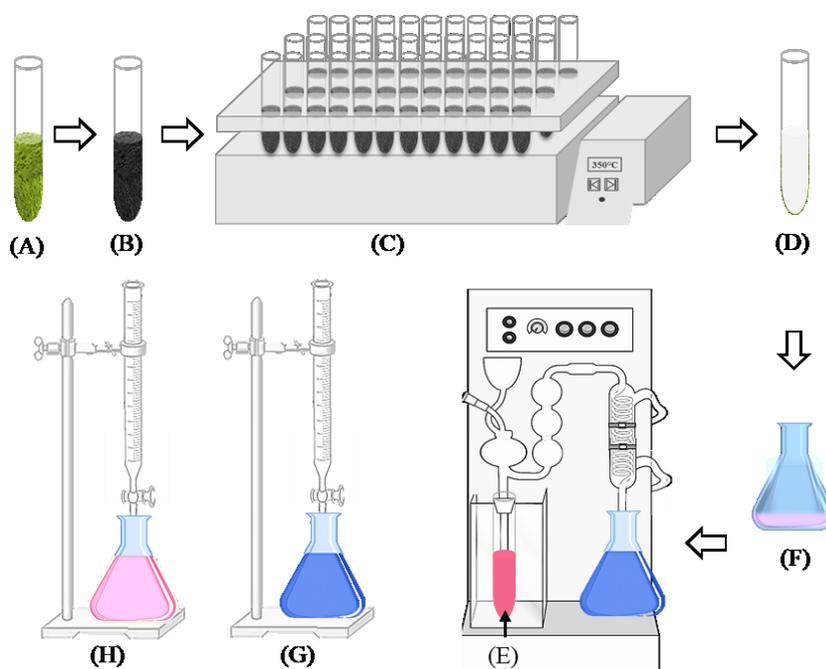
quantificados os nutrientes minerais: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), ferro (Fe), manganês (Mg), zinco (Zn) e cobre (Cu).

#### 7.2.4.1 Determinação de Nitrogênio

Para a determinação das concentrações totais de nitrogênio, as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica, seguida de destilação e titulação, de acordo com a metodologia adaptada de Carmo *et al.* (2000).

Primeiramente, foram pesadas 0,1 grama de material vegetal seco e moído (Figura 9A) da parte aérea e da raiz de cada tratamento e repetição e transferido para tubos de ensaio. Os tubos de ensaio foram levados para capela de exaustão onde foram adicionados 2 ml de solução catalizadora de nitrogênio (Figura 9B) (180 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dissolvido em aproximadamente 1 litro de água destilada + 18 g de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  + 600 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, completando o volume para balão volumétrico de 2 L) em cada tubo para a solubilização sulfúrica.

Figura 9 - Procedimentos metodológicos para a quantificação de Nitrogênio em microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz. Material vegetal seco, moído e pesado, em tubo de ensaio (A); amostra após a solução catalizadora de nitrogênio (B); tubos de ensaio em bloco digestor (C); tubo de ensaio com o extrato digerido (D); tubo de ensaio com o extrato digerido no destilador (E); solução de ácido bórico a  $20\text{ g L}^{-1}$  em Erlenmeyer de 50mL (F); Erlenmeyer de 50 mL, contendo 10 mL de solução de ácido bórico a  $20\text{ g L}^{-1}$  na extremidade de refrigeração do destilador (F); titulação com solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,014\text{ mol L}^{-1}$ (G); mudança da cor para rosa, indicando que a amostra está titulada (H). Fortaleza, CE, UFC, 2023



Fonte: elaborada pela autora (2023).

A solubilização sulfúrica é uma técnica que baseia-se na oxidação da matéria orgânica, transformando o nitrogênio orgânico em mineral (sulfato de amônio), através da ação do  $\text{H}_2\text{SO}_4$

e catalisadores a quente. Para isso, os tubos de ensaio foram transferidos para um bloco digestor à 350 graus (Figura 9C), por um período de seis horas, até a completa digestão da matéria orgânica, caracterizada por um líquido incolor (Figura 9D).

A determinação da concentração de nitrogênio foi realizada a partir do líquido incolor resultante, seguida por destilação a vapor e titulação para a quantificação do  $\text{NH}_4$ . Primeiramente foi acoplado o tubo de ensaio com o extrato digerido no destilador (Figura 9E) semimicro Kjeldahl (Tecnal TE0364®), no qual foi conectado um Erlenmeyer de 50 mL, contendo 10 mL de solução de ácido bórico a  $20 \text{ g L}^{-1}$  com a mistura de indicadores (Figura 9F) (20 g de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  + 800 mL de água destilada, agitando até dissolver + 15 mL de verde de bromocresol a  $0,1 \text{ g L}^{-1}$  + 6 mL de vermelho de metila a  $0,1 \text{ g L}^{-1}$  + 2 mL de hidróxido de sódio a  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , após dissolução completar para 1 L com água destilada), na extremidade de refrigeração do destilador. Ao extrato digerido foi adicionado gradativamente 10 mL de NaOH  $13 \text{ mol L}^{-1}$ , seguindo a destilação até que atingisse um volume de 30 mL no Erlenmeyer, que apresentava a coloração azul.

Após a destilação, o Erlenmeyer com a amostra foi retirado do destilador e iniciada a titulação com solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,014 \text{ mol L}^{-1}$  (Figura 9G), até a mudança da cor para rosa (Figura 9H). O cálculo para a determinação de nitrogênio é demonstrado abaixo:

$$\text{N-NH}_4 \text{ g.k}^{-1} = (\text{Vol}_{4A} - \text{Vol}_{4B}) \times 1,4$$

Onde:

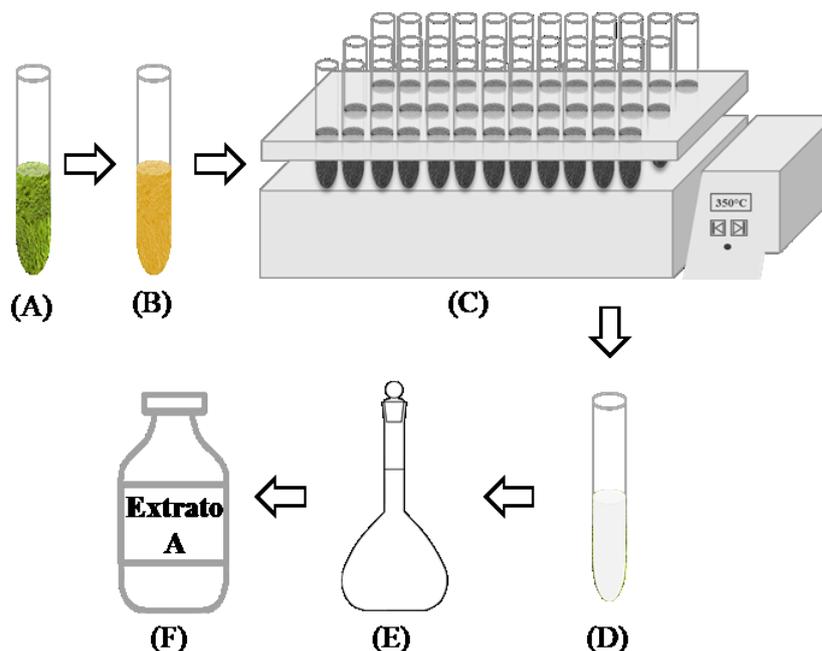
$\text{Vol}_A$  = volume de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  gasto na amostra (ml);

$\text{Vol}_B$  = volume de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  gasto na prova em branco (ml).

#### **7.2.4.2 Determinação de P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn Zn e Cu**

Para a determinação da concentração de P fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), ferro (Fe), manganês (Mg), zinco (Zn) e cobre (Cu), as amostras foram submetidas à digestão com ácidos nítrico e perclórico, de acordo com a metodologia adaptada de Carmo *et al.* (2000). Primeiramente, foram pesadas 0,5 gramas de material vegetal seco e moído (Figura 101A) de parte aérea e de raiz de cada tratamento e repetição e transferido para tubos de ensaio. Os tubos de ensaio foram levados para capela de exaustão onde foram adicionados 6 ml de solução com ácidos nítrico (65%) e perclórico (70%) (Figura 10B) em cada tubo para a solubilização.

Figura 10 - Procedimentos metodológicos para quantificação de minerais em microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz. Material vegetal seco, moído e pesado, em tubo de ensaio (A); amostra após a solução catalizadora de nitrogênio (B); tubos de ensaio em bloco digestor (C); tubo de ensaio com o extrato digerido (D); balão volumétrico de 50 ml com líquido incolor (Figura 2E); extrato “A” (Figura 2F). Fortaleza, CE, UFC, 2023.



Fonte: elaborada pela autora (2023).

Os tubos de ensaio ficaram em repouso para digestão prévia por 24 horas, após foram transferidos para um bloco digestor à 150 graus (Figura 10C), por um período de cinco horas, até a completa digestão da matéria orgânica, caracterizada por um líquido incolor (Figura 10D). Após esfriar, o líquido incolor foi transferido para um balão volumétrico de 50 ml, com auxílio de um funil de vidro e completado o volume (Figura 10E). Em seguida, o volume foi filtrado com papel filtro (faixa preta) em frasco plástico que representou o extrato “A” (Figura 10F), que foi diluído posteriormente para a determinação dos minerais.

Para a determinação de K, Na e P, o extrato “A”, geralmente, é diluído 10 vezes, na proporção 1:9, usando uma parte de extrato para nove partes de água destilada, porém, devido as microverdes serem altamente concentradas em minerais, a diluição que proporcionou leitura para K e Na foi na proporção de 1:59, ou seja, diluído 60 vezes e para P foi na proporção de 1:89, ou seja, diluído 90 vezes.

A determinação de K e Na foi realizada por espectrometria de chama de emissão, em Fotômetro de chama (Digimed DM-62®) e a determinação de P foi realizada em Fotocolorímetro microprocessado com absorvância de 680 nm (Analyser 500M®). A partir das curvas analíticas foram geradas as respectivas equações e a leitura das amostras.

O nutrientes minerais cálcio, magnésio cobre, ferro, manganês e zinco foram determinados em Espectrômetro de Absorção Atômica (AA iCE 3000 Series Atomic Absorption Spectrometer®) (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Após a obtenção do conteúdo de cada nutriente mineral, o P foi contabilizado como mg kg<sup>-1</sup> (devidos os valores serem muito baixos) e os demais foram contabilizados como g kg<sup>-1</sup> de peso seco, sendo seus valores utilizados para calcular o fator de translocação das raízes e da parte aérea (BRAZAITYTĖ *et al.*, 2021). O fator de translocação (TF) foi calculado para avaliar a capacidade da planta em acumular os elementos minerais, absorvidos pelas raízes, na parte aérea:  $TF = \text{concentração de nutrientes minerais na parte aérea (g kg}^{-1}\text{)}/\text{concentração de elementos minerais nas raízes (g kg}^{-1}\text{)}$ .

### **7.2.5 Análise sensorial e aceitação do consumidor**

Após a colheita, as microverdes foram lavadas em água corrente, posteriormente foram sanitizadas mediante a imersão em solução de hipoclorito de sódio (NaOCl) de 1% (v/v) durante 15 (quinze minutos) à temperatura ambiente ( $\pm 25$  °C) e, em seguida, foram lavadas em água corrente. Após a sanitização, as plantas foram distribuídas cuidadosamente em papel toalha para remover o excesso de água da superfície.

Foram utilizadas cinco gramas de microverdes de cada tratamento para avaliação de todos os atributos de qualidade sensorial por pessoa. Essas microverdes foram acomodadas em copos descartáveis de 350 ml e, em seguida, tampados e identificados com números de três dígitos (XIAO *et al.*, 2012).

Foram 68 provadores, entre estudantes e servidores do Instituto de Cultura e Arte da Universidade Federal do Ceará. Eles foram encaminhados ao Laboratório de Análise Sensorial do Instituto de Cultura. Este estudo foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da UFC. Todos os provadores e participantes possuíam idade acima de 18 anos, foram voluntários, não treinados. Todos demonstraram seu consentimento de participação através da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), documento no qual é explicitado o consentimento e esclarecido do participante e/ou de seu responsável legal, de forma escrita, conforme as preconizações da Resolução n° 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde (BRASIL, 2013).

O protocolo da análise foi o seguinte (CARACCILO *et al.*, 2020; CHEN *et al.*, 2020):

1- Antes de iniciar o teste do consumidor, foi fornecida uma breve definição utilizável dos atributos sensoriais, bem como a explicação da escala de intensidade para garantir que todos os consumidores participassem com sucesso da avaliação. Os participantes foram informados que

o estudo exige uma avaliação cega e sensorial das amostras em termos de cheiro, aparência e sabor;

2- As amostras de 5 g foram servidas aos provadores dentro dos copos plásticos, codificados. Os copos foram entregues, para cada avaliador, juntamente com um copo de água mineral, para eliminação do sabor residual na boca. As análises ocorreram em mesas individuais, iluminadas com luz branca, à temperatura convencional de apresentação que é de 25 °C.

3- Os participantes fizeram a degustação de cada tratamento de microverdes, separadamente, seguindo uma ordem aleatória. Em seguida, para cada tratamento, foram solicitados a avaliar a intensidade dos atributos sensoriais e de aceitabilidade. Inicialmente foram atribuídas notas com escala hedônica estruturada de nove categorias, em que 1 significa a nota de valor mínimo (desgostei extremamente) e 9 a nota de valor máximo (gostei extremamente) (STONE; SIDEL, 2004). Essa escala indica o quanto os provadores gostaram ou desgostaram das microverdes em relação aos atributos sensoriais. Após, os provadores avaliaram a aceitabilidade e intenção de consumo das microverdes, em que foi utilizada uma escala de intenção de consumo estruturada em cinco pontos, em que 1 significa a nota de valor mínimo “nunca comeria” e 5 a nota de valor máximo “comeria sempre”.

Foi elaborado um formulário contendo os descritores sensoriais e de aceitabilidade, que foi disponibilizado em arquivo digital (via *google forms*, que pode ser acessado pelo link: <https://forms.gle/KXxMP87FAnGGUNeA>) e também impresso para ser preenchido pelos participantes. Os descritores foram organizados de modo que os julgadores avaliaram a aparência, textura, aroma e sabor, nessa ordem, para que as amostras não fossem consumidas antes que todos os atributos fossem avaliados. Entre as amostras, os participantes foram instruídos a fazer uma pausa de 60 segundos e beber água para “limpar” o paladar.

4- Para finalizar, informações sobre o conhecimento de microverdes e sociodemográficas (sexo, idade) dos participantes foram coletadas. Foi disponibilizado álcool em gel para higienização das mãos dos participantes.

### **7.2.5 Análise estatística**

A análise estatística para as avaliações biométricas, rendimentos, pigmentos fotossintéticos e minerais foram realizadas utilizando o sistema computacional estatístico SAS® (SAS INSTITUTE INC, 2012). O teste F foi aplicado para a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Os dados foram apresentados como média  $\pm$  erro padrão.

A análise estatística para os atributos sensoriais, foram realizadas por XLSTAT (2018) para Windows (Adinsoft, Paris, França). Devido ao grande número de variáveis atribuídas, foram agrupadas em fatores correlacionados, assim, foram agrupados: aparência; textura; cheiro e sabor, representando um número menor de variáveis. O teste F foi aplicado para a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Os dados foram apresentados como média  $\pm$  erro padrão.

Para os grupos de variáveis e os parâmetros de aceitabilidade, foi aplicada a metodologia check-all-that-apply (CATA), pela tradução do inglês “marque tudo que se aplique”, que é a técnica descritiva mais aplicada para o entendimento dos atributos percebidos e valorizados pelos consumidores (ALCANTARA; FREITAS-SÁ, 2018). O teste Cochran Q foi realizado para CATA para identificar diferenças significativas entre as amostras e as comparações múltiplas entre as médias utilizando o procedimento de McNemar (Bonferroni) (COSTA *et al.*, 2020).

## 7.3 Resultados e discussão

### 7.3.1 Avaliações biométricas e rendimento

Verificou-se significância ( $p < 0,05$ ) nos dados submetidos à análise de variância (ANOVA) para quase todas as variáveis analisadas em microverdes de coentro produzidas nas diferentes qualidades da luz, exceto para o comprimento do cotilédone (Tabela 14).

Tabela 14- Análise de variância para características biométricas e rendimento de microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz. Comprimento do hipocótilo (CH) e do cotilédone (CC), largura do cotilédone (LC), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), peso fresco (PFA) e seco da parte aérea (PSA), porcentagem de peso seco da parte aérea (PPSA) e rendimento (RD). Fortaleza, CE, UFC, 2023

Variável analisada	Pr > Fc- Fontes de variações		
	<sup>2</sup> (QL)	Bloco	<sup>3</sup> CV1%
CH (cm)	0,0597*	0,1645 <sup>ns</sup>	6,31
CC (cm)	0,1213 <sup>ns</sup>	0,1625 <sup>ns</sup>	10,16
LC (cm)	0,0001*	0,0002*	10,15
AF (cm <sup>2</sup> )	0,0055*	0,7974 <sup>ns</sup>	9,95
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	0,0004*	0,3034 <sup>ns</sup>	15,92
PFA (g)	0,0059*	0,7625 <sup>ns</sup>	7,56
PSA (g)	0,0001*	0,1935 <sup>ns</sup>	15,71
PPSA (%)	0,0009*	0,1882 <sup>ns</sup>	14,71
RD (kg m <sup>-2</sup> )	0,0067*	0,3725 <sup>ns</sup>	9,29
<sup>1</sup> GL	3	3	

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>Grau de liberdade (GL); <sup>2</sup>Qualidades da luz (QL); <sup>3</sup>Coefficiente de variação \*Significativo em nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup>: Não significativo ( $p > 0,05$ ).

O comprimento do hipocótilo (CH) e a área foliar específica (AFE) foram maiores em luz branca (Tabela 15). O maior CH e AFE em plantas cultivadas sob luz branca está relacionado à menor intensidade luminosa que provoca o alongamento do hipocótilo em direção a luz, e ao menor peso seco que faz com que aumente a área foliar específica (ORLANDO *et al.*, 2022).

Tabela 15- Médias das características biométricas e rendimento de microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz. Comprimento do hipocótilo (CH) e do cotilédone (CC), largura do cotilédone (LC), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), peso fresco (PFA) e seco da parte aérea (PSA), porcentagem de peso seco da parte aérea (PPSA) e rendimento (RD). Fortaleza, CE, UFC, 2023

Variável analisada	Qualidades da luz				
	Branca	<sup>1</sup> R3: <sup>2</sup> B1	R4:B1	R5:B1	<sup>3</sup> DMS
CH (cm)	9,01 <sup>0,485</sup> a	8,40 <sup>0,102</sup> b	7,81 <sup>0,318</sup> b	8,32 <sup>0,131</sup> b	0,97
CC (cm)	2,53 <sup>0,077</sup> ns	2,93 <sup>0,235</sup>	3,05 <sup>0,206</sup>	2,73 <sup>0,036</sup> a	0,63
LC (cm)	0,248 <sup>0,030</sup> b	0,437 <sup>0,053</sup> a	0,402 <sup>0,037</sup> a	0,458 <sup>0,063</sup> a	0,09
AF (cm <sup>2</sup> )	22,03 <sup>1,083</sup> b	27,83 <sup>0,429</sup> ab	30,11 <sup>2,167</sup> a	30,91 <sup>0,550</sup> a	6,09
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	2.091,08 <sup>247,72</sup> a	960,48 <sup>13,69</sup> b	1315,12 <sup>88,37</sup> b	1,371,78 <sup>38,14</sup> b	637,69
PFA (g)	0,460 <sup>0,012</sup> b	0,600 <sup>0,028</sup> a	0,550 <sup>0,014</sup> ab	0,557 <sup>0,014</sup> a	0,07
PSA (g)	0,0120 <sup>0,17</sup> b	0,031 <sup>0,0006</sup> a	0,025 <sup>0,0013</sup> a	0,022 <sup>0,0007</sup> a	0,012
PPSA (%)	2,32 <sup>0,020</sup> b	4,88 <sup>0,250</sup> a	4,30 <sup>0,47</sup> a	4,13 <sup>0,32</sup> a	1,63
RD (kg m <sup>-2</sup> )	4,08 <sup>0,11</sup> b	4,65 <sup>0,08</sup> ab	5,03 <sup>0,07</sup> ab	5,58 <sup>0,016</sup> a	0,4

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>R: Red (luz vermelha); <sup>2</sup>B: Blue (luz azul); <sup>3</sup>DMS: diferença mínima significativa; Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

A largura do cotilédone (LC), área foliar (AF), peso fresco (PFA) e seco da parte aérea (PSA), porcentagem de peso seco da parte aérea (PPSA) e rendimento (RD) foram maiores em iluminação R:B (Tabela 15). A iluminação R:B, além de fornecer energia para a fotossíntese, também proporciona sinais específicos que regulam o desenvolvimento, a forma e o metabolismo das plantas (no complexo fenômeno da fotomorfogênese) e características bioquímicas e funções fisiológicas que resultam em melhores características biométricas e de rendimento R:B (PARADISO *et al.*, 2021).

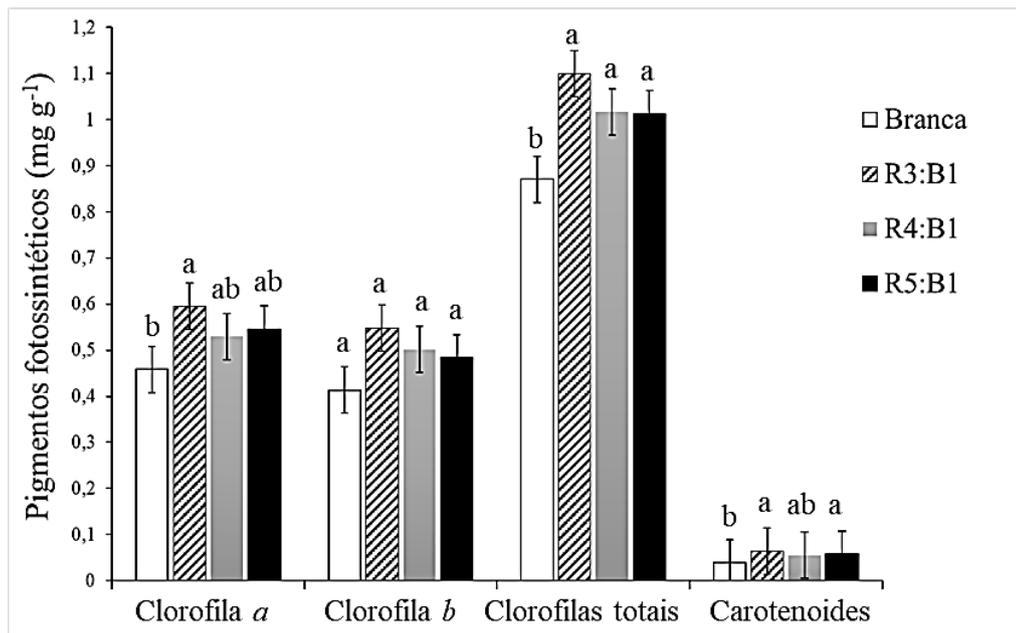
Microverdes iluminadas com R5:B1 se destacaram nas características biométricas e de rendimento (Tabela 15). Em microverdes de coentro colhidas aos 20 dias após a semeadura (DAS), onde sete proporções R:B (R monocromática, R5:B1, R3:B1, R1:B1, R1:B3, 1:5 e B monocromática) foram testadas, quando a proporção de luz vermelha era alta, o peso fresco e seco, e a área foliar das plantas de coentro foram maiores (GAO *et al.*, 2022).

### 7.3.2 Avaliações de pigmentos fotossintéticos

A maior concentração de clorofila *a* foi obtida em microverdes cultivadas em iluminação R3:B1 (0,59 mg g<sup>-1</sup>-PF), seguida de R5:B1 (0,54 mg g<sup>-1</sup>-PF) e R4:B1 (0,52 mg g<sup>-1</sup>-PF) e menor sob luz branca (0,45 mg g<sup>-1</sup>-PF). A concentração de clorofila *b* não diferiu entre os tratamentos. As clorofilas totais foram maiores em todas as proporções R:B, sendo R3:B1 (1,10 mg g<sup>-1</sup>-PF), R4:B1 (1,02 mg g<sup>-1</sup>-PF) e R5:B1 (1,01 mg g<sup>-1</sup>-PF) e menor sob luz branca (0,87 mg g<sup>-1</sup>-PF). A concentração de carotenóides foi maior em R3:B1 (0,063 mg g<sup>-1</sup>-PF),

seguida de R5:B1 (0,057 mg g<sup>-1</sup>-PF) e R4:B1 (0,055 mg g<sup>-1</sup>-PF), e menor sob luz branca (0,040 mg g<sup>-1</sup>-PF) (Figura 11).

Figura 11 - Concentrações de pigmentos fotossintéticos em cotilédones de microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz. Fortaleza, CE, UFC, 2023



Fonte: elaborada pela autora. Legenda: R: Red (luz vermelha); B: Blue (luz azul); PF: Peso fresco de cotilédones; Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. Os dados são médias  $\pm$  erro padrão de quatro repetições.

A maior concentração de clorofilas em microverdes cultivadas sob iluminação R:B ocorre principalmente pelo efeito positivo da luz azul na sua síntese (KOSPELL *et al.*, 2014; CRAVER *et al.*, 2017; TOSCANO *et al.*, 2021). A luz azul é considerada um fator impulsionador para a produção de clorofilas (GAO *et al.*, 2022), pois melhora a expressão de genes como *MgCH*, *GluTR* e *FeCH*, envolvidos na síntese da clorofila e regula algumas das enzimas na via de síntese da clorofila, como fosfoenol piruvato (PEP)-quinase, dioxovalerato (DOVA)-desidrogenase, DOVA-transaminase, ácido aminolevulínico (ALA)-sintase e ALA-desidratase (VENTILADOR *et al.*, 2013; LOBIUC *et al.*, 2017).

A maquinaria fotossintética é feita de uma coleção intrincada de complexos de proteínas contendo principalmente moléculas de clorofila *a* e de carotenóides. Vários desses complexos trabalham juntos de forma sincronizada para realizar a fotossíntese, de modo que a eficiência desta etapa inicial de conversão de energia determina o resultado de todo o processo (ROMERO, 2022). Geralmente, a clorofila não pode absorver a luz verde entre 500 e 600 nm, mas outros pigmentos, como carotenóides podem absorver, aumentando a eficiência quântica de uma antena (CROCE; VAN AMERONGEN, 2014). Uma maior acumulação desses pigmentos (Clorofila *a*, *b* e carotenoides) pode levar à maior absorção de luz, eliminação de

reações induzidas pela luz espécies de oxigênio e, conseqüentemente, melhoram o crescimento das microverdes (JOHKAN *et al.*, 2010).

A concentração de carotenóides também foi maior sob iluminação R:B, comparado a luz branca (Figura 11). Esse aumento pode ser o resultado de transformação bioquímica em resposta ao aumento da intensidade da luz nos tratamentos com R:B, já que um aumento da intensidade luminosa é fortemente correlacionado com aumento do conteúdo de carotenóides (ALRIFAI *et al.*, 2021). Os carotenóides são importantes pigmentos fotoprotetores, logo após a expansão dos cotilédones e a diferenciação dos etioplastos em cloroplastos ocorre a produção das clorofilas e carotenóides, que são sintetizados nos cloroplastos com a principal função de proteger o aparato fotossintético contra danos fotooxidativos (LLORENTE *et al.*, 2017).

### 7.3.3 Análise de nutrientes minerais e fatores de bioconcentração e translocação

Verificou-se significância ( $p < 0,05$ ) nos dados submetidos à análise de variância (ANOVA) para a concentração do nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), sódio (Na) e cobre (Cu). As concentrações de fósforo (P), magnésio (Mg), ferro (Fe), manganês (Mg) e zinco (Zn) não diferiram (Tabela 16).

Tabela 16- Análise de variância para concentração de nutrientes minerais [Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), ferro (Fe), manganês (Mg), zinco (Zn) e cobre (Cu)] na parte aérea e fator de translocação em microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz. Fortaleza, CE, UFC, 2023

Mineral	Pr> Fc- Fontes de variações			
	<sup>2</sup> (QL)	<sup>3</sup> (FT)	Bloco	<sup>4</sup> CV1%
N	0,0108*	0,0001*	0,2827	7,33
P	0,0917 <sup>ns</sup>	0,0008*	0,9431	3,45
K	0,0066*	0,0154*	0,7347	6,23
Ca	0,0314*	0,0012*	0,4265	7,59
Mg	0,0451 <sup>ns</sup>	0,0009*	0,9934	4,88
Na	0,0000*	0,0000*	0,1143	3,35
Fe	0,7854 <sup>ns</sup>	0,0099*	0,5573	12,25
Mn	0,2441 <sup>ns</sup>	0,0002*	0,9577	8,25
Zn	0,5133 <sup>ns</sup>	0,0166*	0,1935	13,03
Cu	0,0259*	0,0056*	0,6873	31,95
<sup>1</sup> GL	3	3	3	

Fonte: elaborada pelo autor. Legenda: <sup>1</sup>Grau de liberdade (GL); <sup>2</sup>Qualidades da luz (QL); <sup>4</sup>Fator de translocação; <sup>4</sup>Coeficiente de variação \*Significativo em nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup>: Não significativo ( $p > 0,05$ ).

A maior concentração e fator de translocação de N foi obtida em microverdes cultivadas em iluminação R:B (Tabela 17). Isso pode ter ocorrido devido a maior absorção e translocação de N para a parte aérea, estimulada pela luz azul (LYANG *et al.*, 2022). Além disso, grande proporção do N absorvido é alocado no aparato fotossintético justificando as maiores

concentrações de clorofilas (Figura 3) em iluminação R:B e, conseqüentemente, a maior concentração de N no tecido (YASUMURA *et al.*, 2007; GHIMIRE *et al.*, 2017). A maior concentração de N e de clorofilas em iluminação R:B também pode estar associada às taxas de fotossíntese foliar e ao armazenamento total de carboidratos, já que aumenta a capacidade de assimilação de carbono e, assim, o rendimento das plantas (LAMBERS *et al.*, 2008).

Tabela 17 - Médias das concentrações de nutrientes minerais [Nitrogênio (N; g kg<sup>-1</sup>), fósforo (P mg kg<sup>-1</sup>), potássio (K; g kg<sup>-1</sup>), cálcio (Ca; g kg<sup>-1</sup>), magnésio (Mg; g kg<sup>-1</sup>), sódio (Na; g kg<sup>-1</sup>), ferro (Fe; g kg<sup>-1</sup>), manganês (Mg; g kg<sup>-1</sup>), zinco (Zn; g kg<sup>-1</sup>) e cobre (Cu; g kg<sup>-1</sup>)] na parte aérea e fator de translocação em microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz. Fortaleza, CE, UFC, 2023

Mineral	Concentração mineral na parte aérea				
	Branca	<sup>1</sup> R3: <sup>2</sup> B1	R4:B1	R5:B1	<sup>3</sup> DMS
N	49,63 <sup>1,638</sup> <sub>b</sub>	59,64 <sup>2,717</sup> <sub>a</sub>	54,20 <sup>1,328</sup> <sub>a</sub>	60,90 <sup>2,643</sup> <sub>a</sub>	4,04
P	1,74 <sup>0,020</sup> <sub>a</sub>	1,67 <sup>0,019</sup> <sub>a</sub>	1,63 <sup>0,026</sup> <sub>a</sub>	1,63 <sup>0,035</sup> <sub>a</sub>	0,12
K	2,63 <sup>0,030</sup> <sub>b</sub>	3,17 <sup>0,110</sup> <sub>a</sub>	3,19 <sup>0,083</sup> <sub>a</sub>	2,72 <sup>0,090</sup> <sub>b</sub>	0,39
Ca	30,38 <sup>2,408</sup> <sub>b</sub>	34,30 <sup>0,759</sup> <sub>ab</sub>	32,82 <sup>0,248</sup> <sub>ab</sub>	36,96 <sup>0,347</sup> <sub>a</sub>	5,63
Mg	55,37 <sup>1,593</sup> <sub>a</sub>	50,10 <sup>0,846</sup> <sub>a</sub>	51,39 <sup>0,588</sup> <sub>a</sub>	49,95 <sup>1,104</sup> <sub>a</sub>	5,57
Na	0,35 <sup>0,007</sup> <sub>c</sub>	0,43 <sup>0,006</sup> <sub>a</sub>	0,39 <sup>0,001</sup> <sub>b</sub>	0,41 <sup>0,006</sup> <sub>a</sub>	0,02
Fe	3,65 <sup>0,172</sup> <sub>a</sub>	3,86 <sup>0,211</sup> <sub>a</sub>	3,75 <sup>0,241</sup> <sub>a</sub>	3,54 <sup>0,244</sup> <sub>a</sub>	1,00
Mn	0,83 <sup>0,041</sup> <sub>a</sub>	0,74 <sup>0,029</sup> <sub>a</sub>	0,76 <sup>0,011</sup> <sub>a</sub>	0,80 <sup>0,026</sup> <sub>a</sub>	0,14
Zn	1,47 <sup>0,065</sup> <sub>a</sub>	1,29 <sup>0,026</sup> <sub>a</sub>	1,37 <sup>0,051</sup> <sub>a</sub>	1,44 <sup>0,181</sup> <sub>a</sub>	0,40
Cu	0,44 <sup>0,083</sup> <sub>a</sub>	0,25 <sup>0,020</sup> <sub>ab</sub>	0,22 <sup>0,003</sup> <sub>b</sub>	0,23 <sup>0,010</sup> <sub>b</sub>	0,20
Mineral	Fator de translocação				
	Branca	<sup>1</sup> R3: <sup>2</sup> B1	R4:B1	R5:B1	<sup>3</sup> DMS
N	1,05 <sup>0,035</sup> <sub>c</sub>	1,68 <sup>0,067</sup> <sub>a</sub>	1,66 <sup>0,032</sup> <sub>a</sub>	1,67 <sup>0,073</sup> <sub>a</sub>	0,22
P	0,98 <sup>0,011</sup> <sub>a</sub>	0,90 <sup>0,010</sup> <sub>b</sub>	0,84 <sup>0,014</sup> <sub>c</sub>	0,86 <sup>0,019</sup> <sub>bc</sub>	0,07
K	1,60 <sup>0,044</sup> <sub>b</sub>	1,92 <sup>0,063</sup> <sub>a</sub>	1,71 <sup>0,018</sup> <sub>ab</sub>	1,77 <sup>0,063</sup> <sub>ab</sub>	0,24
Ca	1,34 <sup>0,107</sup> <sub>c</sub>	1,63 <sup>0,036</sup> <sub>ab</sub>	1,50 <sup>0,011</sup> <sub>bc</sub>	1,84 <sup>0,017</sup> <sub>a</sub>	0,25
Mg	1,78 <sup>0,051</sup> <sub>a</sub>	1,59 <sup>0,027</sup> <sub>b</sub>	1,47 <sup>0,017</sup> <sub>b</sub>	1,45 <sup>0,032</sup> <sub>b</sub>	0,17
Na	0,53 <sup>0,011</sup> <sub>c</sub>	0,46 <sup>0,014</sup> <sub>a</sub>	0,44 <sup>0,002</sup> <sub>ab</sub>	0,40 <sup>0,006</sup> <sub>b</sub>	0,03
Fe	0,89 <sup>0,042</sup> <sub>b</sub>	1,00 <sup>0,055</sup> <sub>ab</sub>	0,87 <sup>0,056</sup> <sub>b</sub>	1,23 <sup>0,085</sup> <sub>a</sub>	0,27
Mn	0,26 <sup>0,013</sup> <sub>c</sub>	0,20 <sup>0,008</sup> <sub>a</sub>	0,21 <sup>0,003</sup> <sub>a</sub>	0,15 <sup>0,005</sup> <sub>b</sub>	0,04
Zn	0,41 <sup>0,019</sup> <sub>ab</sub>	0,47 <sup>0,010</sup> <sub>ab</sub>	0,52 <sup>0,019</sup> <sub>a</sub>	0,38 <sup>0,048</sup> <sub>b</sub>	0,10
Cu	1,97 <sup>0,373</sup> <sub>a</sub>	0,92 <sup>0,074</sup> <sub>b</sub>	0,86 <sup>0,013</sup> <sub>b</sub>	0,70 <sup>0,030</sup> <sub>b</sub>	0,88

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>R: Red (luz vermelha); <sup>2</sup>B: Blue (luz azul); <sup>3</sup>DMS: diferença mínima significativa; Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

A concentração de P não diferiu entre as plantas cultivadas em diferentes qualidades da luz, mas, o fator de translocação foi maior em plantas sob luz branca (Tabela 17). O fósforo é um elemento fundamental de biomoléculas essenciais, como DNA, RNA, ATP, NADPH e fosfolipídios de membrana. Este elemento desempenha um papel crucial nos processos de sustentação da vida nas plantas, incluindo fotossíntese, respiração e ativação de proteínas via fosforilação, sendo, também um dos elementos menos acessíveis devido à solubilidade muito baixa e pouca mobilidade na solução do substrato (TAIZ *et al.*, 2017). Uma vez que é absorvido

pelas raízes, o P é carregado no xilema através dos transportadores, onde é alocado para a parte aérea das plantas (POIRIER; BUCHER, 2002; LÓPEZ-ARREDONDO *et al.*, 2014).

A concentração semelhante de P entre as plantas cultivadas em diferentes qualidades da luz, pode estar em função de sua alocação, uma vez que em iluminação R:B pode ter sido utilizado principalmente para sintetizar compostos contendo P, como ATP ou fosfolipídios, já sob luz branca parte do P pode ter sido armazenado no vacúolo para contribuir com alongamento do caule em resposta a evitação a sombra (MŁODZIŃSKA *et al.*, 2016).

A maior concentração de K foi em R3:B1 e R4:B1, e o maior fator de translocação foi em todas as proporções R:B (Tabela 17). Um maior acúmulo e gradiente de potencial elétrico de  $K^+$  está relacionado a luz azul, através do controle do receptor de luz azul fototropina (Phot 1 e Phot 2) que causa uma abertura de canais iônicos localizados nas membranas plasmáticas das células e promove o fluxo de transporte de íons, o que confirma o efeito positivo da luz azul no acúmulo de nutrientes minerais em microverdes, tendo ocorrido o mesmo para o Ca e o Na (Tabela 17) (BRAZAITYTĖ *et al.*, 2018; KAMAL *et al.*, 2020, BRAZAITYTĖ *et al.*, 2021).

A maior concentração de Mg e seu fator de translocação foram obtidas em microverdes sob luz branca (Tabela 17). Esse resultado está em similaridade com aqueles obtidos para o P. Isso ocorre pela similaridade no metabolismo e na alocação desses elementos. O Mg é necessário para sintetizar a clorofila nos tecidos fotossintéticos, e o restante é usado para pontes de ribossomos e para quelação com nucleotídeos e ácidos nucléicos, no entanto a maior parte da concentração de Mg nas células vegetais é armazenada em vacúolos (HERMANS *et al.*, 2013; KLECZKOWSKI; IGAMBERDIEV, 2021).

A maior concentração de Cu e seu fator de translocação foram obtidas em microverdes sob luz branca (Tabela 17), o que pode ter ocorrido devido o maior efeito antioxidante sob iluminação em R:B (maior concentração de carotenoides), pois o cobre é um metal de transição encontrado em duas formas comuns, a forma livre e a forma oxidada, e na forma livre pode produzir espécies reativas de oxigênio (HARRISON *et al.*, 2000; MORIKAWA *et al.*, 2018; WAIRICH *et al.*, 2022).

As concentrações de Fe, Mn e Zn não diferiram entre os tratamentos (Tabela 17). Esses resultados podem estar relacionados às características nutricionais de microverdes que geralmente são ricas nesses elementos (GIORDANO *et al.*, 2022) e nas características genéticas do coentro, que é relatado como fonte desses metais, na ordem de concentração de  $Mn < Zn < Fe$  (DAS *et al.*, 2015).

A maior concentração de nutrientes minerais nas microverdes de coentro, de forma geral, estão naquelas cultivadas em iluminação R:B. Isso acontece porque são expressos em  $g\ kg^{-1}$  de matéria seca, e as maiores porcentagens de matéria seca foram obtidas em microverdes

sob iluminação R:B, que foi de 4,8% (R3:B1), 4,3% (R4:B1) e 4,1% (R5:B1) e menor sob luz branca (2,32%) (Tabela 15). Quanto mais matéria seca a planta acumula, maior é a densidade de nutrientes (SHAABAN, 2023).

A concentração mineral nas microverdes de coentro cultivadas seguindo o protocolo desenvolvido, foi maior do que as obtidas em microverdes de coentro cultivadas em câmara de crescimento comercial (KBP-6395F, Termaks, Bergen, Noruega®) cujas concentrações por peso seco de plantas ( $\text{g kg}^{-1}$ ) foram: Ca (3,15), Mg (2,17), Fe (0,020), Zn (0,023) e Mn (0,007) (PANNICO *et al.*, 2020). Atribuímos os melhores resultados ao conjunto das condições de cultivo determinadas como mais adequadas em cada experimento conduzido.

### 7.3.3.1 Metodologias de análises minerais em microverdes

Além das diferenças nos valores entre os tratamentos de luz analisados, observou-se elevada concentração de minerais em todas as amostras analisadas por absorvância, que é uma técnica para medir quantidades de elementos químicos presentes nas amostras por meio da radiação absorvida pelo elemento químico de interesse (FARRUKH, 2012).

As metodologias de análises de elementos minerais para microverdes geralmente são adaptadas e não especificam as adaptações e diluições necessárias para que as amostras estejam dentro dos limites de detecção. Microverdes são consideradas densas em nutrientes minerais (GHOORA *et al.*, 2020). Nesse sentido, foram descritos detalhadamente os testes realizados para análises de nutrientes minerais nas microverdes de coentro.

#### 7.3.3.1.1 Determinação fotométrica de chama para Na e K

A concentração geralmente é determinada a partir de uma curva de calibração, obtida a partir de padrões de concentração conhecida. Para o Na e K, os valores das leituras para as concentrações conhecidas em partes por milhão (ppm) foram respectivamente: 4 (4,09; 4,49); 8 (7,71; 8,29); 12 (11,50; 12,29); 16 (14,74; 15,60) e 20 (18,51; 18,50). As curvas de calibração foram calculadas, as equações descritas e os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram de 0,996 para K e 0,999 para Na, indicando forte relação entre os valores das leituras e as concentrações conhecidas, o que confere alta precisão nos resultados.

Seguindo as metodologias convencionais de diluição para extratos obtidos a partir de tecido foliar (CARMO *et al.*, 2000), na proporção de 1:9, usando uma parte de extrato para nove partes de água destilada (diluído 10 vezes), não foi possível realizar as leituras das amostras, pois os valores estavam acima da faixa mensurável do equipamento, que corresponde

a uma faixa de leitura de 1 a 100ppm. Assim, foram necessárias diluições seguidas e testes até que as leituras pudessem se adequar à faixa de detecção do equipamento, que foram na proporção de 1:59 ou seja, diluído 60 vezes.

#### 7.3.3.1.2 Determinação fotocolorimétrica de P

Para a detecção de P, as amostras também precisaram ser altamente diluídas. O método fotocolorimétrico utilizado para a detecção de P tem como principal objetivo a determinação de sua concentração baseando-se na absorção de radiações eletromagnéticas (Luz) na substância em questão (WIECZOREK *et al.*, 2022). Quanto mais concentrada a solução, mais escura ela é e mais radiação eletromagnética (luz) ela absorve, ou seja, a intensidade da luz transmitida diminui a medida que a concentração da substância é maior. Em concentrações muito altas, as interações entre as moléculas do analito se tornam tão elevadas que produzem alterações na absorbância, contrapondo à Lei de Lambert-Beer que somente se aplica em concentrações muito pequenas (WYPYCH, 2015).

Antes de serem realizadas as leituras de P, as amostras e as soluções padrão foram preparadas pelo método de colorimetria de azul de molibdênio (MURPHY; RILEY, 1962). Após a reação, as amostras apresentam coloração azul, cuja intensidade aumenta conforme aumenta a concentração de P na solução. Para as leituras, as amostras devem estar dentro da faixa de coloração apresentadas pelas soluções padrão com concentração conhecida. Soluções padrão de P de 1, 2, 3, 4 e 5 ppm, foram utilizadas nesta pesquisa, sendo indicadas com azul de molibdênio e em seguida realizadas as leituras, elaborada a curva de calibração e equação. O coeficiente de determinação foi de  $R^2: 0,997$ , indicando precisão nos resultados.

Quando as amostras foram preparadas na diluição padrão de 1:9 (extrato: água destilada), apresentaram uma coloração azul intensa, muito acima da coloração apresentada pela maior concentração de P conhecida (5 ppm), indicando a necessidade de diluição, então iniciamos as diluições das amostras até que apresentassem intensidade de coloração dentro da faixa de coloração das soluções padrão de P, o que ocorreu quando foram diluídas na proporção de 1:89, ou seja, 90 vezes, e as leituras puderam ser realizadas normalmente.

#### 7.3.3.1.3 Determinação espectrofotométrica de absorção atômica

Para as leituras dos nutrientes minerais cálcio, magnésio cobre, ferro, manganês e zinco, em Espectrômetro de Absorção Atômica (AA iCE 3000 Series Atomic Absorption

Spectrometer®), não foram necessárias diluições do extrato “A”. A sensibilidade do Espectrômetro foi mantida em 40% para que pudesse estar dentro dos limites de detecção.

### 7.3.4 Análise sensorial e aceitação do consumidor

A avaliação sensorial foi realizada com 40 mulheres e 28 homens, provadores, não treinados, com idades entre 18 e 65 anos, que avaliaram as amostras de microverdes de coentro produzidas nas diferentes qualidades da luz. Os atributos de cor, aparência, aroma, textura, sabor e aceitação global não diferiram ( $p > 0,05$ ) (Tabela 18).

Tabela 18- Análise de variância para os atributos sensoriais de microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz (n = 68 provadores; escala hedônica de 9 pontos\*). Fortaleza, CE, UFC, 2023

Atributos	Qualidades da luz				
	Branca	<sup>1</sup> R3: <sup>2</sup> B1	R4:B1	R5:B1	Pr> Fc
Aparencia	7,62 <sup>ns</sup>	7,68 <sup>ns</sup>	7,60 <sup>ns</sup>	7,46 <sup>ns</sup>	0,73
Aroma	7,76	7,85	7,87	7,79	0,95
Textura	7,63	7,32	7,28	7,44	0,61
Sabor	7,74	7,54	7,50	7,71	0,70
Aceitação global	7,53	7,18	7,28	6,91	0,25

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>R: Red (luz vermelha); <sup>2</sup>B: Blue (luz azul); <sup>ns</sup>: Não significativo ( $p \geq 0,05$ ) pelo teste Tukey a 5%; \*1 - gostei extremamente, 9 - gostei extremamente.

No geral, as amostras foram classificadas entre “gostei” e “gostei muito”, valores 7 e 8 correspondentes na escala hedônica, respectivamente (Tabela 18). As microverdes possuem atributos sensoriais intensos, como sabor, textura, aroma, aparência e cores exóticas, atendendo as preferências dos consumidores por novidade e palatabilidade (BHASWANT *et al.*, 2023).

Os resultados do teste CATA para cada atributo mostra que não houve diferença pelo teste Cochran Q  $p \leq 0,05$  (Tabela 19). Esses valores sugerem que os consumidores não conseguiram perceber diferenças entre as amostras para os atributos testados (COSTA *et al.*, 2020).

Tabela 19 - Frequência dos termos CATA usados pelos provadores para descrever as amostras de microverdes de coentro produzidas em diferentes qualidades da luz e resultados do teste Cochran Q para comparação entre as amostras. Fortaleza, CE, UFC, 2023

Atributos	Branca	R3:B1	R4:B1	R5:B1	Pr> Fc
Cor Amarela	0,87 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	0,75
Cor verde claro	0,96	0,94	0,97	0,96	0,80
Cor verde intenso	0,96	0,94	0,93	0,96	0,77
Cor amarronzada	0,85	0,87	0,85	0,85	0,95
Brilhosa	0,94	0,93	0,91	0,94	0,70
Homogênea	0,91	0,91	0,93	0,90	0,85
Heterogênea	0,91	0,93	0,88	0,91	0,55
Quebradiça	0,91	0,91	0,93	0,88	0,48
Enrugada	0,91	0,91	0,87	0,87	0,21
Robusta	0,88	0,88	0,87	0,87	0,88
Aroma de coentro	1,00	0,96	0,99	0,97	0,17
Aroma de erva	0,91	0,90	0,91	0,91	0,90
Aroma de gramíneo	0,88	0,93	0,93	0,87	0,18
Aroma de terra	0,91	0,85	0,87	0,84	0,13
Aroma desagradável	0,82	0,82	0,85	0,85	0,26
Textura lisa	0,91	0,91	0,90	0,90	0,88
Textura firme	0,90	0,91	0,94	0,93	0,57
Textura macia	0,91	0,93	0,93	0,90	0,72
Textura gramínea	0,96	0,99	0,94	0,91	0,09
Gosto ácido	0,90	0,88	0,90	0,90	0,80
Gosto salgado	0,85	0,88	0,88	0,84	0,14
Gosto amargo	0,88	0,88	0,90	0,91	0,70
Gosto doce	0,87	0,85	0,88	0,88	0,53
Sabor de coentro	0,93	0,94	0,96	0,96	0,70
Sabor residual persistente	0,94	0,97	0,93	0,93	0,57
Sabor amargo	0,88	0,84	0,85	0,90	0,29
Sabor estranho	0,85	0,88	0,84	0,91	0,11
Sabor umami	0,85	0,85	0,84	0,82	0,70
Sabor gorduroso	0,84	0,84	0,82	0,85	0,72

Fonte: elaborada pela autora. Legenda: <sup>1</sup>R: Red (luz vermelha); <sup>2</sup>B: Blue (luz azul); <sup>ns</sup>: Não significativo ( $p \geq 0,05$ ) pelo teste Cochran Q a 5%.

O fato dos provadores não conseguirem detectar diferenças entre as amostras para os atributos testados pode ser explicada pela valorização de um produto novo (GAMBARO, 2018), já que 66% dos provadores não conheciam as microverdes. Em estudo de análise sensorial com 12 espécies de microverdes, incluindo o coentro, o sabor e a textura das microverdes foram os principais fatores determinantes para a aceitação do consumidor, sendo o coentro uma das microverdes mais apreciadas (CARACCILO *et al.*, 2020). Nesse contexto, o coentro se mostra como promissor para o consumo como microverde, por apresentar a característica de ser aromático e rico em óleos essenciais que conferem sabores especiais, o que permite que suas microverdes sejam usadas em alimentos, bebidas e cosméticos (ÖZYAZICI, 2021; GIORDANO *et al.*, 2022).

#### **7.4 Conclusão**

Os aspectos técnicos adotados para a produção de microverdes de coentro foram melhores em iluminação R:B, já que proporcionou maiores rendimentos. A iluminação R:B, com maior proporção de luz azul possibilitou a obtenção de plantas com maior concentração de clorofila *a* e carotenóides. A maior concentração de nutrientes minerais variou entre as microverdes produzidas em diferentes qualidades de luz, sendo a maior concentração de minerais naquelas cultivadas em iluminação R:B, que possuem as maiores porcentagens de matéria seca. Na análise sensorial as microverdes tiveram boa aceitabilidade pelos consumidores.

## REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, M.; FREITAS-SÁ, D.G.C. Metodologias sensoriais descritivas mais rápidas e versáteis – uma atualidade na ciência sensorial. **Brazilian journal of food technology**, [Campinas] v.21. 2018.
- ALRIFAI, O.; HAO, X.; LIU, R.; LU, Z.; MARCONE, M.F.; TSAO, R. LED-Induced Carotenoid Synthesis and Related Gene Expression in Brassica Microgreens. **J Agric Food Chem.**, [s. l.] 28; 69 (16), 4674-4685, 2021.
- BHASWANT, M.; SHANMUGAM, D.K.; MIYAZAWA, T.; ABE, C.; MIYAZAWA, T. Microverdes-A Comprehensive Review of Bioactive Molecules and Health Benefits. **Molecules**, [Basel] 15;28 (2), 867, 2023.
- BRASIL. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde. 2013. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2013/res0466\\_12\\_12\\_2012.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2013/res0466_12_12_2012.html). [Brasil] Acesso em: 25 de julho de 2022.
- BRAZAITYTĖ, A.; VAŠTAKAITĖ, V.; VIRŠILĖ, A.; JANKAUSKIENĖ, J.; SAMUOLIENĖ, G.; SAKALAUSKIENĖ, S.; NOVIČKOVAS, A.; MILIAUSKIENĖ, J.; DUCHOVSKIS, P. Changes in mineral element content of microverdescultivated under different lighting conditions in a greenhouse. **Acta Hortic.**, [s. l.] 1227, 507–516, 2018.
- BRAZAITYTĖ, A.; MILIAUSKIENĖ, J.; VAŠTAKAITĖ-KAIRIENĖ, S.; SUTULIENĖ, R.; LAUŽIKĖ, K.; DUCHOVSKIS, P.; MALEK, S. Effect of Different Ratios of Blue and Red LED Light on Brassicaceae Microgreens under a Controlled Environment. **Plants**, [Basel] 10(4), 801, 2021.
- BYARUGABA, R.; NABUBUYA, A.; MUYONGA, J. Descriptive sensory analysis and consumer preferences of bean sauces. **Food Science & Nutrition**, [New Jersey] 8, 2020.
- CARACCILO, F.; EL-NAKHEL, C.; RAIMONDO, M.; KYRIACOU, M.C.; CEMBALO, L.; DE PASCALE, S.; ROUPHAEL, Y. Sensory Attributes and Consumer Acceptability of 12 Microverdes Species. **Agronomy**, [Basel] 10:1043. 2020.
- CARMO, C.A.; ARAÚJO, W.S.; BERNARDI, A.C.; SALDANHA, M.C. **Metodos de analise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro 6, 1517-5146, 2000.
- CHEN, H.; XIAO, T.; LIBO, T.; LINGYAN, K. Consumers Acceptability and Perceptions toward the Consumption of hydroponically and Soil Grown Broccoli Microgreens. **Journal of Agriculture and Food Research**, [s. l.] 2, 2020.
- COSTA, J.; BRITO, S.; LEAL, A.; RODRIGUES, D.; LIMA, N.; LUIS, G.; FIGUEIREDO, RAIMUNDO.; MATA, P.; SOUSA, P. Sensory characteristics of structured guava (*Psidium guajava*): comparison of optimized descriptive profile, cata and sensory acceptance methods. **Food Science and Technology**, [Campinas] 40, 2020.
- CRAVER, J.K.; GEROVAC, J.R.; LOPEZ, R.G.; KOPSELL, D.A. Light intensity and light quality from sole-source light-emitting diodes impact phytochemical concentrations within Brassica microgreens. **J. Am. Soc. Hortic. Sci.**, [Alexandria] 142, 3–12, 2017.

CROCE, R.; VAN, AMERONGEN, H. Natural strategies for photosynthetic light harvesting. **Nat Chem Biol.**, [London] 10:492, 2014.

DAS, P.; HALDER, M.; MUJIB, A. S. M.; ISLAM, D. R.; SAYEED, A.; MOHAMMAD, M.; ABU, S.; AKHTER, S.; JOARDAR, J. C. Heavy Metal Concentration in Some Common Spices Available at Local Market as Well as Branded Spicy in Chittagong Metropolitan City, Bangladesh. **Current World Environment**, Bangladesh 10. 101-108, 2015.

DHAKSHAYANI, G.M.; ALIAS, P.S.J. A comparative study of phytochemical, antioxidant, anticarcinogenic, and antidiabetic potential of coriander (*Coriandrum sativum* L.): Microgreen and mature plant. **Foods Raw Materials**. [s. l.]10, (2), 283–294, 2022.

EGGINK, L.L.; PARK, H.; HOOBER, J.K. The role of chlorophyll b in photosynthesis: Hypothesis. **BMC Plant Biol.**, [London] 1, 2, 2001.

FAN, X.; XU, Z.; LIU, X.; TANG, C.; WANG, L.; HAN, X. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. **Scientia Horticulturae**, [Amsterdam] 153. 50-55, 2013.

FARRUKH, M. A. Atomic absorption spectroscopy. Croatia: InTech; 2012, 270p.  
GAMBARO, A. Projective techniques to study consumer perception of food. **Current Opinion in Food Science**, [Amsterdam] 21, 46-50, 2018.

GAO, Q.; LIAO, Q.; LI, Q.; YANG, Q.; WANG, F.; LI, J. Effects of LED Red and Blue Light Component on Growth and Photosynthetic Characteristics of Coriander in Plant Factory. **Horticulturae**, [Basel] 8, 1165, 1-17, 2022.

GARCÍA-CAPARROS, P.; EVA, M.A.; FRANCISCO, J.B.; ROSA, M.C.; MARÍA T.; FITTONIA, V.E. Response to Artificial Light Treatments: BIOMASS, Nutrient Concentrations and Physiological Changes. **Agronomy**, [Basel] 10, 126, 1-13, 2020.

GHIMIRE, B.; RILEY, W. J.; KOVEN, C. D.; KATTGE, J.; ROGERS, A.; REICH, P. B. A global trait-based approach to estimate leaf nitrogen functional allocation from observations. **Ecol. Appl.**, [Washington] 27, 1421–1434, 2017.

GIORDANO, M.; PETROPOULOS, S.; KYRIACOU, M.; GRAZIANI, G.; ZARRELLI, A.; ROUPHAEL, Y.; EL-NAKHEL, C. Nutritive and Phytochemical Composition of Aromatic Microgreen Herbs and Spices Belonging to the Apiaceae Family. **Plants**, [Basel] 11. 1-14, 2022.

GHOORA M.D., BABU D.R., SRIVIDYA N. Nutrient composition, oxalate content and nutritional ranking of ten culinary microgreens. **J. Food Compos. Anal.**, [Amsterdam] 91:103495, 2020.

GUPTA, A.; SHARMA, T.; SINGH, S.P.; BHARDWAJ, A.; SRIVASTAVA, D.; KUMAR, R. Prospects of microverdes as budding living functional food: Breeding and biofortification through OMICS and other approaches for nutritional security. **Front Genet.**, [Lausanne] 25;14:1053810, 2023.

HARRISON, M.D.; JONES, C.E.; SOLIOZ, M.; DAMERON, C.T. Intracellular Copper Routing: The Role of Copper Chaperones. **Trends Biochem.**, [Amsterdam] 25, 29–32, 2000.

HERMANS, C.; CONN, S.J.; CHEN, J.; XIAO, Q.; VERBRUGGEN, N. An update on magnesium homeostasis mechanisms in plants. **Metallomics**, [Cambridge] 5, 1170–1183, 2013.

HOANG, M.; VŨ, T. Effects of growing substrates and seed density on yield and quality of radish (*Raphanus sativus*) microgreens. **Research on Crops**, [Karnal] 21, 579-586, 2020.

HOOKS, T.; SUN, L.; KONG, Y.; MASABNI, J.; NIU, G. Adding UVA and Far-Red Light to White LED Affects Growth, Morphology, and Phytochemicals of Indoor-Grown Microverdes. **Sustainability**, [Basel] 14, 8552, 2022.

ISLAM, Z.; RAHMAN, S.S.; DAS, A.; KAMRUZZAMAN, M. D.; RAHMAN, H. Nutritional Analysis and Determination of Heavy Metal Content of Some Spices from the Northern Region, Bangladesh. **Food and Nutrition Sciences**, [Wuhan] 13. 558-567, 2022.

JOHKAN, M.; SHOJI, K.; GOTO, F.; HASHIDA, S. N.; YOSHIHARA, T. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. **Hortscience**, [Alexandria] 45, 12, 1809-1814, 2010.

JONES-BAUMGARDT, C.; LLEWELLYN, D.; YING, Q.; ZHENG, Y. Intensity of sole-source light emitting diodes affects growth, yield, and quality of Brassicaceae microverdes. **HortScience**, [Alexandria] 1168- 1174, 2019.

KAMAL, K.Y.; KHODAEIAMINJAN, M.; EL-TANTAWY, A. A.; MONEIM, D. A.; SALAM, A. A.; ASHSHORMILLESY, S. M. A. I.; HERRANZ, R.; EL-ESAWI, M. A.; NASSRALLAH, A. A.; RAMADAN, M. F. Evaluation of growth and nutritional value of Brassica microverdes grown under red, blue and green LEDs combinations. **Physiologia Plantarum**, [Hoboken] 1-15, 2020.

KLECZKOWSKI, L.A.; IGAMBERDIEV, A.U. Magnesium Signaling in Plants. **Int J Mol Sci.**, [Basel] 25;22(3):1159, 2021.

KOPSELL, D. A.; SAMS, C. E.; BARICKMAN, T. C.; MORROW, R. C. Sprouting broccoli accumulate higher concentrations of nutritionally important metabolites under narrow-band light-emitting diode lighting. **J Am Soc Hortic Sci.**, [Alexandria] 469–477, 2014.

KOWITCHAROEN, L.; PHORNVILLAY, S.; LEKKHAM, P.; PONGPRASERT, N.; SRILAONG, V. Bioactive Composition and Nutritional Profile of Microverdes Cultivated in Thailand. **Appl. Sci.**, [Basel] 11, 7981, 2021.

LAMBERS, H.; CHAPIN, F.S.I.I.I.; PONS, T.L. **Plant Physiological Ecology**. New York, NY: Springer-Verlag. 2008.

LEKSHMI, P.; BINDU, N. Microgreens: A Future Super Food. In: SUKUMARAN, S.T., KEERTHI, T. R. (eds) **Conservation and Sustainable Utilization of Bioresources**. Sustainable Development and Biodiversity. Springer, Singapore, 103-122, 2023.

LIN, HH.; LIN, KH.; YANG, M.J. Respostas fisiológicas e propriedades antioxidantes de plantas de coentro (*Coriandrum sativum* L.) sob diferentes intensidades luminosas de luz vermelha e azul. **Sci Rep.**, [London]12 , 21139, 2022.

LLORENTE, B.; MARTINEZ-GARCIA, J.F.; STANGE, C.; RODRIGUEZ-CONCEPCION, M. Illuminating colors: regulation of carotenoid biosynthesis and accumulation by light. **Curr Opin Plant Biol.** [Amsterdam] 37:49-55, 2017.

LOBIUC, A.; VASILACHE, V.; PINTILIE, O.; STOLERU, T.; BURDUCEA, M.; OROIAN, M. Blue and Red LED Illumination Improves Growth and Bioactive Compounds Contents in Acyanic and Cyanic *Ocimum basilicum* L. **Molecules**, [Basel] 22: 2111, 1-14, 2017.

LOCONSOLE, D.; COCETTA, G.; SANTORO, P.; FERRANTE, A. Evaluation of Romaine Lettuce Grown in An Innovative Indoor Cultivation System. **Sustainability**, [Basel] 1-16, 2019.

LÓPEZ-ARREDONDO, D.L.; LEYVA-GONZÁLEZ, M.A.; GONZÁLEZ-MORALES S.I.; LÓPEZ-BUCIO, J.; HERRERA-ESTRELLA, L. Phosphate nutrition: improving low-phosphate tolerance in crops. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, [Rockville] 65 95–123, 2014.

MARCHIONI, I.; MARTINELLI, M.; ASCRIZZI, R.; GABBRIELLI, C.; FLAMINI, G.; PISTELLI, L.; PISTELLI, L. Small Functional Foods: Comparative Phytochemical and Nutritional Analyses of Five Microverdes of the Brassicaceae Family. **Foods**, Basel, 10:427, 2021.

MENG, Q.; KELLY, N.; RUNKLE, E. S. Substituting green or far-red radiation for blue radiation induces shade avoidance and promotes growth in lettuce and kale. **Environ. Exp. Bot.**, [Amsterdam] 162, 383-391, 2019.

MŁODZIŃSKA, E.; ZBOIŃSKA, M. Phosphate Uptake and Allocation - A Closer Look at *Arabidopsis thaliana* L. and *Oryza sativa* L. **Front Plant Sci.**, [Lausanne] 15:7:1198, 2016.  
MORARU, P.I.; RUSU, T.; MINTAS, O.S. Trial Protocol for Evaluating Platforms for Growing Microgreens in Hydroponic Conditions. **Foods**, Basel 11: 9, 1-16, 2022.

MORIKAWA, T.; URAGUCHI, Y.; SANDA, S.; NAKAGAWA, S.; SAWAYAMA, S. Overexpression of DnaJ-Like Chaperone Enhances Carotenoid Synthesis in *Chlamydomonas reinhardtii*. **Appl Biochem Biotechnol.**, [Heidelberg] 184 (1):80-91, 2018.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Anal Chim Acta.**, [Amsteram] 27:31–6, 1962.

NABADAWA, H.S.; MAKAWITA, A.; CHANDRAN, S.; GIBSON, K.; FRASER, A. Evaluating the Alignment and Quality of Microgreens Training Materials Available on the Internet: A Content Analysis. **Journal of Food Protection.**, [Des Moines] 86, 2022.

NGUYEN, T.K.L.; CHO, K.M.; LEE, H.Y.; CHO, D.Y.; LEE, G.O.; JANG, S.N.; LEE, Y.; KIM, D.; SON, K.H. Effects of White LED Lighting with Specific Shorter Blue and/or Green Wavelength on the Growth and Quality of Two Lettuce Cultivars in a Vertical Farming System. **Agronomy**, Basel 11, 2021.

NIROULA, A.; KHATRI, S.; TIMILSINA, R.; KHADKA D.; KHADKA, A.; OJHA, P. Profile of chlorophylls and carotenoids of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) microverdes. **J. Food Sci. Technol.**, [Mumbai] 56, 2758-2763, 2019.

ORLANDO, M.; TRIVELLINI, A.; INCROCCI, L.; FERRANTE, A.; MENSUALI, A. A inclusão de luz verde em um fundo de luz vermelha e azul afeta o crescimento e a qualidade

funcional de espécies de microverdes vegetais e flores. **Horticulturae**, Basel 8, 217, 1-20, 2022.

ÖZYAZICI, G. Influence of Organic and Inorganic Fertilizers on Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Agronomic Traits, Essential Oil and Components under Semi-Arid Climate. **Agronomy**, [Basel] 11, 1427, 2021.

PARADISO, R.; PROIETTI, S. Light-Quality Manipulation to Control Plant Growth and Photomorphogenesis in Greenhouse Horticulture: The State of the Art and the Opportunities of Modern LED Systems. **J. Plant Growth Regul.**, Heidelberg 41, 742-780, 2021.

PENNISI, G.; BLASIOLI, S.; CELLINI, A.; MAIA, L.; CREPALDI, A.; BRASCHI, I.; SPINELLI, F.; FERNANDEZ, J. A.; STANGHELLINI, C.; MARCELIS, L. F. M.; ORSINI, F.; GIANQUINTO, G. Unraveling the Role of Red: Blue LED Lights on Resource Use Efficiency and Nutritional Properties of Indoor Grown Sweet Basil. **Front. Plant Sci.**, [Lausanne] 1-14, 2019.

POIRIER, Y.; BUCHER, M. Phosphate transport and homeostasis in Arabidopsis. Arabidopsis Book [s. l.]1:e0024 10.1199. 2002.

RUIZ-CAPILLAS, C.; HERRERO, A.M. Sensory Analysis and Consumer Research in New Product Development. **Foods**, Basel, 10;10(3):582. 2021.

SANG, W.; HEONJIN, H.; WOOJIN, Y.; JUN, H.J.; BOYEONG, K.; DA, H.S.; JIWON, S.; KI, T.N. Light polarization dependency existing in the biological photosystem and possible implications for artificial antenna systems. **Photosynthesis Research.**, [Heidelberg] 143:205–220, 2020.

SAS INSTITUTE. Statistical Analysis System, User's Guide. Statistical. Version 9.1th ed. SAS. Inst. Inc. Cary. N.C. USA. 2012.

SHIBAEVA, T.G.; SHERUDILO, E.G.; RUBAEVA, A.A.; TITOV, A.F. Continuous LED Lighting Enhances Yield and Nutritional Value of Four Genotypes of Brassicaceae Microverdes. **Plants**, [Basel] 11, 176, 1-14, 2022.

STONE, H.; SIDEL, J. L. Sensory evaluation practices.3.ed. New york: academic press, 2004, 408p.

TAIZ, L; ZEIGER, E; MOLLER, IM; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 888p. 2017.

TAN, L.; NUFFER, H.; FENG, J.; HANGKWAN, S.; CHEN, H.; TONG, X.; KONG, L. Antioxidant properties and sensory evaluation of microgreens from commercial and local farms. **Food Science and Human Wellness**, [Amsterdam] 9, 45-51, 2020.

TEIXEIRA, P. A. Manual de métodos de análise de solo 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 574, 2017.

TERASHIMA, I.; FUJITA, T.; INOUE, T.; CHOW, W.S.; OGUCHI, R. Green Light Drives Leaf Photosynthesis More Efficiently than Red Light in Strong White Light: Revisiting the Enigmatic Question of Why Leaves are Green. **Plant Cell Physiol.**, [Oxford] 50, 684–697, 2009.

TOSCANO, S.; CAVALLARO, V.; FERRANTE, A.; ROMANO, D.; PATANÉ, C. Effects of Different Light Spectra on Final Biomass Production and Nutritional Quality of Two Microverdes. **Plants**, Basel. 31;10(8):1584, 2021.

VENTILADOR, X.X.; ZANG, J.; XU, ZG; GUO, SR; JIAO, XL; LIU, XY; GAO, Y. Efeitos de diferentes qualidades de luz no crescimento, concentração de clorofila e precursores da biossíntese de clorofila de couve-chinesa (*Brassica campestris* L.). **Acta Physiol.**, [New Jersey] 35 , 2721–2726, 2013.

VOON, C.P.; GUAN, X.; SUN, Y.; SAHU, A.; CHAN, M.N.; GARDESTRÖM, P.; WAGNER, S.; FUCHS, P.; NIETZEL, T.; VERSAW, W.K. ATP compartmentation in plastids and cytosol of *Arabidopsis thaliana* revealed by fluorescent protein sensing. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA.**, [Washington] 115:10778–10787, 2018.

WAIRICH, A.; DE CONTI, L.; LAMB, T.I.; KEIL, R.; NEVES, L.O.; BRUNETTO, G.; SPEROTTO, R.A.; RICACHENEVSKY, F.K. Throwing Copper Around: How Plants Control Uptake, Distribution, and Accumulation of Copper. **Agronomy**, Basel 12, 994, 2022.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, [Amsterdam] 144, 307-314, 1994.

WIECZOREK, D., ŻYSZKA-HABERECHE, B., KAFKA, A.; LIPOK, J. Determination of phosphorus compounds in plant tissues: from colourimetry to advanced instrumental analytical chemistry. **Plant Methods**, [Heidelberg]18, 22, 2022.

WYPYCH, G. (Editor). **Handbook of UV Degradation and Stabilization**. In Handbook of UV Degradation and Stabilization (Second Edition). ChemTec Publishing, [s. l.] 430, 2015. XIAO, Z.; LESTER, G. E.; LUO, Y.; WANG, Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microverdes. **J Agric Food Chem.**, [Washington] 7644-7651, 2012.

YAN, Z.; WANG, L.; DAI, J.; LIU, Y.; LIN, D.; YANG, Y. Morphological and physiological responses of cucumber seedlings to different combinations of light intensity and photoperiod with the same daily light integral. **HortScience**, [Alexandria] 56, 1430–1438, 2021.

YASUMURA, Y.; HIKOSAKA, K.; HIROSE, T. Nitrogen resorption and protein degradation during leaf senescence in *Chenopodium album* grown in different light and nitrogen conditions. **Funct. Plant Biol.**, [Clayton] 34, 409–417, 2007.

ZHENG, L.; VAN, LABEKE, M.C. Long-Term Effects of Red- and Blue-Light Emitting Diodes on Leaf Anatomy and Photosynthetic Efficiency of Three Ornamental Pot Plants. **Front Plant Sci.**, [Lausanne] 30;8:917, 2017.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No cultivo de microverdes não há recomendações específicas que possam ser replicadas nas pesquisas, por produtores e por consumidores e poucos estudos foram realizados com microverdes de coentro, que é uma espécie com potencial de cultivo. Para o planejamento desta pesquisa foi realizada revisão de literatura, no qual foram selecionadas recomendações de cultivo de várias pesquisas, de modo a nortear o desenvolvimento de um protocolo que possa ser replicado para o cultivo de microverdes. Também foram selecionadas as principais análises que foram realizadas nos diferentes experimentos e que possibilitou ajudar na identificação do protocolo de iluminação artificial que conduziu a produção de microverdes com melhores aspectos biométricos, rendimento, eficiência energética, nutricionais e aceitação pelo consumidor.

O cultivo de microverdes ocorre principalmente com iluminação artificial por LEDs, o que representa o maior custo de implantação, manutenção e consumo de energia. No protocolo de iluminação desenvolvido, procurou-se reduzir custos de energia com a exposição das microverdes à luz a partir dos quatro dias após a sementeira (favorecendo também a uniformidade de germinação e emergência das plântulas) e com fotoperíodo cíclico (dois ciclos de 08 horas de luz/04 horas de escuro) que pode ser aplicado nas horas em que a tarifa de energia é menor.

Caso o objetivo seja produzir microverdes com menores custos totais de iluminação, a iluminação com LEDs brancos pode ser a mais viável. Em todos os experimentos, esses LEDs proporcionaram menores rendimentos, no entanto, sua avaliação de eficiência de uso de energia foi maior devido a menor potência (consome menos energia). Além disso, os LEDs brancos são mais facilmente encontrados no mercado local e com menores custos comparados a iluminação vermelho e azul.

A uniformidade, a distribuição espacial e a intensidade luminosa nos painéis, foram otimizados com a distribuição dos LEDs em três fitas, que proporcionaram maior distribuição espacial de fótons de maior intensidade para as plantas. A aproximação do painel luminoso em distância de 30 cm, da superfície do substrato, além de otimizar o espaço, também melhorou a distribuição espacial de fótons de maior intensidade em uma maior área de iluminação.

O rendimento, que é a principal métrica de importância no cultivo de microverdes, foi aumentado a partir da otimização de cada componente de cultivo. No primeiro experimento, o rendimento variou entre 1,12 e 1,68 kg m<sup>-2</sup>, ao final dos testes o rendimento variou entre 4,08 e 5,58 kg m<sup>-2</sup>.

Os maiores rendimentos em todos os experimentos foram obtidos com as proporções de vermelho e azul (R:B), que também proporcionaram microverdes com maior quantidade de pigmentos fotossintéticos e nutrientes minerais. Microverdes cultivadas em iluminação R:B, com maior proporção de luz azul, geralmente tiveram maiores concentrações de pigmentos e nutrientes minerais e com maior proporção de vermelho, maior rendimento.

Na análise sensorial, os provadores não identificaram diferenças nas microverdes, independentemente da qualidade da luz na qual foram produzidas sendo as amostras classificadas entre “gostei” e “gostei muito”, o que indica boa aceitabilidade.

Por fim, a partir dessa pesquisa obteve-se êxito no desenvolvimento de um protocolo de iluminação que pode ser utilizado e replicado para a produção de microverdes de coentro, sendo o uso de painéis luminosos com três fitas LEDs, em distância de 30 cm para superfície do substrato, com iluminação iniciando aos quatro dias após a semeadura, em fotoperíodo de 16 horas de luz contínua ou em dois ciclos, eficiente no cultivo de microverdes de coentro. Quanto a qualidade da luz, indica-se o uso de fitas LED R5:B1, por proporcionar maiores rendimentos e altas concentrações de pigmentos e nutrientes minerais.

## REFERÊNCIAS

- AL MURAD, M.; RAZI, K.; JEONG, B.R.; SAMY, P.M.A.; MUNEER, S. Light Emitting Diodes (LEDs) as Agricultural Lighting: Impact and Its Potential on Improving Physiology, Flowering, and Secondary Metabolites of Crops. **Sustainability**, [Basel] 2021, 13, 1985.
- ALCANTARA, M.; FREITAS-SÁ, D.G.C. Metodologias sensoriais descritivas mais rápidas e versáteis – uma atualidade na ciência sensorial. **Brazilian journal of food technology**, [Campinas] v.21. 2018.
- ALEM, A.L.; ARIEL, F.D.; CHO, Y.; HONG, J.C.; GONZALEZ, D.H.; VIOLA, I.L. TCP15 interacts with GOLDEN2-LIKE 1 to control cotyledon opening in Arabidopsis. **Plant J.**, [Hoboken] 110(3), 748-763, 2022.
- ALRIFAI, O.; HAO, X.; LIU, R.; LU, Z.; MARCONE, M.F.; TSAO, R. LED-Induced Carotenoid Synthesis and Related Gene Expression in Brassica Microgreens. **J Agric Food Chem.**, [s. l.] 28; 69 (16), 4674-4685, 2021.
- AMPIM, P. A.Y.; OBENG, E.; GONZALEZ, E. O.; WEERASOORIYA, A.; OSUJI, G. O.; MYERS, D. J. The response of egyptian spinach and vegetable amaranth microgreens to different light regimes. **Scientific Journal of Biology & Life Sciences**, San Francisco, v.1, n.3, p.1-5, 2020.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Resolução homologatória N° 3.026, de 19 de abril de 2022**. 2022a. Disponível em: [https://www.enel.com.br/pt-ceara/Tarifas\\_Enel.html](https://www.enel.com.br/pt-ceara/Tarifas_Enel.html). Acesso em 20 de fevereiro de 2023.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Sobre as bandeiras tarifárias**. 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/bandeiras-tarifarias>. Acesso em 20 de fevereiro de 2023.
- ANTA, C. V. **Cultivo de microgreen de rúcula em agricultura vertical indoor: Evaluación económica y medioambiental**. Dissertação de mestrado, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena. 55 p, 2022.
- APPOLLONI, E.; PENNISI, G.; ZAULI, I.; CAROTTI, L.; PAUCEK, I.; QUAINI, S.; ORSINI, F.; GIAN QUINTO, G. Beyond vegetables: effects of indoor LED light on specialized metabolite biosynthesis in medicinal and aromatic plants, edible flowers, and microgreens. **Journal of the science of food and agriculture**, New York, v. 102, n.2, p. 472-487, 2022.
- ARMAREGO-MARRIOTT, T.; SANDOVAL-IBANEZ, O.; KOWALEWSKA, L. Beyond the darkness: recent lessons from etiolation and de-etiolation studies, **J. Exp. Bot.**, [Oxford] vol. 71, 1215-1225, 2019.
- ARSOVSKI, A.A.; GALSTYAN, A.; GUSEMAN, J.M.; NEMHAUSER, J.L. Photomorphogenesis. **The Arabidopsis Book.**, [Rockville] 10:e0147, 2012.
- ARTÉS-HERNÁNDEZ, F.; CASTILLEJO, N.; MARTÍNEZ-ZAMORA, L. UV and visible spectrum LED lighting as abiotic elicitors of bioactive compounds in sprouts, microgreens,

and baby leaves—a comprehensive review including their mode of action. **Foods**, Basel, v. 11, n.3, 265, 2022.

BALÁZS, L.; DOMBI, Z.; CSAMBALIK, L.; SIPOS, L. Characterizing the Spatial Uniformity of Light Intensity and Spectrum for Indoor Crop Production. **Horticulturae**, [Basel] 8, 1-16, 2022.

BANTIS F. Light Spectrum Differentially Affects the Yield and Phytochemical Content of Microgreen Vegetables in a Plant Factory. **Plants**, [Basel] 1-16, 2021.

BEYZI, E.; KARAMAN, K.; GUNES, A.; BEYZI, S.B. Change in some biochemical and bioactive properties and essential oil composition of coriander seed (*Coriandrum sativum* L.) varieties from Turkey. **Industrial Crops and Products**, [Amsterdam] 109, 74–78, 2017.

BHASWANT, M.; SHANMUGAM, D.K.; MIYAZAWA, T.; ABE, C.; MIYAZAWA, T. Microverdes—A Comprehensive Review of Bioactive Molecules and Health Benefits. **Molecules**, [Basel] 15;28 (2), 867, 2023.

BIAN, Z. H.; LEI, B.; CHENG, R.-F.; WANG, Y.; ACESO.; YANG, Q. C. Selenium distribution and nitrate metabolism in hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.): Effects of selenium forms and light spectra. **Journal of Integrative Agriculture**, [China] 19, 133-144, 2020.

BIAN, Z.H.; CHENG, R.F.; YANG, Q.C.; WANG, J.; LU, C. Continuous light from red, blue, and green light-emitting diodes reduces nitrate content and enhances phytochemical concentrations and antioxidant capacity in lettuce. **J. Am. Soc. Hortic. Sci.**, [Alexandria] 186–195, 2016.

BICKFORD, E. D.; DUNN, S. **Lighting for plant growth** (The Kent State Univ. Press, Kent, OH), 1972, 230p.

BOCCACCINI, A.; LEGRIS, M.; KRAHMER, J.; ALLENBACH-PETROLATI, L.; GOYAL, A.; GALVAN-AMPUDIA, C.; VERNOUX, T.; KARAYEKOV E CASAL J.J.; FANKHAUSER, C. Low Blue Light Enhances Phototropism by Releasing Cryptochrome1-Mediated Inhibition of PIF4 Expression. **Plant Physiol.**, [Rockville] Aug;183 (4):1780-1793, 2020.

BORSUK, A.M.; BRODERSEN, C.R. The Spatial Distribution of Chlorophyll in Leaves. **Plant Physiol.**, [Rockville] Jul;180(3):1406-1417, 2019.

BRASIL. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde. 2013. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2013/res0466\\_12\\_12\\_2012.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2013/res0466_12_12_2012.html). [Brasil] Acesso em: 25 de julho de 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**, Brasília, 2009. 365p.

BRAZAITYTĖ, A.; VAŠTAKAITĖ, V.; VIRŠILĖ, A.; JANKAUSKIENĖ, J.; SAMUOLIENĖ, G.; SAKALAUŠKIENĖ, S.; NOVIČKOVAS, A.; MILIAUSKIENĖ, J.; DUCHOVSKIS, P. Changes in mineral element content of microverdescultivated under different lighting conditions in a greenhouse. **Acta Hortic.**, [s. l.] 1227, 507–516, 2018.

BRAZAITYTĖ, A.; MILIAUSKIENĖ, J.; VAŠTAKAITĖ-KAIRIENĖ,.; SUTULIENĖ, R.; LAUŽIKĖ, K.; DUCHOVSKIS, P.; MAŁEK, S. Effect of Different Ratios of Blue and Red LED Light on Brassicaceae Microgreens under a Controlled Environment. **Plants**, [Basel] 10(4), 801, 2021.

BRICE, C. Supplementing White Light with Narrow-Band Light Wavelengths Impacts Cilantro Yield. Master's Thesis, **University of Tennessee**, [Tennessee] 2020.

BROWNSON, J. R. S. **Laws of Light**. In Solar Energy Conversion Systems. Elsevier, [Amsterdam] 2014, 480p.

BULGARI, R.; NEGRI, M.; SANTORO, P.; FERRANTE, A. Quality Evaluation of Indoor-Grown Microgreens Cultivated on Three Different Substrates. **Horticulturae**, [Basel] 7: 96, 1-13, 2021.

BYARUGABA, R.; NABUBUYA, A.; MUYONGA, J. Descriptive sensory analysis and consumer preferences of bean sauces. **Food Science & Nutrition**, [New Jersey] 8, 2020.

CARACCILO F., EL-NAKHEL C., RAIMONDO M., KYRIACOU M.C., CEMBALO L., DE PASCALE S., ROUPHAEL Y. Sensory Attributes and Consumer Acceptability of 12 Microverdes Species. **Agronomy**, [Basel] 10:1043. 2020.

CARMO, C.A.; ARAÚJO, W.S.; BERNARDI, A.C.; SALDANHA, M.C. **Metodos de analise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro 6, 1517-5146, 2000.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP, 590 p, 2012.

CAVICHIOLO, L.S. **Aspectos morfológicos e ecológicos dos principais tipos morfofuncionais de plântulas ocorrentes na Ilha do Mel, PR**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 71 p, 2006.

CHEN, H.; XIAO, T.; LIBO, T.; LINGYAN, K. Consumers Acceptability and Perceptions toward the Consumption of hydroponically and Soil Grown Broccoli Microgreens. **Journal of Agriculture and Food Research**, [s. l.] 2, 2020.

CHEN, X.L.; YANG, Q.C.; SONG, W.P.; WANG, L.C.; GUO, W.Z.; XUE, X.Z. Growth and nutritional properties of lettuce affected by different alternating intervals of red and blue LED irradiation. **Sci. Hortic**, [Amsterdam] 44-52, 2017.

CHOE U., YU L.L., WANG T.T. The science behind microgreens as an exciting new food for the 21st century. **J. Agric. Food Chem**, [Washington] 66: 11519-11530, 2018.

CHOI, D.S.; NGUYEN, T.K.L.; OH, M.M. Growth and biochemical responses of kale to supplementary irradiation with different peak wavelengths of UV-A light-emitting diodes. **Hortic. Environ. Biotechnol**, [Heidelberg] 63, 65-76, 2022.

COCETTA, G.; CASCIANI, D.; BULGARI, R.; MUSANTE, F.; KOLTON, A.; ROSSI, M.; FERRANTE, A. Light use efficiency for vegetables production in protected and indoor environments. **Eur. Phys. J. Plus**, [Heidelberg] 132 (43) 1-15, 2017.

COSTA, A.; SOUZA, L.; COVA, A.; SANTOS, C. M. R. Produção de coentro em resposta a diferentes doses de água residuária da mandioca. **Revista Agroecossistema**, [s. l.] 13: 1, 145-162, 2021.

COSTA, J.; BRITO, S.; LEAL, A.; RODRIGUES, D.; LIMA, N.; LUIS, G.; FIGUEIREDO, RAIMUNDO.; MATA, P.; SOUSA, P. Sensory characteristics of structured guava (*Psidium guajava*): comparison of optimized descriptive profile, cata and sensory acceptance methods. **Food Science and Technology**, [Campinas] 40, 2020.

CRAVER, J.K.; GEROVAC, J.R.; LOPEZ, R.G.; KOPSELL, D.A. Light intensity and light quality from sole-source light-emitting diodes impact phytochemical concentrations within Brassica microgreens. **J. Am. Soc. Hortic. Sci.**, [Alexandria] 142, 3–12, 2017.

CROCE, R.; VAN, AMERONGEN, H. Natural strategies for photosynthetic light harvesting. **Nat Chem Biol.**, [London] 10:492, 2014.

CUI, H.; JIN, L.; LI, B.; ZHANG, J.; ZHAO, B.; DONG, S.; LIU, P. Effects of shading on stalks morphology, structure and lodging of summer maize in field. **Scientia Agricultura Sinica**, [Pequim] 45, 3497–3505, 2012.

DANTAS, N.; BENEDITO, C.; OLIVEIRA, V.; SILVA, K.; RÊGO, A.; PEREIRA, K.T.; MEDEIROS, H. Condicionamento fisiológico em sementes de coentro (*Coriandrum sativum* L.) / Seed priming in coriander (*Coriandrum sativum* L.). **Brazilian Journal of Development**, [s. l.] 7. 76554-76570, 2021.

DAS, M.; DHAR, A. Nutritional and Functional Quality of Mustard and Coriander Greens at Different Phases of Development. **Curr Res Nutr Food Sci.**, [Des Moines] 11(1), 2023.

DAS, P.; HALDER, M.; MUJIB, A. S. M.; ISLAM, D. R.; SAYEED, A.; MOHAMMAD, M.; ABU, S.; AKHTER, S.; JOARDAR, J. C. Heavy Metal Concentration in Some Common Spices Available at Local Market as Well as Branded Spicy in Chittagong Metropolitan City, Bangladesh. **Current World Environment**, Bangladesh 10. 101-108, 2015.

DHAKSHAYANI, G.M.; ALIAS, P.S.J. A comparative study of phytochemical, antioxidant, anticarcinogenic, and antidiabetic potential of coriander (*Coriandrum sativum* L.): Microgreen and mature plant. **Foods Raw Materials**. [s. l.] 10, (2), 283–294, 2022.

DI BELLA, M. C.; NIKLAS, A.; TOSCANO, S.; PICCHI, V.; ROMANO, D.; LO SCALZO, R.; BRANCA, F. Morphometric Characteristics, Polyphenols and Ascorbic Acid Variation in Brassica oleracea L. Novel Foods: Sprouts, Microverdes and Baby Leaves. **Agronomy**, [Basel] 1-18, 2020.

DI GIOIA F., SANTAMARIA P., editors. Microverdes: Novel Fresh and Functional Food to Explore All the Value of Biodiversity. **ECO-Logica**; Bari, Italy 51–79, 2015.

DI GIOIA, F.; PETROPOULOS, SA; OZORES-HAMPTON, M.; MORGAN, K.; ROSSKOPF. Zinc and Iron Agronomic Biofortification of Brassicaceae Microgreens. **Agronomy**, [Basel] 9 (11), 677, 1-20, 2019.

DU, M.; XIAO, Z.; LUO, Y. Advances and emerging trends in cultivation substrates for growing sprouts and microgreens toward safe and sustainable agriculture. **Current Opinion in Food Science**, [Amsterdam] 46, 2022.

EBERT A. W. Sprouts and Microverdes-Novel Food Sources for Healthy Diets. **Plants**, [Basel] 11(4), 571, 1- 45, 2022.

EGGINK, L.L.; PARK, H.; HOOBER, J.K. The role of chlorophyll b in photosynthesis: Hypothesis. **BMC Plant Biol.**, [London] 1, 2, 2001.

ELKINS, C.; VAN IERSEL, M. W. Longer Photoperiods with the Same Daily Light Integral Increase Daily Electron Transport through Photosystem II in Lettuce. **Plants**, [Basel] 10;9 (9): 1172, 1-14, 2020.

EVANS, J.R.; POORTER, H. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: The relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant Cell Environ.**, [West Sussex] 24, 755–767, 2001.

FAN, X.; XU, Z.; LIU, X.; TANG, C.; WANG, L.; HAN, X. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. **Scientia Horticulturae**, [Amsterdam] 153. 50-55, 2013.

FAN, X.; XU, Z.; LIU, X.; TANG, C.; WANG, L.; HAN, X.. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. **Scientia Horticulturae**, [Amsterdam] 153. 50-55, 2013.

FARRUKH, M. A. **Atomic absorption spectroscopy**. Croatia: InTech; 2012, 270p.

FILATOV, D. A.; VETCHINNIKOV, A. A.; OLONINA, S. I.; OLONIN, I. YU. Intermittent LED lighting helps reduce energy costs when growing microverdes on vertical controlled environment farms. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [Reino unido] 979, 1, 1-5, 2022.

FLORES, J.; GONZÁLEZ-SALVATIERRA, C.; JURADO, E. Effect of light on seed germination and seedling shape of succulent species from Mexico. **Journal of Plant Ecology**, [Oxford] 9 (2), 174–179, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, Green Cities Initiative; FAO/UN: Rome, Italy. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/3/cb0848en/cb0848en.pdf>. Acesso em 18 de janeiro de 2023.

FRAŚZCZAK, B.; KULA-MAXIMENKO, M. The Biometric Parameters of Microgreen Crops Grown under Various Light Conditions. **Agriculture**, [Basel] 12: 576, 1-10, 2022.

FRAŚZCZAK, B.; KULA-MAXIMENKO, M. The Biometric Parameters of Microgreen Crops Grown under Various Light Conditions. **Agriculture**, [Basel] 12: 576, 1-10, 2022.

FRENZEL JR., L. E. **Eletrônica Moderna: Fundamentos, Dispositivos, Circuitos e Sistemas**. Editora: McGraw Hill, Brasil, 2015, 840p.

FUJIWARA, K. Radiometric, Photometric and Photonmetric Quantities and Their Units. In **LED Lighting for Urban Agriculture**, Kozai, T., Fujiwara, K., Runkle, E.S., Eds.; Springer: Singapore. 367-376, 2016.

GADOTTI, GI; HORNKE, NF; CAVALCANTE, JA; SILVA, JG; GONÇALVES, VP; CAPILHEIRA, AF. Efficiency of the gravity table in the processing of coriander seeds. **Horticultura Brasileira**, [Brasília] 38: 211-216, 2020.

GALIENI, A.; STAGNARI, F.; SPECA, S.; PISANTE, M. Leaf traits as indicators of limiting growing conditions for lettuce (*Lactuca sativa*). **Ann. Appl. Biol.**, [London] 169, 342-356, 2016.

GAMBARO, A. Projective techniques to study consumer perception of food. **Current Opinion in Food Science**, [Amsterdam] 21, 46-50, 2018.

GANTAIT, S.; SHARANGI, A.; MAHANTA, M.; MEENA, N. Agri-biotechnology of coriander (*Coriandrum sativum* L.): an inclusive appraisal. **Applied Microbiology and Biotechnology**, [Heidelberg] 106. 1-19, 2022.

GAO, Q.; LIAO, Q.; LI, Q.; YANG, Q.; WANG, F.; LI, J. Effects of LED Red and Blue Light Component on Growth and Photosynthetic Characteristics of Coriander in Plant Factory. **Horticulturae**, [Basel] 8, 1165, 1-17, 2022.

GARCÍA-CAPARROS, P.; EVA, M.A.; FRANCISCO, J.B.; ROSA, M.C.; MARÍA T.; FITTONIA, V.E. Response to Artificial Light Treatments: BIOMASS, Nutrient Concentrations and Physiological Changes. **Agronomy**, [Basel] 10, 126, 1-13, 2020.

GEORGIEVA, R.; DELIBALTOVA, V.; CHAVDAROV, P. Change in agronomic characteristics and essential oil composition of coriander after application of foliar fertilizers and biostimulators. **Industrial Crops and Products**, [Amsterdam] 181: 1, 2022.

GEROVAC, J. R.; CRAVER, J. K.; BOLDT, J. K.; LOPEZ, R. G. Light intensity and quality from solesource light-emitting diodes impact growth, morphology, and nutrient content of brassica microverdes. **HortSci.**, [Alexandria] 497-503, 2016.

GHIMIRE, B.; RILEY, W. J.; KOVEN, C. D.; KATTGE, J.; ROGERS, A.; REICH, P. B. A global trait-based approach to estimate leaf nitrogen functional allocation from observations. **Ecol. Appl.**, [Washington] 27, 1421–1434, 2017.

GHOORA, M. D.; BABU, D. R.; SRIVIDYA, N. Nutrient composition, oxalate content and nutritional ranking of ten culinary microgreens. **J. Food Compos. Anal.**, [Amsterdam] 91, 1-10, 2020.

GIORDANO, M.; PETROPOULOS, S.; KYRIACOU, M.; GRAZIANI, G.; ZARRELLI, A.; ROUPHAEL, Y.; EL-NAKHEL, C. Nutritive and Phytochemical Composition of Aromatic Microgreen Herbs and Spices Belonging to the Apiaceae Family. **Plants**, [Basel] 11. 1-14, 2022.

GÓMEZ, C.; IZZO, L.G. Increasing efficiency of crop production with LEDs. **AIMS Agric. Food**, [s. l.]3, 135–153, 2018.

GOMMERS, C.M.; MONTE, E. Seedling establishment: a dimmer switch-regulated process between dark and light signaling. **Plant Physiol**, [Rockville] 176, 1061–1074, 2018.

- GUPTA, A.; SHARMA, T.; SINGH, S.P.; BHARDWAJ, A.; SRIVASTAVA, D.; KUMAR, R. Prospects of microverdes as budding living functional food: Breeding and biofortification through OMICS and other approaches for nutritional security. **Front Genet.**, [Lausanne] 25;14:1053810, 2023.
- HAGA, K.; SAKAI, T. Photosensory adaptation mechanisms in hypocotyl phototropism: how plants recognize the direction of a light source. **Journal of Experimental Botany**, [Oxford] 2023.
- HALLIDAY, K.J.; MARTINEZ-GARCIA, J.F.; JOSSE, E.M. Integration of light and auxin signaling. **Cold Spring Harbor Perspect. Biol.**, [Cold Spring Harbor] 1-11, 2009.
- HANG, T.; LU, N.; TAKAGAKI, M.; MAO, H. Leaf area model based on thermal effectiveness and photosynthetically active radiation in lettuce grown in mini-plant factories under different light cycles. **Sci. Hortic.**, [Amsterdam] 252, 113-120, 2019.
- HARRISON, M.D.; JONES, C.E.; SOLIOZ, M.; DAMERON, C.T. Intracellular Copper Routing: The Role of Copper Chaperones. **Trends Biochem.**, [Amsterdam] 25, 29–32, 2000.
- HAYASHI, E.; AMAGAI, Y.; KOZAI, T.; MARUO, T.; TSUKAGOSHI, S.; NAKANO, A.; JOHKAN, M. Variations in the Growth of Cotyledons and Initial True Leaves as Affected by Photosynthetic Photon Flux Density at Individual Seedlings and Nutrients. **Agronomy**, [Basel] 12, 194, 1-16, 2022.
- HERMANS, C.; CONN, S.J.; CHEN, J.; XIAO, Q.; VERBRUGGEN, N. An update on magnesium homeostasis mechanisms in plants. **Metallomics**, [Cambridge] 5, 1170–1183, 2013.
- HERNÁNDEZ, R.; KUBOTA, C. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. **Environ. Exp. Bot.**, [Amsterdam] 121, 66-74, 2016.
- HERNANDEZ, V.M. Enabling Year-round Cultivation in the Nordics-Agrivoltaics and Adaptive LED Lighting Control of Daily Light Integral. **Agriculture**, [Basel] 11, 1255, 2021.
- HILTY, J.; MULLER, B.; FLORENT, P.; LEUZINGER, S. Plant growth: the What, the How, and the Why. **New Phytologist**, [Hoboken] 232, 25-41, 2021.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water-culture method for growing plants without soil**. Circ. Agric. Exp. Stn., California 1950, 347p.
- HOANG, M.; VŨ, T. Effects of growing substrates and seed density on yield and quality of radish (*Raphanus sativus*) microgreens. **Research on Crops**, [Nova Delhi] 21, 579-586, 2020.
- HOOKS, T.; MASABNI, J.; SUN, L.; NIU, G. Effect of Pre-Harvest Supplemental UV-A/Blue and Red/Blue LED Lighting on Lettuce Growth and Nutritional Quality. **Horticulturae**, [Basel] 7. 80, 2021.
- HOOKS, T.; SUN, L.; KONG, Y.; MASABNI, J.; NIU, G. Adding UVA and Far-Red Light to White LED Affects Growth, Morphology, and Phytochemicals of Indoor-Grown Microverdes. **Sustainability**, [Basel] 14, 8552, 2022.

ISLAM, Z.; RAHMAN, S.S.; DAS, A.; KAMRUZZAMAN, M. D.; RAHMAN, H. Nutritional Analysis and Determination of Heavy Metal Content of Some Spices from the Northern Region, Bangladesh. **Food and Nutrition Sciences**, [Wuhan] 13. 558-567, 2022.

JAMBOR, T.; KNIZATOVA, N.; VALKOVA, V.; TIRPAK, F.; GREIFOVA, H.; KOVACIK, A.; LUKAC, N. MICROGREENS AS A FUNCTIONAL COMPONENT OF THE HUMAN DIET: A REVIEW. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, [s. l.] 12(1), e5870, 2022.

JAYALATH, T.C.; VAN IERSEL M.W. Canopy Size and Light Use Efficiency Explain Growth Differences between Lettuce and Mizuna in Vertical Farms. **Plants**, Basel. Apr 6;10(4):704, 2021.

JIN, W.; FORMIGA, L. D.; HEUVELINK, E.; MARCELIS, L. F. M. Light use efficiency of lettuce cultivation in vertical farms compared with greenhouse and field. **Food and Energy Security**, [Hoboken] 1-10, 2022.

JOHKAN, M.; SHOJI, K.; GOTO, F.; HASHIDA, S. N.; YOSHIHARA, T. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. **Hortscience**, [Alexandria] 45, 12, 1809-1814, 2010.

JOHNSON, S. A.; PRENNI, J. E.; HEUBERGER, A. L.; ISWEIRI, H.; CHAPARRO, J. M.; NEWMAN, S. E.; UCHANSKI, M. E.; OMERIGIC, H. M.; MICHELL, K. A.; BUNNING, M.; FOSTER, M.T.; THOMPSON, H. J.; WEIR, T. L. Comprehensive Evaluation of Metabolites and Minerals in 6 Microgreen Species and the Influence of Maturity. **Curr Dev Nutr**, [Rockville] 18; 5(2), 1-12, 2021.

JONES-BAUMGARDT, C.; LLEWELLYN, D.; YING, Q.; ZHENG, Y. Intensity of sole-source light emitting diodes affects growth, yield, and quality of Brassicaceae microverdes. **HortScience**, [Alexandria] 1168- 1174, 2019.

JONES-BAUMGARDT, C.; LLEWELLYN, D.; ZHENG, Y. Different Microgreen Genotypes Have Unique Growth and Yield Responses to Intensity of Supplemental PAR from Light-emitting Diodes during Winter Greenhouse Production in Southern Ontario, Canada. **HortScience**, [Alexandria] 1-8, 2020.

KALANTARI, F.; TAHIR, O. M.; JONI, R. A.; FATEMI, E. Opportunities and challenges in sustainability of vertical farming: A review. **J. Landscape Ecol**, [s. l.] 11, 35–60, 2018.

KAMAL, K.Y.; KHODAEIAMINJAN, M.; EL-TANTAWY, A. A.; MONEIM, D. A.; SALAM, A. A.; ASHSHORMILLESY, S. M. A. I.; HERRANZ, R.; EL-ESAWI, M. A.; NASSRALLAH, A. A.; RAMADAN, M. F. Evaluation of growth and nutritional value of Brassica microverdes grown under red, blue and green LEDs combinations. **Physiologia Plantarum**, [Hoboken] 1-15, 2020.

KATHI, S.; LAZA, H.; SINGH, S.; THOMPSON, L.; LI, W.; SIMPSON, C. Increasing vitamin C through agronomic biofortification of arugula microgreens. **Sci Rep.**, [London] 12: 13093, 1-11, 2022.

KATSENIOS, N.; CHRISTOPOULUS, M. V.; KAKABOUKI, I.; VLACHAKIS, D.; KAVVADIAS, V.; EFTHIMIADOU, A. Effect of Pulsed Electromagnetic Field on Growth,

Physiology and Postharvest Quality of Kale (*Brassica oleracea*), Wheat (*Triticum durum*) and Spinach (*Spinacia oleracea*) Microgreens. **Agronomy**, [Basel] 11, 1364, 1-13, 2021.

KHARSHIING, E. V.; MAWPHLANG, O. I. L.; LAMA, V.; BHATTACHARJEE, R.; SAHOO, L. Manipulation of light environment for optimising photoreceptor activity towards enhancing plant traits of agronomic and horticultural importance in crops, **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, [Cambridge] 97:5, 535-551, 2022.

KIM, J.; SONG, K.; PARK, E.; KIM, K.; BAE, G.; CHOI, G. Epidermal Phytochrome B Inhibits Hypocotyl Negative Gravitropism Non-Cell-Autonomously. **Plant Cell**, [Rockville] 28 (11): 2770-2785, 2016.

KIM, M. J.; CHOO, Y. K.; KIM, U. J.; CHUNG, S. O. Evaluation of Light Intensity and Uniformity of LEDs for Protected Crop Production. **Aribusiness and Information Management**, [s. l.] 6 (1), 37-44, 2014.

KIMURA, H.; HASHIMOTO-SUGIMOTO, M.; IBA, K.; TERASHIMA, I.; YAMORI, W. Improved stomatal opening enhances photosynthetic rate and biomass production in fluctuating light. **J. Exp. Bot.**, [Oxford] 71, 2339-2350, 2020.

KISS, J.Z.; MULLEN, J.L.; CORRELL, M.J.; HANGARTER, R.P. Phytochromes A and B mediate red-light-induced positive phototropism in roots. **Plant Physiology**, [Rockville] 131, 1411-1417, 2003.

KLASSEN, S.P.; RITCHIE, G.L.; FRANTZ, J.M.; PINNOCK, D.R.; BUGBEE, B. **Digital Imaging and Spectral Techniques: Applications to Precision Agriculture and Crop Physiology**. American Society of Agronomy; Minneapolis, MN, USA: Real-Time Imaging of Ground Cover: Relationships with Radiation Capture, Canopy Photosynthesis, and Daily Growth Rate, 3–14, 2003.

KLECZKOWSKI, L.A.; IGAMBERDIEV, A.U. Magnesium Signaling in Plants. **Int J Mol Sci.**, [Basel] 25; 22(3):1159, 2021.

KOHNEN, M. V.; SCHMID-SIEGERT, E.; TREVISAN, M.; PETROLATI, L. A.; SÉNÉCHAL, F.; MÜLLER-MOULÉ, P.; MALOOF, J.; XENARIOS, I.; FANKHAUSER, C. Neighbor detection induces organ-specific transcriptomes, revealing patterns underlying hypocotyl-specific growth. **Plant Cell**, [Rockville] 28, 2889-2904 2016.

KONDRATEVA, N.; FILATOV, D.; BOLSHIN, R.; KRASNOLUTSKAYA, M.; SHISHOV, A.; OVCHUKOVA, S.; MIKHEEV, G. Determination of the effective operating hours of the intermittent lighting system for growing vegetables. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.**, [Bristol] 935, 012004, 2021.

KONG, Y.; SCHIESTEL, K.; ZHENG, Y. Pure blue light effects on growth and morphology are slightly changed by adding low-level UVA or far-red light: A comparison with red light in four microgreen species. **Environmental and Experimental Botany**, [Amsterdam] 157, 58-68, 2019.

KOPSELL, D. A.; SAMS, C. E.; BARICKMAN, T. C.; MORROW, R. C. Sprouting broccoli accumulate higher concentrations of nutritionally important metabolites under narrow-band light-emitting diode lighting. **J Am Soc Hortic Sci.**, [Alexandria] 469–477, 2014.

KOWITCHAROEN, L.; PHORNVILLAY, S.; LEKKHAM, P.; PONGPRASERT, N.; SRILAONG, V. Bioactive Composition and Nutritional Profile of Microverdes Cultivated in Thailand. **Appl. Sci.**, [Basel] 11, 7981, 2021.

KOZAI, T. PFAL business and R&D in the world: Current status and perspectives. **In Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production.** Academic Press: Cambridge, MA, USA, 35–68, 2015.

KOZAI, T. Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: concept, estimation and application to plant factory. **Proc Jpn Acad Ser B Phys Biol Sci.**, [Japão] 89 (10): 447-461, 2013.

KOZUKA, T.; KONG, S.G.; DOI, M.; SHIMAZAKI, K.; NAGATANI, A. Tissue-autonomous promotion of palisade cell development by phototropin 2 in Arabidopsis. **Plant Cell.**, [Rockville] 23(10):3684-95, 2011.

KUSNETSOV, V.; DOROSHENKO, A.S.; KUDRYAKOVA, N.V. Role of Phytohormones and Light in De-etiolation. **Russ J Plant Physiol**, [London]67, 971-984, 2020.

KUSUMA, P.; PATTISON, P. M.; BUGBEE, B. From physics to fixtures to food: current and potential LED efficacy. **Hortic Res.**, [London] 7: 56, 1-9, 2021.

KYRIACOU, M. C.; DE PASCALE, S.; KYRATZIS, A.; ROUPHAEL, Y. Microgreens as a component of space life support systems: A cornucopia of functional food. **Front. Plant Sci.**, [Lausanne] 8, 1587, 1-5, 2017.

KYRIACOU, M. C.; EL-NAKHEL C, PANNICO A, GRAZIANI G, ZARRELLI A, SOTERIOU GA, KYRATZIS A, ANTONIOU C, PIZZOLONGO F, ROMANO R, RITIENI A, DE PASCALE S, ROUPHAEL Y. Ontogenetic Variation in the Mineral, Phytochemical and Yield Attributes of Brassicaceous Microgreens. **Foods**, Basel, May 10;10 (5):1032, 1-21, 2021.

KYRIACOU, M.C.; EL-NAKHEL, C.; PANNICO, A.; GRAZIANI, G.; SOTERIOU, G.A.; GIORDANO, M.; PALLADINO, M.; RITIENI, A.; DE PASCALE, S.; ROUPHAEL, Y. Phenolic Constitution, Phytochemical and Macronutrient Content in Three Species of Microverdes as Modulated by Natural Fiber and Synthetic Substrates. **Antioxidants**, [Basel] 9, 252, 1-23, 2020.

LAL, G.; SARAN, P. L.; DEVI, G.; BIJARNIYA, D.; RAJ, R. **Chapter: Seed production technology of coriander (*Coriandrum sativum*)**. In Advances in vegetable agronomy, [New Delhi] 214-222. 2014.

LAMBERS, H.; CHAPIN, F.S.I.I.I.; PONS, T.L. **Plant Physiological Ecology**. New York, NY: Springer-Verlag. 2008.

LANOUE J, LOUIS, S.; LITTLE, C.; HAO, X. Continuous lighting can improve yield and reduce energy costs while increasing or maintaining nutritional contents of microgreens. **Front Plant Sci.**, [Lausanne] 1-17, 2022.

LEE, J.W.; PARK, S.Y.; OH, M.M. Supplemental radiation of ultraviolet-A light-emitting diode improves growth, antioxidant phenolics, and sugar alcohols of ice plant. **Hortic. Environ. Biotechnol.**, [s. l.] 62, 559–570, 2021.

LEKSHMI, P.; BINDU, N. Microgreens: A Future Super Food. In: SUKUMARAN, S.T., KEERTHI, T. R. (eds) **Conservation and Sustainable Utilization of Bioresources**. Sustainable Development and Biodiversity. Springer, Singapore, 103-122, 2023.

LENZI, A.; ORLANDINI, A.; BULGARI, R.; FERRANTE, A.; BRUSCHI, P. Antioxidant and mineral composition of three wild leafy species: A comparison between microverdes and baby greens. **Foods**, Basel 8, 487, 1-19, 2019.

LI, T.; LALK, G.; BI, G. Fertilization and Pre-Sowing Seed Soaking Affect Yield and Mineral Nutrients of Ten Microgreen Species. **Horticulturae**, [Basel] 7, 14, 2021.

LI, X.; WU, Y.; LI, B.; YANG, Y.; YANG, Y. Accumulation Characteristics and Biofortification Potentiality in Turnip (*Brassica rapa* var. *rapa*) Supplied with Selenite or Selenate. **Front Plant Sci.**, [Lausanne] 8: 2207, 1-10, 2018.

LI, Y.; XIN, G.; LIU, C.; SHI, Q.; YANG, F.; WEI, M. Effects of red and blue light on leaf anatomy, CO<sub>2</sub> assimilation and the photosynthetic electron transport capacity of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings. **BMC Plant Biol.**, [London] 20(1): 318, 1-16, 2020.

LIN, HH., LIN, KH., YANG, MJ. Physiological responses and antioxidant properties of coriander plants (*Coriandrum sativum* L.) under different light intensities of red and blue lights. **Sci Rep.**, [London] 12 , 21139, 2022.

LIN, HH.; LIN, KH.; YANG, M.J. Respostas fisiológicas e propriedades antioxidantes de plantas de coentro (*Coriandrum sativum* L.) sob diferentes intensidades luminosas de luz vermelha e azul. **Sci Rep.**, [London]12 , 21139, 2022.

LISCUM, E.; ASKINOSIE, S.K.; LEUCHTMAN, D.L.; MORROW, J.; WILLENBURG, K.T.; COATS, D.R. Phototropism: growing towards an understanding of plant movement. **Plant Cell.**, [Rockville] 26(1), 38-55, 2014.

LIU, K.; GAO, M.; JIANG, H.; OU, S.; LI, X.; HE, R.; LI, Y.; LIU, H. Light Intensity and Photoperiod Affect Growth and Nutritional Quality of Brassica Microgreens. **Molecules**, [Basel] 27: 3, 1-19, 2022.

LIU, W.G.; HUSSAIN, S.; TING, L.; ZOU, J.; REN, M.; TAO, Z.; JIANG, L.; FENG, Y.; YANG, W.Y. Shade stress decreases stem strength of soybean through restraining lignin biosynthesis. **Journal of Integrative Agriculture**, [Pequim] 18, 43–53, 2019.

LIU, Z.; SHI, J.; WAN, J.; PHAM, Q.; ZHANG, Z.; SUN, J.; YU, L.; LUO, Y.; WANG, T.T.; CHEN, P. Profiling of Polyphenols and Glucosinolates in Kale and Broccoli Microverdes Grown under Chamber and Windowsill Conditions by Ultrahigh-Performance Liquid Chromatography High-Resolution Mass Spectrometry. **ACS Food Sci. Technol.**, [Washington] 2, 101-113, 2021.

LLORENTE, B.; MARTINEZ-GARCIA, J.F.; STANGE, C.; RODRIGUEZ-CONCEPCION, M. Illuminating colors: regulation of carotenoid biosynthesis and accumulation by light. **Curr Opin Plant Biol.**, [Amsterdam] 37:49-55, 2017.

LOBIUC, A.; VASILACHE, V.; PINTILIE, O.; STOLERU, T.; BURDUCEA, M.; OROIAN, M. Blue and Red LED Illumination Improves Growth and Bioactive Compounds Contents in Acanthaceae and Cyaniaceae *Ocimum basilicum* L. **Molecules**, [Basel] 22: 2111, 1-14, 2017.

- LOCONSOLE, D.; COCETTA, G.; SANTORO, P.; FERRANTE, A. Evaluation of Romaine Lettuce Grown in An Innovative Indoor Cultivation System. **Sustainability**, [Basel] 1-16, 2019.
- LÓPEZ-ARREDONDO, D.L.; LEYVA-GONZÁLEZ, M.A.; GONZÁLEZ-MORALES S.I.; LÓPEZ-BUCIO, J.; HERRERA-ESTRELLA, L. Phosphate nutrition: improving low-phosphate tolerance in crops. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, [Rockville] 65 95–123, 2014.
- LUCCIONI, L.G.; OLIVERIO, K.A.; YANOVSKY, M.J.; BOCCALANDRO, H.E.; CASAL, J.J. Brassinosteroid mutants uncover fine tuning of phytochrome signaling. **Plant Physiol.**, [Rockville] 128(1), 173-81, 2002.
- MANDAL, S.; MANDAL, M. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil: Chemistry and biological activity. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, [Amsterdam] 5, 421–428, 2015.
- MARCHIONI, I.; MARTINELLI, M.; ASCRIZZI, R.; GABBRIELLI, C.; FLAMINI, G.; PISTELLI, L.; PISTELLI, L. Small Functional Foods: Comparative Phytochemical and Nutritional Analyses of Five Microverdes of the Brassicaceae Family. **Foods**, Basel, 10:427, 2021.
- MASSA, G.D.; KIM, H.; WHEELER, R.M.; MITCHELL, C.A. Plant productivity in response to LED lighting. **Hortscience**, [Alexandria] 43:1951–1956, 2008.
- MATTHEWS J. S. A.; VIALET-CHABRAND, S.; LAWSON, T. Role of blue and red light in stomatal dynamic behaviour. **J Exp Bot.**, [Oxford] 6;71 (7): 2253-2269, 2020.
- MAWPHLANG, O. I. L.; KHARSHIING, E. V. Photoreceptor mediated plant growth responses: Implications for photoreceptor engineering toward improved performance in crops. **Front. Plant Sci.** [Lausanne] 8, 1–14, 2017.
- MEDEIROS, M. A.; RESENDE, F. V.; TOGNI, P. H. B.; SUJII, E. R. **Efeito do consórcio cultural no manejo ecológico de insetos em tomateiro**. EMBRAPA Hortaliças: comunicado técnico 65, Brasília-DF, 2009, 10p.
- MENG, Q.; KELLY, N.; RUNKLE, E. S. Substituting green or far-red radiation for blue radiation induces shade avoidance and promotes growth in lettuce and kale. **Environ. Exp. Bot.**, [Amsterdam] 162, 383-391, 2019.
- MENG; Q.; BOLDT, J.; RUNKLE, E. S. Blue Radiation Interacts with Green Radiation to Influence Growth and Predominantly Controls Quality Attributes of Lettuce. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, [Alexandria] 145(2):75–87. 2020.
- MIAO, Y.; CHEN, Q.; QU, M.; GAO, L.; HOU, L. Blue light alleviates ‘red light syndrome’ by regulating chloroplast ultrastructure, photosynthetic traits and nutrient accumulation in cucumber plants. **Sci. Hortic.**, [Amsterdam] 257, 2019.
- MISHRA, T.; PANDEY, V. C. Restoration of red mud deposits by naturally growing vegetation. **Elsevier**, [Amsterdam] 409-424, 2017.
- MŁODZIŃSKA, E.; ZBOIŃSKA, M. Phosphate Uptake and Allocation - A Closer Look at *Arabidopsis thaliana* L. and *Oryza sativa* L. **Front Plant Sci.**, [Lausanne] 15;7:1198, 2016.

- MOAVEN, A.; PAHLEVANINEZHAD, H.; PAHLEVANINEZHAD, M.; PAHLEVANI, M. Uniform Illumination Using Single-Surface Lens through Wavefront Engineering. **Horticulturae**, [Basel] 8, 1019, 2022.
- MORARU, P. I.; RUSU, T.; MINTAS, O. S. Trial Protocol for Evaluating Platforms for Growing Microgreens in Hydroponic Conditions. **Foods**, [Basel] 11: 9, 1-16, 2022.
- MORIKAWA, T.; URAGUCHI, Y.; SANDA, S.; NAKAGAWA, S.; SAWAYAMA, S. Overexpression of DnaJ-Like Chaperone Enhances Carotenoid Synthesis in *Chlamydomonas reinhardtii*. **Appl Biochem Biotechnol.**, [Heidelberg] 184 (1):80-91, 2018.
- MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Anal Chim Acta.**, [Amsteram] 27:31–6, 1962.
- MUTHERT, L. W. F.; IZZO, L. G.; VAN ZANTEN, M.; ARONNE, G. Root Tropisms: Investigations on Earth and in Space to Unravel Plant Growth Direction. **Front Plant Sci.**, [Lausanne] 2020.
- NABADAWA, H.S.; MAKAWITA, A.; CHANDRAN, S.; GIBSON, K.; FRASER, A. Evaluating the Alignment and Quality of Microgreens Training Materials Available on the Internet: A Content Analysis. **Journal of Food Protection.**, [Des Moines] 86, 2022.
- NAZNIN, T.; LEFSRUD, M.; GRAVEL, V.; OBYEDUL, M. D.; AZAD, O. Blue Light added with Red LEDs Enhance Growth Characteristics, Pigments Content, and Antioxidant Capacity in Lettuce, Spinach, Kale, Basil, and Sweet Pepper in a Controlled Environment. **Plants**, [Basel] 8, 93; 1-12, 2019.
- NEFF, M.M.; VAN, VOLKENBURGH E. Light-Stimulated Cotyledon Expansion in Arabidopsis Seedlings (The Role of Phytochrome B). **Plant Physiol.**, [Rockville] 104(3), 1027-1032, 1994.
- NGUYEN, T.K.L.; CHO, K.M.; LEE, H.Y.; CHO, D.Y.; LEE, G.O.; JANG, S.N.; LEE, Y.; KIM, D.; SON, K.H. Effects of White LED Lighting with Specific Shorter Blue and/or Green Wavelength on the Growth and Quality of Two Lettuce Cultivars in a Vertical Farming System. **Agronomy**, Basel 11, 2021.
- NIROULA, A.; KHATRI, S.; TIMILSINA, R.; KHADKA D.; KHADKA, A.; OJHA, P. Profile of chlorophylls and carotenoids of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) microverdes. **J. Food Sci. Technol.**, [Mumbai] 56, 2758-2763, 2019.
- NITO, K.; KAJIYAMA, T.; UNTEN-KOBAYASHI, J.; FUJII, A.; MOCHIZUKI, N.; KAMBARA, H.; NAGATANI, A. Spatial Regulation of the Gene Expression Response to Shade in Arabidopsis Seedlings. **Plant Cell Physiol.**, [Tsukuba] 56:1306–1319, 2015.
- OLIVEIRA, F. J. B.; FERSON, S.; DYER, R. A. Collaborative decision support system framework for vertical farming business developments. **International Journal of Decision Support System Technology (IJDSST)**, [s. l.] 13(1), 34-66, 2021.
- ORLANDO, M.; TRIVELLINI, A.; INCROCCI, L.; FERRANTE, A.; MENSUALI, A. A inclusão de luz verde em um fundo de luz vermelha e azul afeta o crescimento e a qualidade funcional de espécies de microverdes vegetais e flores. **Horticulturae**, [Basel] 8, 217, 1-20, 2022.

ORUNA-CONCHA, M.J.; LIGNOU, S.; FEENEY, E.L.; BEEGAN, K.; KENNY, O.; HARBOURNE, N. Investigating the phytochemical, flavour and sensory attributes of mature and microgreen coriander (*Coriandrum sativum*). In *Flavour Science*; Siegmund, B., Leitner, E., Eds.; **Verlag der Technischen Universität Graz**: Graz, Austria, 163-166, 2018.

ÖZYAZICI, G. Influence of Organic and Inorganic Fertilizers on Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Agronomic Traits, Essential Oil and Components under Semi-Arid Climate. **Agronomy**, [Basel] 11, 1427, 2021.

PANNICO, A.; EL-NAKHEL, C.; GRAZIANI, G.; KYRIACOU, M.C.; GIORDANO, M.; SOTERIOU, G.A.; ZARRELLI, A.; RITIENI, A.; DE PASCALE, S.; ROUPHAEL, Y. Selenium biofortification impacts the nutritive value, polyphenolic content, and bioactive constitution of variable microverdes genotypes. **Antioxidants**, [Basel] 9, 272, 1-21, 2020.

PARADISO, R.; PROIETTI, S. Light-Quality Manipulation to Control Plant Growth and Photomorphogenesis in Greenhouse Horticulture: The State of the Art and the Opportunities of Modern LED Systems. **J. Plant Growth Regul.**, Heidelberg 41, 742-780, 2021.

PARASCHIVU, M.; COTUNA, O.; SĂRĂȚEANU, V.; CARMEN, D.; PĂUNESCU, R. Microgreens-current status, global market trends and forward statements. **Sci. Manag. Econ. Eng. Agric. Rural Dev**, [Bucaresti] 21:3, 633-639, 2021.

PAUCEK, I.; APPOLLONI, E.; PENNISI, G.; QUAINI, S.; GIANQUINTO, G.; ORSINI, F. LED Lighting Systems for Horticulture: Business Growth and Global Distribution. **Sustainability**, [Basel] 12, 7516, 1-19, 2020.

PENNISI, G.; SANYÉ-MENGUAL, E.; ORSINI, F.; CREPALDI, A.; NICOLA, S.; OCHOA, J.; FERNANDEZ, J.A.; GIANQUINTO, G. MODELLING. Environmental Burdens of Indoor-Grown Vegetables and Herbs as Affected by Red and Blue LED Lighting. **Sustainability**, [Basel] 11, 1-21, 2019.

PENNISI, G.; BLASIOLI, S.; CELLINI, A.; MAIA, L.; CREPALDI, A.; BRASCHI, I.; SPINELLI, F.; FERNANDEZ, J. A.; STANGHELLINI, C.; MARCELIS, L. F. M.; ORSINI, F.; GIANQUINTO, G. Unraveling the Role of Red: Blue LED Lights on Resource Use Efficiency and Nutritional Properties of Indoor Grown Sweet Basil. **Front. Plant Sci.**, [Lausanne] 1-14, 2019.

PEREIRA R.S.; MUNIZ, M.F.B.; NASCIMENTO, W.M. Aspectos relacionados à qualidade de sementes de coentro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.3, 703-706, 2005.

Pesquisa global de mercado de microverdes. 2022. Disponível em: <https://straitresearch.com/report/microgreens-market/toc>. Acesso em 05 de outubro de 2022.

PETROPOULOS, S.A.; EL-NAKHEL, C.; GRAZIANI, G.; KYRIACOU, M.C.; ROUPHAEL, Y. The Effects of Nutrient Solution Feeding Regime on Yield, Mineral Profile, and Phytochemical Composition of Spinach Microgreens. **Horticulturae**, [Basel] 7, 162, 1-14, 2019.

PIOVENE, C.; ORSINI, F.; BOSI, S.; SANOUBAR, R.; BREGOLA, V.; DINELLI, G.; GIANQUINTO, G. Optimal red: Blue ratio in led lighting for nutraceutical indoor horticulture. **Sci. Hortic**, [Amsterdam] 193, 202-208, 2015.

POIRIER, Y.; BUCHER, M. **Phosphate transport and homeostasis in Arabidopsis**. Arabidopsis Book [s. l.]1:e0024 10.1199. 2002.

PRITI, S. S.; KUKREJA, B.; MISHRA, G. P.; DIKSHIT, H. K.; SINGH, A.; ASKI, M.; KUMAR, A.; TAAK, Y.; STOB DAN, T.; DAS, S.; KUMAR, R. R.; YADAVA, D. K.; PRAVEEN, S.; KUMAR, S.; NAIR, R. M. Yield optimization, microbial load analysis, and sensory evaluation of mungbean (*Vigna radiata* L.), lentil (*Lens culinaris* subsp. *culinaris*), and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) microgreens grown under greenhouse conditions. **PLoS One**, [San Francisco] 17: 5, 1-17, 2022.

PROIETTI, S.; MOSCATELLO, S.; RICCIO, F.; DOWNEY, P.; BATTISTELLI, A. Continuous lighting promotes plant growth, light conversion efficiency, and nutritional quality of *Eruca vesicaria* (L.) Cav. in controlled environment with minor effects due to light quality. **Frontiers in Plant Science**, [Lausanne] 12, 1-13, 2020.

PUCCINELLI, M.; MAGGINI, R.; ANGELINI, L.; SANTIN, M.; LANDI, M.; TAVARINI, S.; CASTAGNA, A.; INCROCCI, L. Can Light Spectrum Composition Increase Growth and Nutritional Quality of *Linum usitatissimum* L. Sprouts and Microgreens? **Horticulturae**, [Basel] 8: 98, 1-17, 2022.

RAJAN, P.; LADA, R.R.; MACDONALD, M.T. Advancement in indoor vertical farming for microgreen production. **Am. J. Plant Sci.**, [Wuhan] 10, 1397-1408, 2019.

RASHIDI, A.; TEHRANIFAR, A.; SAMIEI, L. Modifying spectral distributions during the seedling stage influences the flowering and branching of *Petunia × hybrida*. **Scientia Horticulturae**, [Amsterdam] 309, 2023.

RATH, M.; CHALLA, K.R.; SARVEPALLI, K.; NATH, U. CINCINNATA-Like TCP Transcription Factors in Cell Growth - An Expanding Portfolio. **Front Plant Sci.**, [Lausanne] 22;13, 2022.

REDDY, A. N.; CHAURASIA, A. K.; SUTNGA, E. Assessment of Different Priming Methods on Germination and Quality Parameters of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.**, [s. l.] 9 (11): 3030-3038, 2020.

REHMAN, M.; ULLAH, S.; BAO, Y.; WANG, B.; PENG, D.; LIU, L. Light-emitting diodes: whether an efficient source of light for indoor plants. **Environ Sci Pollut Res Int.**, [Heidelberg] 24(32): 24743-24752, 2017.

RENGASAMY, N.; OTHMAN, R.Y.; CHE, H.S.; HARIKRISHNA, J.A. Artificial Lighting Photoperiod Manipulation Approach to Improve Productivity and Energy Use Efficacies of Plant Factory Cultivated *Stevia rebaudiana*. **Agronomy**, [Basel] 12, 1787, 2022.

RENNA, M.; STELLACCI, A. M.; CORBO, F.; SANTAMARIA, P. The Use of a Nutrient Quality Score is Effective to Assess the Overall Nutritional Value of Three Brassica Microgreens. **Foods**, Basel, 1226, 1-15, 2020.

RENNA, M.; PARADISO, V. M. Ongoing Research on Microgreens: Nutritional Properties, Shelf-Life, Sustainable Production, Innovative Growing and Processing Approaches. **Foods**, [Basel] 9, 826; 1-5, 2020.

ROMERO, E. Surviving on low-energy light comes at a price. **Elife**, [Cambridge] 2:11, 1-3, 2022.

ROMERO, F. R.; DELATE, K.; HANNAPEL, D. J. The effect of seed source, light during germination, and cold-moist stratification on seed germination in three species of Echinacea for organic production. **HortScience**, [Alexandria] 40 (6):1751-1754, 2005.

RUIZ-CAPILLAS, C.; HERRERO, A.M. Sensory Analysis and Consumer Research in New Product Development. **Foods**, Basel, 10;10(3):582. 2021.

SAKAI, T.; KAGAWA, T.; KASAHARA, M.; SWARTZ, T.E.; CHRISTIE, J.M.; BRIGGS, W.R.; WADA, M.; OKADA, K. Arabidopsis nph1 and npl1: blue-light receptors that mediate both phototropism and chloroplast relocation. **Proc. Natl Acad. Sci. USA**, [Washington] 98, 6969–6974, 2001.

SALAVOR, O. Environmental sustainability issues for Eastern European food production. **En Nutritional and Health Aspects of Traditional and Ethnic Foods of Eastern Europe**. Elsevier, [Amsterdam] 233- 249, 2022.

SAMUOLIENĖ, G.; BRAZAITYTE, A.; JANKAUSKIENE, J.; VIRŠILE, A.; SIRTAUTAS, R.; NOVIČKOVAS, A.; SAKALAIUSKIENE, S.; SAKALAIUSKAITE, J.; DUCHOVSKIS, P. LED irradiance level affects growth and nutritional quality of Brassica microgreens. **Open Life Sci.**, [Varsóvia] 8 :1241-1249, 2013.

SAMUOLIENE, G.; BRAZAITYTĖ, A.; VIRŠILĖ, A.; MILIAUSKIENĖ, J.; VAŠTAKAITĖ-KAIRIENĖ, V.; DUCHOVSKIS, P. Nutrient Levels in Brassicaceae Microverdes Increase Under Tailored LightEmitting Diode Spectra. **Frontiers in Plant Science**, [Lausanne] 1-9, 2019.

SANG. W.; HEONJIN, H.; WOOJIN, Y.; JUN, H.J.; BOYEONG, K.; DA, H.S.; JIWON, S.; KI, T.N. Light polarization dependency existing in the biological photosystem and possible implications for artificial antenna systems. **Photosynthesis Research.**, [Heidelberg] 143:205–220, 2020.

SANTIN, M.; RANIERI, A.; CASTAGNA, A. Anything New under the Sun? An Update on Modulation of Bioactive Compounds by Different Wavelengths in Agricultural Plants **Plants**, [Basel] 1-38, 2021.

SANTOSO, J.; HADI, S.; AGRICIA, W. “The Study of Color Spectrum Curs Value Against Sunlight Color and Artificial Light for Plant Growth.” **Nusantara Science and Technology Proceedings**, [Yogyakarta] 11-22, 2020.

SAS INSTITUTE. **Statistical Analysis System**, User's Guide. Statistical. Version 9.1th ed. SAS. Inst. Inc. Cary. N.C. USA. 2012.

SASSI, M.; LU, Y.; ZHANG, Y.; WANG, J.; DHONUKSHE, P.; BLILOU I., DAI, M.; LI, J.; GONG, X.; JAILLAIS, Y.; YU, X.; TRAAS, J.; RUBERTI, I.; WANG. H.; SCHERES, B.; VERNOUX, T.; XU, J. COP1 mediates the coordination of root and shoot growth by light through modulation of PIN1- and PIN2-dependent auxin transport in Arabidopsis. **Development**, [Cambridge] 139 (18), 3402-3412, 2012.

SELUZICKI, A.; BURKO, Y.; CHORY, J. Dancing in the dark: darkness as a signal in plants, **Plant Cell Environ**, [Hoboken] vol. 40, 2017, p. 2487.

SEMENOVA, N.A.; SMIRNOV, A.A.; DOROKHOV, A.S.; PROSHKIN, Y.A.; IVANITSKIKH, A.S.; CHILINGARYAN, N.O.; DOROKHOV, A.A.; YANYKIN, D.V.; GUDKOV, S.V.; IZMAILOV, A.Y. Evaluation of the Effectiveness of Different LED Irradiators When Growing Red Mustard (*Brassica juncea* L.) in Indoor Farming. **Energies**, [Basel] 15, 8076, 2022.

SHAFIQ, I.; HUSSAIN, S.; RAZA, M.A.; IQBAL, N.; ASGHAR, M.A.; RAZA, A.; FAN, Y.-F.; MUMTAZ, M.; SHOAI, M.; ANSAR, M.; MANAF, A.; YANG, W.; YANG, F. Crop photosynthetic response to light quality and light intensity. **J. Integr. Agric.**, [Pequim] 20, 4-23, 2021.

SHARATHKUMAR, M.; HEUVELINK, E.; MARCELIS, L. F. M. Vertical Farming: Moving from Genetic to Environmental Modification. **Trends Plant Sci.**, [Cambridge] 25 (8):724-727, 2020.

SHELFORD, T.J.; BOTH, A.J. On the technical performance characteristics of horticultural lamps. **Agri Engineering**, [Campina Grande] 3, 716-727, 2021.

SHIBAEVA, T.G.; SHERUDILO, E.G.; RUBAEVA, A.A.; TITOV, A.F. Continuous LED Lighting Enhances Yield and Nutritional Value of Four Genotypes of Brassicaceae Microverdes. **Plants**, [Basel] 11, 176, 1-14, 2022.

SHOKO, T.; MANHIVI, V. E.; MTLHAKO, M.; SIVAKUMAR, D. Changes in Functional Compounds, Volatiles, and Antioxidant Properties of Culinary Herb Coriander Leaves (*Coriandrum sativum*) Stored Under Red and Blue LED Light for Different Storage Times. **Front Nutr.**, [Lausanne] Volume 9, 1-14p, 2022.

SILVA, J. M. F.; PINTO, A. A.; SANTANA, L. D.; RODRIGUES, W. A. D.; CAMARA, F. T. Produtividade do coentro Verdão em função das regulagens de uma semeadora manual. **Enciclopédia Biosfera**, [Palmas] 13: 24, 847-854, 2016.

SIPOS, L.; BOROS, I.F.; CSAMBALIK, L.; SZÉKELY, G.; JUNG, A.; BALÁZS, L. Horticultural lighting system optimalization: A review. **Sci. Hortic.**, [Amsterdam] 273, 29-43, 2020.

SNOWDEN, M. C.; COPE, K. R.; BUGBEE, B. Sensitivity of seven diverse species to blue and green light: interactions with photon flux. **PLoS One**, [San Francisco] 11 1-32, 2016.

SOBHANI, Z.; MOHTASHAMI, L.; AMIRI, M. S.; RAMEZANI, M.; EMAMI, S. A.; SIMAL-GANDARA, J. Ethnobotanical and phytochemical aspects of the edible herb *Coriandrum sativum* L. **J Food Sci.**, [Chicago] 87(4):1386-1422, 2022.

SOLANO, C. J.; HERNÁNDEZ, J. A.; SUARDÍAZ, J.; BARBA-ESPÍN, G. Impacts of LEDs in the Red Spectrum on the Germination, Early Seedling Growth and Antioxidant Metabolism of Pea (*Pisum sativum* L.) and Melon (*Cucumis melo* L.). **Agriculture**, [Basel] 1-11, 2020.

SON, K.H.; OH, M.M. Growth, photosynthetic and antioxidant parameters of two lettuce cultivars as affected by red, green, and blue light-emitting diodes. **Hortic. Environ. Biotechnol.**, [Heidelberg] 56, 639-653, 2015.

SONG, B.; XU, H.; CHEN, L.; FAN, X.; JING, Z.; CHEN, S.; XU, Z. Study of the Relationship between Leaf Color Formation and Anthocyanin Metabolism among Different Purple Pakchoi Lines. **Molecules**, [Basel] 19; 25 (20):4809, 1-13, 2020.

STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices**. 3.ed. New York: academic press, 2004, 408p.

STOYNOVA-BAKALOVA, E.; KARANOV, E.; PETROV, P.I.; HALL, M.A. Cell division and cell expansion in cotyledons of arabidopsis seedlings. **New Phytologist**, [London] 162(2):471–479, 2004.

SU, J.; LIU, B.; LIAO, J.; YANG, Z.; LIN, C.; OKA, Y. Coordination of Cryptochrome and Phytochrome Signals in the Regulation of Plant Light Responses. **Agronomy**, [Basel] 7, 25, 2017.

SU, L.; HOU, P.; SONG, M.; ZHENG, X.; GUO, L.; XIAO, Y.; YAN, L.; LI, W.; YANG, J. Synergistic and Antagonistic Action of Phytochrome (Phy) A and PhyB during Seedling De-etiolation in *Arabidopsis thaliana*. **Int J Mol Sci.**, Basel 28;16(6):12, 199-212, 2015.

SUZUKI, H.; KOSHIBA, T.; FUJITA, C.; YAMAUCHI, W.; KIMURA, T.; ISOBE, T.; SAKAI, T.; TAOKA, M.; OKAMOTO, T. Low-fluence blue light-induced phosphorylation of Zmphot1 mediates the first positive phototropism. **Journal of Experimental Botany**, [Oxford] 70 (20), 5929-5941, 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E; MOLLER, IM; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 888p. 2017.

TALAT, F.; JAMSHIDIAN, Z. Effects of Seed Priming on Morphological and Phonological Characteristics of the Coriander (*Coriandrum sativum* L.). **Advances in Plants & Agriculture Research**, [s. l.] 7, 2017.

TAN, L.; NUFFER, H.; FENG, J.; HANGKWAN, S.; CHEN, H.; TONG, X.; KONG, L. Antioxidant properties and sensory evaluation of microgreens from commercial and local farms. **Food Science and Human Wellness**, [Amsterdam] 9, 45-51, 2020.

TAULAVUORI, K.; PYYSALO, A.; TAULAVUORI, E.; JULKUNEN-TIITTO, R. Responses of phenolic acid and flavonoid synthesis to blue and blue-violet light depends on plant species. **Environ. Exp. Bot.**, [Oxford] 150, 183-187, 2018.

TEIXEIRA, P. A. Manual de métodos de análise de solo 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 574, 2017.

TEIXEIRA, R.T. Distinct Responses to Light in Plants. **Plants**, [Basel] 9, 894, 2020.

TERASHIMA, I.; FUJITA, T.; INOUE, T.; CHOW, W.S.; OGUCHI, R. Green Light Drives Leaf Photosynthesis More Efficiently than Red Light in Strong White Light: Revisiting the Enigmatic Question of Why Leaves are Green. **Plant Cell Physiol.**, [Oxford] 50, 684–697, 2009.

THOMA, F.; SOMBORN-SCHULZ, A.; SCHLEHUBER, D.; KEUTER, V.; DEERBERG, G. Effects of Light on Secondary Metabolites in Selected Leafy Greens: A Review. **Front Plant Sci.**, [Lausanne] 1-15, 2020.

- TOPOLSKA, K.; FLORKIEWICZ, A.; FILIPIAK-FLORKIEWICZ, A. Functional Food-Consumer Motivations and Expectations. **Int J Environ Res Public Health**, [Basel] 8: 10, 1-14, 2021.
- TOSCANO, S.; CAVALLARO, V.; FERRANTE, A.; ROMANO, D.; PATANÉ, C. Effects of Different Light Spectra on Final Biomass Production and Nutritional Quality of Two Microverdes. **Plants**, Basel. 31;10(8):1584, 2021.
- TREADWELL, D.D.; HOCHMUTH, R.; LANDRUM, L.; LAUGHLIN, W. Microgreens: A new specialty crop. **IFAS Ext.**, [Gainesville] HS1164, 2020.
- TSUCHIDA-MAYAMA, T.; SAKAI, T.; HANADA, A.; UEHARA, Y.; ASAMI, T.; YAMAGUCHI, S. Role of the phytochrome and cryptochrome signaling pathways in hypocotyl phototropism. **Plant J.**, [Hoboken] 1;62(4):6, 53-62, 2010.
- TURNER, E.R.; LUO, Y.; BUCHANAN, R.L. Microgreen nutrition, food safety, and shelf life: A review. **J. Food Sci.**, [Chicago] 85, 870–882, 2020.
- VALLADARES, F.; NIINEMETS, Ü. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, [Palo Alto] 39, 237–257, 2008.
- VAN GELDEREN, K.; KANG, C.; PIERIK, R. Light signaling, root development, and plasticity. **Plant Physiol.**, [Rockville] 176 (2), 1049-1060, 2018.
- VAŠTAKAITĖ-KAIRIENĖ, V.; BRAZAITYTĖ, A.; MILIAUSKIENĖ, J.; SUTULIENĖ, R.; LAUŽIKĖ, K.; VIRŠILĖ, A.; SAMUOLIENĖ, G.; RUNKLE, E.S. Photon Distribution of Sole-Source Lighting Affects the Mineral Nutrient Content of Microgreens. **Agriculture**, [Basel] 12, 1-14, 2022.
- VENTILADOR, X.X.; ZANG, J.; XU, ZG; GUO, SR; JIAO, XL; LIU, XY; GAO, Y. Efeitos de diferentes qualidades de luz no crescimento, concentração de clorofila e precursores da biossíntese de clorofila de couve-chinesa (*Brassica campestris* L.). **Acta Physiol.**, [New Jersey] 35 , 2721–2726, 2013.
- VETCHINNIKOV, A. A.; FILATOV, D. A.; OLONINA, S. I.; KAZAKOV, A. V.; OLONIN, Y. I. Influence of the radiation intensity of LED light sources of the red-blue spectrum on the yield and energy consumption of microgreens. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, [Reino Unido] 723, 1-7, 2021.
- VOON, C.P.; GUAN, X.; SUN, Y.; SAHU, A.; CHAN, M.N.; GARDESTRÖM, P.; WAGNER, S.; FUCHS, P.; NIETZEL, T.; VERSAW, W.K. ATP compartmentation in plastids and cytosol of *Arabidopsis thaliana* revealed by fluorescent protein sensing. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA.**, [Washington] 115:10778–10787, 2018.
- WAIRICH, A.; DE CONTI, L.; LAMB, T.I.; KEIL, R.; NEVES, L.O.; BRUNETTO, G.; SPEROTTO, R.A.; RICACHENEVSKY, F.K. Throwing Copper Around: How Plants Control Uptake, Distribution, and Accumulation of Copper. **Agronomy**, Basel 12, 994, 2022.
- WANG, X.; GAO, X.; LIU, Y.; FAN, S.; MA, Q. Progress of Research on the Regulatory Pathway of the Plant Shade-Avoidance Syndrome. **Front Plant Sci.**, [Lausanne] 15;11:439. 2020.

WARNER, R.; WU, B. S.; MACPHERSON, S.; LEFSRUD, M. How the Distribution of Photon Delivery Impacts Crops in Indoor Plant Environments: A Review. **Sustainability**, [Basel] 15, 4645, 1-14, 2023.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, [Amsterdam] 144, 307-314, 1994.

WHIPPO, C. W.; HANGARTER, R. P. Phytochrome modulation of blue-light-induced phototropism. **Plant Cell Environ.**, [Hoboken] 27:1223-1228, 2004.

WIECZOREK, D., ŻYSZKA-HABERECHE, B., KAFKA, A.; LIPOK, J. Determination of phosphorus compounds in plant tissues: from colourimetry to advanced instrumental analytical chemistry. **Plant Methods**, [Heidelberg] 18, 22, 2022.

WIETH, A.R.; PINHEIRO, W.D.; DA SILVA DUARTE, T. Purple Cabbage Microverdes Grown in Different Substrates and Nutritive Solution Concentrations. **Rev. Caatinga**, [Fortaleza] 32(4), 976-986, 2019.

WIT, M.; GEORGE, G. M.; INCE, Y. Ç.; DANKWA-EGLI, B.; HERSCH, M.; ZEEMAN, S. C.; FANKHAUSER, C. Changes in resource partitioning between and within organs support growth adjustment to neighbor proximity in Brassicaceae seedlings. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [Washington] 115, 9953-9961, 2018.

WYPYCH, G. (Editor). **Handbook of UV Degradation and Stabilization**. In Handbook of UV Degradation and Stabilization (Second Edition). ChemTec Publishing, [s. l.] 430, 2015. XIAO, Z.; LESTER, G. E.; LUO, Y.; WANG, Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microverdes. **J Agric Food Chem**, [Washington] 7644-7651, 2012.

XIAO, Z.; LESTER, G. E.; PARK, E.; SAFTNER, R. A.; LUO, Y.; WANG, Q. Evaluation and attraction of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh products: Microgreens. *Biol pós-colheita*. **Tecnol**, [s. l.] 110, 140-148, 2015.

XIN, G.; LI, L.; WANG, P.; LI, X.; HAN, Y.; ZHAO, X. The action of enhancing weak light capture via phototropic growth and chloroplast movement in plants. **Stress Biology**, [s. l.] 1-16, 2022.

YAN, Z.; WANG, L.; DAI, J.; LIU, Y.; LIN, D.; YANG, Y. Morphological and physiological responses of cucumber seedlings to different combinations of light intensity and photoperiod with the same daily light integral. **HortScience**, [Alexandria] 56, 1430-1438, 2021.

YANG, D.; SEATON, D.D.; KRAHMER, J.; HALLIDAY, K.J. Photoreceptor effects on plant biomass, resource allocation, and metabolic state. **Proc Natl Acad Sci USA**. [Washington] 5;113(27):76,67-72, 2016.

YANG, N.; ZHANG, Y.; LIU, J.; LIU, Y.; CHEN, Q.; WANG, H.; GUO, X.; HERPPICH, H. B.; TANG, Z. Network during light-induced cotyledons opening and greening in *Astragalus membranaceus*. **Journal of Plant Interactions**, [Abingdon] 15:1, 358-370, 2020.

YASUMURA, Y.; HIKOSAKA, K.; HIROSE, T. Nitrogen resorption and protein degradation during leaf senescence in *Chenopodium album* grown in different light and nitrogen conditions. **Funct. Plant Biol.**, [Clayton] 34, 409–417, 2007.

YEARGIN, T.; A.; LIN, Z.; PRADO, I.; SIRSAT, S. A.; GIBSON, K. E. Consumer practices and perceptions regarding the purchasing and handling of microgreens in the United States. **Food Control**, [Amsterdam] 145, 2023.

YING, Q.; KONG, Y.; JONES-BAUMGARDT, C.; ZHENG, Y. Responses of yield and appearance quality of four Brassicaceae microgreens varied blue light proportion in red and blue light-emitting diodes lighting. **Scientia Horticulturae**, [Amsterdam] 1-8, 2020.

YING, Q.; KONG, Y.; ZHENG, Y. Applying Blue Light Alone, or in Combination with Far-red Light, during Nighttime Increases Elongation without Compromising Yield and Quality of Indoor-grown Microgreens. **HortScience horts**, [Alexandria] 55(6), 876-881, 2020.

YU, Z.; MA, J.; ZHANG, M.; LI, X.; SUN, Y.; ZHANG, M.; DING, Z. Auxin promotes hypocotyl elongation by enhancing BZR1 nuclear accumulation in *Arabidopsis*. **Sci Adv.**, [Washington] 4;9(1), 2023.

ZANZINI, A. P.; OLIVEIRA, J. A. C.; COUTINHO, G. S. M.; ARAÚJO, A. B. S.; BARROS, H. E. A.; ABREU, D. J. M.; VILAS BOAS, E. V. B.; CARVALHO, E. E. N. Bioactive compounds present in kale (*Brassica oleracea* L.) at three stages of development and comparison of their antioxidant capacities. **Research, Society and Development**, [Minas Gerais] 1-17, 2020.

ZHANG, W.; WU, L.; DING, Y.; FEI, W.; WU, X.; LI, G.; LIU, Z.; SHE, T.; DINNG, C.; WANG S. Top-dressing nitrogen fertilizer rate contributes to decrease culm physical strength by reducing structural carbohydrate content in japonica rice. **Journal of Integrative Agriculture**, [Basel] 15, 992–1004, 2016.

ZHANG, X.; BIAN, Z.; YUAN, X.; CHEN, X.; LU, C. A review on the effects of light-emitting diode (LED) light on the nutrients of sprouts and microverdes. **Trends in Food Science & Technology**, [Amsterdam] 1- 61, 2020.

ZHANG, Y.; XIAO, Z.; AGER, E.; KONG, L.; TAN, L. Nutritional Quality and Health Benefits of Microgreens, a Crop of Modern Agriculture. **J. Future Foods.**, [s. l.] 1, 58–6, 2021.

ZHENG, L.; VAN, LABEKE, M.C. Long-Term Effects of Red- and Blue-Light Emitting Diodes on Leaf Anatomy and Photosynthetic Efficiency of Three Ornamental Pot Plants. **Front Plant Sci.**, [Lausanne] 30;8:917, 2017.

ZONG, Q.; KAI, W.; FEI, C.; XIAOBING, L.; SHENG, L. Uniform lighting condition analysis generated by an array of LIGHT ETs with a wide angle of view. **Opt. Expresso**. [Washington] 18, 60-76, 2010.