

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

**CARACTERÍSTICAS DA LUZ SOBRE A PRODUTIVIDADE E
VALOR NUTRICIONAL DE RÚCULA-MICROVEGETAL EM
CULTIVO *INDOOR***

**Franciele Quintino Mendes
Engenheira Agrônoma**

2023

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

**CARACTERÍSTICAS DA LUZ SOBRE A PRODUTIVIDADE E
VALOR NUTRICIONAL DE RÚCULA-MICROVEGETAL EM
CULTIVO *INDOOR***

**Discente: Eng. Agr. Franciele Quintino Mendes
Orientador: Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho
Coorientadores: Prof. Dr. Luis Felipe Villani Purquerio
Prof. Dr. Rogério Falleiros Carvalho**

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como
parte das exigências para a obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Produção Vegetal)**

2023

M538c Mendes, Franciele Quintino
Características da luz sobre a produtividade e valor nutricional de
rúcula-microvegetal em cultivo indoor / Franciele Quintino Mendes. --
Jaboticabal, 2013
48 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Arthur Bernardes Cecilio Filho
Coorientador: Luis Felipe Villani Purquerio; Rogério Falleiros
Carvalho

1. Agricultura. 2. Fisiologia vegetal. 3. Hortaliças. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: CARACTERÍSTICAS DA LUZ SOBRE A PRODUTIVIDADE E VALOR NUTRICIONAL DE RÚCULA-MICROVEGETAL EM CULTIVO INDOOR

AUTORA: FRANCIELE QUINTINO MENDES
ORIENTADOR: ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO
COORIENTADOR: LUIS FELIPE VILLANI PURQUERIO
COORIENTADOR: ROGÉRIO FALLEIROS CARVALHO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia (Produção Vegetal), pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO
Data: 20/11/2023 17:52:05-0300
Verifique em <https://validar.jd.gov.br>

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

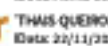
Documento assinado digitalmente
 FREDERICO ROCHA RODRIGUES ALVES
Data: 20/11/2023 17:58:24-0300
Verifique em <https://validar.jd.gov.br>

Prof. Dr. FREDERICO ROCHA RODRIGUES ALVES (Participação Virtual)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB) / João Pessoa/PB

Profa. Dra. THAIS QUEIROZ ZORZETO CESAR (Participação Virtual)
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) / Campinas/SF

Documento assinado digitalmente
 FERNANDO CESAR SALA
Data: 22/11/2023 18:28:00-0300
Verifique em <https://validar.jd.gov.br>

Prof. Dr. FERNANDO CESAR SALA (Participação Virtual)
Departamento Biotecnologia e Produção Vegetal e Animal / Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR) - Araras/SP

Documento assinado digitalmente
 THAIS QUEIROZ ZORZETO CESAR
Data: 22/11/2023 18:12:04-0300
Verifique em <https://validar.jd.gov.br>

Profa. Dra. SUSANA CARVALHO (Participação Virtual)
Universidade do Porto / Porto/Portugal



Jaboticabal, 20 de novembro de 2023

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

FRANCIELE QUINTINO MENDES - Nascida em Barrinha, São Paulo, Brasil. Em 2016, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Câmpus Jaboticabal. Durante a graduação realizou 4 anos de iniciação científica e obteve 2 bolsas FAPESP. Em março de 2019, concluiu o Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Microbiologia agropecuária, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Câmpus Jaboticabal, sob a orientação da Profa. Dra. Márcia Justino Rossini Mutton.. Em 2023, graduou-se em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Unimais. Em março de 2020 ingressou no Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Câmpus Jaboticabal, sob a orientação do Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho e coorientação do Prof. Dr. Rogério Falleiros Carvalho e Luis Felipe Villani Purquerio.

Quando é negado a um homem o direito de viver a vida que acredita, ele não tem escolha, a não ser se tornar um fora da lei.

Nelson Mandela

À minha família pelo apoio incondicional em todas as etapas deste trabalho. Especialmente ao meu avô João Quintino (in memoriam) e a minha tia Roseni Quintino (in memoriam), que sempre foram exemplos de força, dedicação, amor e paciência e jamais serão esquecidos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Guilhermina do Carmo Quintino e a minha avó Lucia pelo apoio, amor, compressão e confiança, por me ensinar o valor do esforço e trabalho. A toda minha família, em especial aos meus tios Maria Da Gloria e Ivair de Sousa pelo amor, carinho e ensinamentos.

A meu orientador Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, pelo, incentivo, empenho pessoal e orientação, que tanto contribuíram para a minha formação profissional. Aos meus coorientadores, Prof. Dr. Rogério Falleiros Carvalho e Prof. Dr. Luis Felipe Villani Purquerio, pelo apoio e atenção.

Aos amigos do grupo de pesquisa em nutrição e adubação de hortaliças, Camila Seno, Carolina Seno, Danilo Passos, Breno Pereira, Beliza Queiroz, Julia das Mercês, Isaías Reis, Paulo Henrique Soares, Maria José e Laura Ribeira, pelas experiências compartilhadas e momentos de descontração. Ao colega de trabalho Reginaldo de Oliveira pela ajuda e parceria.

A minhas amigas, Rafaela Sanguinette, Mariana Miranda e Thainá Botelho pela valiosa amizade e apoio ao longo da vida.

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

A Soninha funcionária do Departamento de biologia, pela atenção e assistência.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iii
Palavras-chave.....	iii
ABSTRACT	iv
KEYWORDS	iv
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1.1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 REVISÃO DE LITERATURA	2
1.2.1 Microvegetais.....	2
1.2.2 Rúcula.....	4
1.2.3 Sistema de cultivo indoor.....	5
1.2.4 Iluminação.....	6
1.3 REFERÊNCIAS.....	8
 CAPÍTULO 2 - INTENSIDADES DE LUZ BRANCA PARA MÁXIMOS DE PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA RÚCULA-MICROVEGETAL.....	 14
RESUMO	14
Palavras-chave.....	14
2.1 INTRODUÇÃO.....	15
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	17
2.2.1 Local experimental e tratamentos.....	17
2.2.2 Instalação e condução dos experimentos.....	18
2.2.3 Avaliações realizadas.....	19
2.2.4 Análise estatística	19
2.3 RESULTADOS.....	20
2.4 DISCUSSÃO.....	24
2.5 CONCLUSÃO.....	27
2.6 REFERÊNCIAS.....	28
 CAPÍTULO 3 - PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE RÚCULA-MICROVEGETAL SOB INTENSIDADE E TEMPO DE LUZ AZUL	 32
RESUMO.....	32

Palavras-chave.....	32
3.1 INTRODUÇÃO.....	32
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	35
3.2.1 Local experimental e tratamentos.....	35
3.2.2 Instalação e condução dos experimentos.....	36
3.2.3 Avaliações realizadas.....	37
3.2.4 Análise estatística	37
3.3 RESULTADOS.....	38
3.4 DISCUSSÃO.....	44
3.5 CONCLUSÃO.....	45
3.6 REFERÊNCIAS.....	46

CARACTERÍSTICAS DA LUZ SOBRE A PRODUTIVIDADE E VALOR NUTRICIONAL DE RÚCULA- MICROVEGETAL EM CULTIVO *INDOOR*

RESUMO - O cultivo indoor propicia maior controle e eficiência dos fatores de produção. Entre eles, a possibilidade de adequar a luz à cada espécie possibilita estimular processos fisiológicos e bioquímicos, maximizando a produtividade e qualidade do alimento produzido. Há carência de informações sobre luz branca e adicional de luz azul à branca no cultivo de rúcula-microvegetal. O experimento I avaliou o fluxo de fótons fotossintéticos (FFF) de LED branca (100, 200, 300, 400, 500 e 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em rúcula microvegetal objetivando obter o FFF que proporcionasse a maior produtividade e melhor qualidade. O experimento II objetivou conhecer o impacto da intensidade (5 e 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e tempo de exposição (1 e 2 horas por dia) a luz azul suplementar na produtividade e qualidade de rúcula microvegetal em cultivo *indoor*. A maior produtividade de rúcula microvegetal foi obtida com 358 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Os maiores teores nitrogênio, fósforo, cálcio, enxofre e zinco foram obtidos com 380, 285, 326, 294 e 317 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente; enquanto máximo teor de Fe foi obtido na menor intensidade luminosa. De maneira geral a qualidade da rúcula microvegetal foi incrementada com maior FFF. Os teores de clorofilas, carotenoides, compostos fenólicos e proteção antioxidante tiveram valores máximos com 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e a vitamina C com 458 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A produtividade de rúcula microvegetal foi afetada negativamente pela luz azul. Os teores de nutrientes, não diferiram entre os tratamentos estudados, exceto para os teores de nitrogênio, onde o tratamento que recebeu 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de luz azul por uma hora, foi menor que os demais e para o teor de fósforo, onde o tratamento que recebeu 5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de luz azul por uma hora foi significativamente menor que as demais, a qualidade da rúcula microvegetal foi incrementada com o aumento da intensidade de luz azul e com o aumento do tempo de exposição. Os teores de clorofilas, carotenoides, vitamina C, proteção antioxidante e compostos fenólicos tiveram valores máximos com 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de luz azul e 2 horas de tratamento.

Palavras chaves: Adicional de luz azul; Cultivo indoor; *Eruca sativa*; Fluxo de fótons fotossinteticamente ativos; Qualidade da luz; Valor nutracêutico.

CHARACTERÍSTICS OF THE LIGHT ON PRODUCTIVITY AND NUTRITIONAL VALUE OF MICROGREEN ARUGULA IN *INDOOR* SYSTEM

ABSTRACT – Indoor cultivation provides greater control and efficiency of production factors. Among them, the possibility of adapting the light to each species makes it possible to stimulate physiological and biochemical processes, maximizing the productivity and quality of the food produced. There is a lack of information about white light and additional blue to white light in arugula-microgreens cultivation. Experiment I evaluated the photosynthetic photon flux (FFF) of white LED (100, 200, 300, 400, 500 and 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) in microgreens arugula, aiming to obtain the FFF that would provide the highest productivity and best quality. Experiment II aimed to understand the impact of intensity (5 and 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and exposure time (1 and 2 hours per day) of blue light on the productivity and quality of microgreens arugula in indoor cultivation. The highest productivity of microgreens arugula was obtained with 358 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The highest nitrogen, phosphorus, calcium, sulfur and zinc contents were obtained with 380, 285, 326, 294 and 317 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectively; while maximum Fe content was obtained at the lowest light intensity. The quality of microgreens arugula was increased with higher FFF. The levels of chlorophylls, carotenoids, phenolic compounds and antioxidant protection had maximum values at 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and vitamin C at 458 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Microgreens arugula productivity was negatively affected by blue light. Nutrient contents did not differ between the treatments studied, except for nitrogen content, where the treatment that received 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of blue light for one hour was lower than the others, and for phosphorus content, where the treatment that received 5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of blue light for one hour was significantly lower than the others, the quality of the microgreens arugula was increased with the increase in blue light intensity and with the increase in exposure time. The levels of chlorophylls, carotenoids, vitamin C, antioxidant protection and phenolic compounds had maximum values with 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ of blue light and 2 hours of treatment.

Keywords: Additional blue light; Indoor cultivation; *Eruca sativa*; Photosynthetically active photon flux; Quality of light; Nutraceutical value.

CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

1.1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a ingestão de hortaliças e frutas é pequena e está a baixo de 400 g per capita/dia, que é o mínimo recomendado pela Food and Agriculture Organization (2016) para a manutenção da saúde e prevenção de enfermidades crônicas como cânceres, doenças cardíacas, diabete e obesidade, além de suprir a necessidade de nutrientes (Purquerio et al. 2018). Os microvegetais podem estimular o aumento do consumo de hortaliças no Brasil, inclusive por crianças, que têm simpatia por produtos de tamanho reduzido e de coloração diversificada. Estas plântulas colhidas quando as folhas cotiledonares estão totalmente desenvolvidas (Purquerio et al. 2018), vêm ganhando mercado entre consumidores e produtores, devido ao seu frescor, cores, sabor, valor nutricional, rapidez na produção e alta produtividade. Podem ser cultivados em ambientes de alto controle (*indoor*) ou não, sendo adaptáveis a grandes plantações comerciais, inclusive à crescente agricultura urbana.

Em sistema de cultivo *indoor*, o primeiro fator de produção a ser avaliado para promover adequado crescimento e desenvolvimento, que têm impacto na produção e qualidade do alimento produzido, é a luz. Trata-se de um sinal ambiental, desencadeador de mecanismos específicos de sinalização de resposta por meio de fotorreceptores (Yano et al., 2023), que ao ser manejado, permite otimizar o fotoperíodo, a intensidade e o espectro luminoso às plantas (Kang et al., 2020).

A tecnologia de LED (light emitting diode) tem proporcionado avanço e a popularização na aplicação de luz às plantas, em especial às hortaliças e condimentos. Revisão realizada por Lazzarini et al. (2017) mostra que estudos têm sido realizados para adequação de luz à produção de espécies vegetais, em cultivo *indoor*. Adicionalmente à possibilidade de permitir adequações, tanto em fotoperíodo quanto em intensidade de luz, frente ao excesso ou à deficiência da radiação ambiental, a qualidade da luz tem sido estudada objetivando a melhoria da qualidade nutracêutica de diferentes espécies e seus impactos sobre a produção (Ilić et al. 2017; Ntsoane et al. 2016).

Mais de 80 espécies de plantas podem ser cultivadas como microvegetais. Contudo, as espécies mais populares são da família Brassicaceae (Sun et al. 2013),

como a rúcula, que é uma das hortaliças folhosas muito apreciada na gastronomia brasileira. Esta possui elevado potencial de síntese de compostos secundários bioativos e polifenóis quando em ambiente adequado (Bjorkman et al. 2011). Lazzarini et al. (2017) mostram que existe variação muito grande de respostas fisiológicas das plantas à luz azul. Segundo Bonato et al. (2022), no que diz respeito às respostas de microvegetais de rúcula, a luz azul proporcionou maior uniformidade morfológica e crescimento quando comparadas a ausência de luz e a luz verde ou amarela. Cabe ressaltar que os estudos científicos voltados para iluminação aplicada aos microvegetais de rúcula e seus resultados são escassos, sendo que não há estudos sobre o impacto desta sobre a qualidade nutricional da rúcula. Assim e de grande importância estudos que permitam elucidar o melhor sistema de cultivo para este microvegetal que tem grande potencial econômico.

Neste contexto, estudos que permitam elucidar o mecanismo de produtividade, produção de nutrientes e antioxidantes nos tecidos vegetais são de fundamental importância, como a utilização de diferentes intensidades de luz branca ou a suplementação com luz azul, a qual se sabe que apresenta um impacto positivo sobre a síntese de vários metabolitos em outras espécies. Deste modo, o objetivo desta tese foi analisar os efeitos de diferentes intensidades de luz branca e suplementação de luz azul no cultivo *indoor* de microvegetais de rúcula.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Microvegetais

Microvegetais são vegetais imaturos colhidos após o desenvolvimento das folhas cotiledonares (Purquerio et al. 2018). Estes começaram a ser produzidos no sul da Califórnia por volta dos anos 1990 e, a partir de 2010, ganharam popularidade devido ao seu sabor, frescor e benefícios nutricionais (Lenzi et al. 2019).

São ricos em conteúdo nutricional e possuem sabor mais intenso (Puccinelli, et al. 2019), além de conter maior quantidade de fitoquímicos, minerais e vitaminas em comparação a seus correspondentes adultos (Xiao et al. 2016; Yadav et al. 2019).

A alta concentração de compostos fitoquímicos incluem vitaminas, minerais e antioxidantes, pelos quais os pesquisadores estão particularmente interessados, pois

previnem danos causados pelo estresse oxidativo. Dentre estes podemos destacar a vitamina C, carotenoides, compostos fenólicos e certos minerais, incluindo cobre e zinco (Choe et al. 2018). Cabe destacar que diferentes genótipos de microvegetais resultam em variações de atividades fotossintéticas e metabólicas, que levam à diferença no teor de compostos bioativos (Niroula et al. 2019).

Yadav et al. (2019) relataram teores de vitamina C 43% e 187% superiores em microvegetais de juta (*Corchoris olitorisu L.*) e pepino (*Cucumis sativus L.*) superior que em seus estádios adultos. Microvegetais de feno-grego (*Trigonella foenum-graecum L.*), espinafre (*Spinacia oleraceae L. var.*) e rosela (*Hibiscus sabdariffa L.*) apresentaram teores de vitamina C maiores que suas formas adultas em 120%, 127% e 119%, respectivamente (Ghoora et al. 2020). Xiao et al. (2016) relataram teores de vitamina C entre 20,4 e 147,0 mg/100g massa seca (MS), ao estudar 25 microvegetais, teores estes comparáveis aos de frutas cítricas (Khosravi et al. 2014), importante fonte da vitamina.

Outro ponto a ser destacado são os micronutrientes, como Cu e Zn, que são cofatores ou componentes de enzimas antioxidantes, a exemplo da superóxido dismutase. Yadav et al. (2019) encontraram concentração de Zn maior (4,76 a 29,12 mg/kg MS) no estágio microvegetal de nove folhosas, que, que no estágio adulto (1,23 a 5,50 mg/kg MS). Waterland et al. (2017), verificaram maiores teores de Zn e Cu em microvegetal de cultivares de couve (*Brassica oleracea var. acephala*) que nos estádios *baby leaf* e adultos.

Fitoquímicos, como carotenoides e compostos fenólicos, também são encontrados em abundância em microvegetais. Os carotenoides são pigmentos vegetais lipofílicos de cor amarelada, alaranjada ou avermelhada, incluindo carotenos e xantofilas (Khoo et al. 2011). Estes possuem atividade antioxidante e exercem importantes funções fisiológicas no corpo humano. Os vegetais, especialmente os de cores vivas, podem ser as principais fontes dietéticas de carotenoides (Khoo et al. 2011). Os compostos fenólicos são os metabólitos secundários mais abundantes das plantas, como, por exemplo, os ácidos fenólicos, os flavonoides e os taninos que apresentam muitos benefícios à saúde humana (Dai; Mumper, 2010). Sun et al. (2013) identificaram 164 polifenóis, incluindo antocianinas, flavanol glicosídeos e ácidos hidroxicinâmicos, em cinco espécies de brassicáceas microvegetais, que têm perfis

de polifenóis mais complexos e teores mais altos do que brassicáceas adultas (Cartea et al., 2011) tornando-os boas fontes de antioxidantes.

Portanto, incorporar microvegetais à dieta melhora a qualidade nutricional desta e contribui para melhor qualidade de vida.

1.2.2 Rúcula

A rúcula é uma folhosa da família Brassicaceae, originária do Mediterrâneo e da Ásia ocidental (Jardina et al. 2017). Esta folhosa foi introduzida no Brasil por imigrantes italianos, sendo as regiões sul e sudeste as maiores consumidoras e produtora desta, correspondendo a 85% da produção nacional (Oliveira et al. 2010). Segundo o Censo Agropecuário do IBGE (2017), a maior diversificação no consumo de hortaliças que vem acontecendo nos últimos anos levou a uma crescente produção e utilização da rúcula. Cerca de 40.527 toneladas de rúcula são produzidas por ano, demonstrando a relevância econômica dessa hortaliça (Censo Agropecuário do IBGE, 2017).

Esta hortaliça apresenta sabor picante e aroma característicos, sendo, muito consumida como folhas cruas em saladas (Matsuzaki, 2013). É rica em vitaminas A e C e em alguns sais minerais (Novo et al. 2010). Seu consumo vem aumentando consideravelmente no Brasil, e está entre as 20 hortaliças mais apreciadas no país (EMBRAPA, 2016).

No Brasil, a espécie mais cultivada de rúcula é a *Eruca sativa*, principalmente, as cultivares Cultivada e Folha Larga. Trata-se de uma hortaliça herbácea, de pequeno porte, atingindo cerca de 15 a 20 cm de altura quando adulta, com folhas alongadas e de limbo que vão do liso ao muito recortado e apresentam coloração verde-escura (Freitas et al. 2017). Seu ciclo varia de 45 a 50 dias para produção convencional (Sediyama et al. 2007) e de 10 a 12 dias como microvegetal, que são caracterizados por apresentarem folhas cotiledonares arredondadas de coloração verde-escura, sabor e odor mais acentuado que sua contraparte adulta. As folhas tenras são muito apreciadas na forma de salada, principalmente, na região Centro-Sul do Brasil (Salles et al. 2017).

Desenvolve-se bem em temperaturas amenas (22 °C – 24 °C) durante o dia e noite (16 °C – 18 °C). Altas temperaturas prejudicam a produtividade e qualidade

destas, que ficam com folhas menores, pungentes e amargas (Sediyama et al. 2007). Outro ponto importante a ser considerado na produção de rúcula, de acordo com Guimarães et al. (2019), é a nutrição. Esta afeta o crescimento, portanto a produtividade, e atributos de qualidade (Brazaitytė et al. 2021).

1.2.3 Sistema de cultivo *indoor*

Atualmente, o aquecimento global, excesso de chuvas, seca prolongada, geadas e granizos são eventos climáticos cada vez mais frequentes, os quais prejudicam a produção e diminui a rentabilidade da atividade agrícola. Tecnologias agrícolas, como o cultivo em ambiente protegido, vêm sendo criadas e aperfeiçoadas de modo a minimizar estes impactos e não aumentar a insegurança alimentar.

O dinheiro gerado pela agricultura indoor deverá crescer de US\$ 24,88 bilhões em 2023 para US\$ 41,17 bilhões até 2028. A América do Norte é a responsável pela maior participação no mercado global de agricultura indoor desde 2021. A economia indoor é pouco expressiva em países como o Brasil. Contudo estima-se que o segmento cresça mais rápido durante o período de 2023 a 2028, devido ao aumento do consumo de alimentos, juntamente com a crescente conscientização dos consumidores sobre a importância da alimentação saudável (Indoor Farming Market Size, Share & Trends Analysis 2021-2028).

O cultivo em ambiente protegido tem apresentado crescimento expressivo, especialmente na produção de hortaliças, devido ao menor ciclo destas culturas, maior proteção contra pragas, melhor aproveitamento da área destinada à produção e menor consumo de agrotóxicos (Purquerio et al. 2018). Este ambiente permite controlar as variáveis como temperatura, umidade do solo e do ar e fotoperíodo. No caso do cultivo *indoor*, um ambiente protegido altamente tecnológico, somam-se os benefícios de manejar a intensidade e qualidade da luz para as plantas, ser um sistema produtivo com alta eficiência de produção os fatores envolvidos e com menor impacto ambiental (Niu et al. 2018; Dalmolin, 2019; Lima; Gundim, 2023).

O cultivo *indoor* nos últimos anos vem ganhando boa receptividade devido a sua capacidade sustentável de dar apoio aos sistemas alimentares existentes. A agricultura *indoor* ou “Zero-acreage farming”, descreve todas as formas de agricultura urbana caracterizadas por não utilizarem espaços abertos como parques, terrenos

baldios e jardins, mas sim espaços fechados como barracões, estufas e prédios (Specht et al., 2014). Tem como principal vantagem o melhor aproveitamento do espaço, podendo ter produtividade até cem vezes maior que a convencional devido à verticalização (Maia, 2020).

Neste contexto cabe destacar iluminação é um dos fatores ambientais mais importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas no cultivo *indoor*. Esta regula a produção de compostos secundários que afetam a cor, o sabor e o aroma, que são dependentes da intensidade e da qualidade da luz. O correto dimensionamento no fornecimento de luz resulta em maior eficiência e menor custo de produção, uma vez que para a agricultura *indoor*, os custos com iluminação são os mais altos entre os custos operacionais (Dou et al. 2017; Dou et al. 2018 Kozai et al. 2019).

Apesar do seu crescimento os sistemas de produção *indoor* enfrentam desafios como o alto investimento inicial e altos custos operacionais, especialmente com a energia elétrica. Porém, com o avanço das tecnologias utilizadas neste, como a automação e a inteligência artificial para aumentar produtividade e otimizar a eficiência de custos, a tendência é que os sistemas de produção *indoor* fiquem cada vez mais rentáveis (Niu et al. 2018).

1.2.4 Iluminação

O cultivo *indoor* é considerado uma técnica promissora, pois se caracteriza por produção em ambiente controlado, com luz artificial e com potencial de produzir plantas em espaço reduzido, utilizando energia renovável e reciclagem de resíduos (Kozai et al. 2019). Neste contexto, os diodos emissores de luz (LED) estão se tornando a principal fonte de energia luminosa nesse tipo de cultivo, pois apresentam as vantagens de serem compactos, altamente eficientes, baixa temperatura de operação e preço cada vez mais acessível (Kozai et al. 2019).

O uso de LED como fonte de luz permite estudar a radiação luminosa em três dimensões, sendo elas a qualidade, fotoperíodo e intensidade (Kelly et al. 2020). A qualidade da luz nada mais é que a combinação dos comprimentos de onda (λ) emitidos por uma fonte de radiação. A intensidade de radiação, também conhecida como densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos, é o número de fótons

emitidos em uma determinada área durante um certo período, expressa em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Já o fotoperíodo é o tempo de iluminação diário, normalmente expresso em horas (Kelly et al. 2020; Zhang et al. 2018).

Há também outros conceitos importantes ligados a iluminação. A Radiação Fotossinteticamente Ativa, que corresponde a região de comprimento de onda entre 400 nm a 700 nm do espectro eletromagnético, que é que a faixa de espectral utilizada pelos vegetais para a realização da fotossíntese (Guimarães, 2017). O Fluxo de Fótons Fotossintéticos (PPF), termo utilizado para medir a quantidade de luz PAR produzida por um sistema de iluminação por cada segundo, medido em $\mu\text{mol s}^{-1}$ (Guimarães, 2017).

Com o avanço nas pesquisas sobre a iluminação, verificou-se que combinações espectrais alteraram características como o crescimento, pigmentação e concentração de nutrientes (Snowden et al. 2016; Mickens et al. 2018). Os comprimentos de onda mais absorvidos pelas plantas são de 430 a 450 nm (azul), e o espectro de 660 nm (vermelha) que impacta sobre a fotossíntese e fotomorfogênese (Oliveira, 2021).

Quanto ao fotoperíodo ideal, não existe na literatura um consenso para cada cultura, com as recomendações diferindo conforme o parâmetro analisado (Park et al. 2012; Shen et al. 2014; Urairi et al. 2017; Yan et al. 2019). Estudos mostraram que fotoperíodos longos resultam em maior acúmulo de biomassa (Park et al. 2012; Shen et al. 2014), outros relataram prejuízos causados pela ausência de escuro (Urairi et al. 2017; Zha et al. 2019).

O fator intensidade é importante e diversos pesquisadores estudaram a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (Q) ideal para cada cultura. Zhang et al. (2018) afirmaram que $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ é mais adequado para a produção de alface, pois com essa intensidade as plantas apresentaram melhor qualidade nutricional e uma melhor relação entre crescimento e consumo de energia. No cultivo em ambiente *indoor*, para a produção de microvegetais, são utilizadas intensidades de 150 a $450 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a depender da espécie (Ying et al. 2020).

A definição de protocolos específicos para o cultivo *indoor* é essencial, uma vez que garante o uso eficiente dos recursos, o que agrada ao consumidor e dá maior rentabilidade ao produtor (Loconsole et al. 2019). Assim, estudos sobre irradiância de

microvegetal é importante pois tem ações na morfogênese, fotossíntese e outros e processos fisiológicos que influenciam a produtividade, morfologia e a qualidade das plantas (Bian et al. 2018; Kelly et al. 2020).

1.3 REFERÊNCIAS

Barbosa JC e Maldonado JW (2015) AgroEstat: Sistemas para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda., 396 p.

Bian Z, Cheng R, Wang Y, Yang Q, Lu C. (2018) Effect of green light on nitrate reduction and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.) under short-term continuous light from red and blue light-emitting diodes. **Environmental and Experimental Botany**, 153:63-71.

Björkman M, Klingen I, Birch AN., Bones AM, Bruce TJ, Johansen TJ, Stewart D (2011) Phytochemicals of Brassicaceae in plant protection and human health—Influences of climate, environment and agronomic practice. **Phytochemistry**, 72:538-556.

Brazaitytė A, Miliauskienė J, Vaštakaitė-Kairienė V, Sutulienė R, Laužikė K, Duchovskis P, Małek S (2021) Effect of different ratios of blue and red led light on brassicaceae microgreens under a controlled environment. **Plants**, 10:801.

Bonato A, Lemos GR, Callegaro GM, Nagel JC, Sommer LR (2022). Substratos e qualidade de luz na produção de microverdes. **Research, Society and Development**, 11:e239111335448-e239111335448.

Cartea ME, Francisco M, Soengas P, Velasco P (2010) Phenolic compounds in Brassica vegetables. **Molecules**, 16:251-280.

Choe U, Yu LL, Wang TT (2018) The science behind microgreens as an exciting new food for the 21st century. **Journal of agricultural and food chemistry**, 66:11519-11530.

Dai J, Mumper RJ (2010) Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. **Molecules**, 15:7313-7352.

Dalmolin L (2019) **O futuro da agricultura está nas cidades**. São Paulo: Experienceclub.

Dou H, Niu G, Gu M, Masabni JG (2018) Responses of sweet basil to different daily light integrals in photosynthesis, morphology, yield, and nutritional quality. **HortScience**, 53:496-503.

Dou H, Niu G, Gu M, Masabni JG (2017) Effects of light quality on growth and phytonutrient accumulation of herbs under controlled environments. **Horticulturae**, 3:36.

EMBRAPA HORTALIÇAS. Hortaliças na Web. Sobre a Alface. Disponível em: <<http://www.cnph.embrapa.br/hortalicasnaweb/hortalicas.html>> Acesso em: 04 mar. 2023.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home>>. Acesso em 02 de Mai. 2020.

Freitas EM.D, Giovanelli LB, Delazari FT, Santos MLD, Pereira SB, Silva DJ. (2017) Arugula production as a function of irrigation depths and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 21:197-202.

Furlani PR, Bolonhezi D, Silveira LCP, Faquin V (1999) Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas. **Informe Agropecuário**, 20:90-98.

Ghoora MD, Babu DR, Srividya N (2020) Nutrient composition, oxalate content and nutritional ranking of ten culinary microgreens. **Journal of Food Composition and Analysis**, 91:103495.

Guimarães IDAB (2017) **Análise e dimensionamento de sistema de iluminação artificial com LEDs para suplementação luminosa no cultivo de *Humulus lupulus***. 50 f. Trabalho de conclusão de curso. Juiz de Fora: Universidade federal de Juiz de Fora.

Guimarães NR, Souza RF, Silva AG, Bittar DY (2019) Adubação nitrogenada na produção de rúcula. **Ipê Agronomic Journal**, 3:44-55.

I.B.G.E. IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/20618-cerca-de-6-5-milhoes-de-pessoas-fazem-trabalho-voluntario-no-pais.html>>. Acesso em 02 de Mai. 2020.

Indoor Farming Market Size, Share & Trends Analysis 2021-2028 Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/indoor-farming-market>. Acesso em 04 de dez de 2023

Ilić SZ, Milenković L, Dimitrijević A, Stanojević L, Cvetković D, Kevrešan Ž, Fallik E, Mastilović J (2017) Light modification by color nets improve quality of lettuce from summer production. **Scientia Horticulturae**, 226:389-397.

Jardina LL, Cordeiro CAM, Silva MCC, Sanches AG, Araújo Júnior PV (2017). Desempenho produtivo e qualidade de cultivares de rúcula em sistema semi-hidropônico. **Revista de Agricultura Neotropical**, 4:78-82

Kang LK, Huang YJ, Lim WT, Hsu PH, Hwang PA (2020) Growth, pigment content, antioxidant activity, and phytoene desaturase gene expression in *Caulerpa lentillifera* grown under different combinations of blue and red light-emitting diodes. **Journal of Applied Phycology**, 32:1971-1982.

Kelly N, Choe D, Meng Q, Runkle ES (2020) Promotion of lettuce growth under an increasing daily light integral depends on the combination of the photosynthetic photon flux density and photoperiod. **Scientia Horticulturae**, 272:109565.

Khoo HE, Prasad KN, Kong KW, Jiang Y, Ismail A (2011) Carotenoids and their isomers: color pigments in fruits and vegetables. **Molecules**, 16:1710-1738.

Khosravi F, Asadollahzadeh H (2014). Determination of ascorbic acid in different citrus fruits under reversed phase conditions with UPLC. **Eur. J. Exp. Biol**, 4:91-94.

Kopsell DA, Sams, CE (2013) Increases in shoot tissue pigments, glucosinolates, and mineral elements in sprouting broccoli after exposure to short-duration blue light from light emitting diodes. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 138:31-37.

Kopsell DA, Sams CE, Morrow RC (2015) Blue wavelengths from LED lighting increase nutritionally important metabolites in specialty crops. **HortScience**, 50:1285-1288.

Kozai T, Niu G, Takagaki, M (2019) **Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production**. Academic press.

Lazzarin LES, Pacheco FV, Silva ST, Coelho AD, Medeiros APR, Bertolucci SKV, Soares JDR (2017) Use of light-emitting diode (LED) in the physiology of cultivated plants—review. **Scientia Agraria Paranaensis**, 137-144.

Lenzi A, Orlandini A, Bulgari R, Ferrante A, Bruschi P (2019) Antioxidant and mineral composition of three wild leafy species: A comparison between microgreens and baby greens. **Foods**, 8:487.

Lima, RPLP, Gundim LLS (2023). fazenda vertical como modelo sustentável de agricultura urbana. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, 12:e18784-e18784.

Loconsole D, Cocetta G, Santoro P, Ferrante A (2019) Optimization of LED lighting and quality evaluation of romaine lettuce grown in an innovative indoor cultivation system. **Sustainability**, 11:841.

MAIA, G. (2020). **Parece um laboratório, mas é uma fazenda vertical**. São Paulo: AgroSaber.

Matsuzaki RT (2013) **Quelatos de ferro afetam o crescimento e a produção de rúcula cultivada em sistema hidropônico**. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo.

Mickens MA, Skoog EJ, Reese LE, Barnwell PL, Spencer LE, Massa GD, Wheeler R M (2018) A strategic approach for investigating light recipes for ‘Outredgeous’ red romaine lettuce using white and monochromatic LEDs. **Life Sciences in Space Research**, 19:53-62.

Niroula A, Khatri S, Timilsina R, Khadka D, Khadka A, Ojha P (2019) Profile of chlorophylls and carotenoids of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) microgreens. **Journal of food science and technology**, 56:2758-2763.

Niu G, Sun Y, Masabni JG (2018). Impact of low and moderate salinity water on plant performance of leafy vegetables in a recirculating NFT system. **Horticulturae**, 4:6.

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

Ntsoane, LL, Soundy P, Jifon J, Sivakumar D (2016) Variety-specific responses of lettuce grown under the different-coloured shade nets on phytochemical quality after postharvest storage. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, 91:520-528.

Oliveira EQ, Souza RJ, Cruz MDCM, Marques VB, França AC (2010) Produtividade de alface e rúcula, em sistema consorciado, sob adubação orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, 28:36-40.

Oliveira, LJDG (2021) Análise comparativa da faixa espectral de absorção luminosa por pigmento fotossintetizante de duas espécies vegetais: o uso da experimentação para potencializar a aprendizagem em química analítica. **Revista Científica Multidisciplinar**, 2:e24205-e24205.

Park J, Park Y, Jeong, B, Hwang S (2012) Growth and anthocyanin content of lettuce as affected by artificial light source and photoperiod in a closed-type plant production system. **Korean Journal of Horticultural Science & Technology**, 30:673-679.

Purquerio, LFV, de Moraes, CC, Fator, TL e Calori, AH (2018) **Bioeconomia**. Técnico-Informativo do Instituto Agrônomo - Série Técnica A, 70:7-19.

Salles JS, Steiner F, Abaker JEP, Ferreira TS, Martins GLM. (2017). Resposta da rúcula à adubação orgânica com diferentes compostos orgânicos. **Revista de Agricultura Neotropical**, 4:35-40.

Sediyama MAN, Salgado LT, Pinto CLO (2007) Rúcula (*Eruca sativa*). In: Paula Júnior T. J., Venzon M (Coords.). 101 **culturas: manual de tecnologias agrícolas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 683-686.

Shen YZ., Guo SS, Ai WD, Tang YK (2014) Effects of illuminants and illumination time on lettuce growth, yield and nutritional quality in a controlled environment. **Life Sciences in Space Research**, 2:38-42.

Snowden MC, Cope KR, Bugbee, B (2016) Sensitivity of seven diverse species to blue and green light: Interactions with photon flux. **PLoS One**, 11:e0163121.

Specht K, Siebert R, Hartmann I, Freisinger UB, Sawicka M, Werner A, Dierich A (2014) Urban agriculture of the future: an overview of sustainability aspects of food production in and on buildings. **Agriculture and human values**, 31:33-51.

Sun J, Xiao Z, Lin LZ, Lester GE, Wang Q, Harnly JM, Chen P (2013). Profiling polyphenols in five Brassica species microgreens by UHPLC-PDA-ESI/HRMS n. **Journal of agricultural and food chemistry**, 61:10960-10970.

Urairi C, Shimizu H, Nakashima H, Miyasaka J, Ohdoi K (2017) Optimization of light-dark cycles of *Lactuca sativa* L. in plant factory. **Environmental Control in Biology**, 55:85–91.

Waterland, NL, Moon Y, Tou JC, Kim MJ, Pena-Yewtukhiw EM, Park S (2017) Mineral content differs among microgreen, baby leaf, and adult stages in three cultivars of kale. **HortScience**, 52:566-571.

Wieth AR, Pinheiro WD, Duarte TDS (2020) Purple cabbage microgreens grown in different substrates and nutritive solution concentrations. **Revista Caatinga**, 32:976-985.

Xiao Z, Codling EE, Luo Y, Nou X, Lester GE, & Wang Q (2016) Microgreens of Brassicaceae: Mineral composition and content of 30 varieties. **Journal of Food Composition and Analysis**, 49:87-93.

Yadav LP, Koley, TK, Tripathi A, Singh S (2019) Antioxidant potentiality and mineral content of summer season leafy greens: Comparison at mature and microgreen stages using chemometric. **Agricultural Research**, 8:165-175.

Yan Z, He D, Niu G, Zhai H (2019) Evaluation of growth and quality of hydroponic lettuce at harvest as affected by the light intensity, photoperiod and light quality at seedling stage. **Scientia horticulturae**, 248:138-144.

Yano, Y., Maruyama, A., Lu, N. e Takagaki, M. (2023). Consumer reaction to indoor farming using LED lighting technology and the effects of providing information thereon. **Heliyon**.

Ying Q, Kong Y, Jones-Baumgardt C, Zheng Y (2020) Responses of yield and appearance quality of four Brassicaceae microgreens to varied blue light proportion in red and blue light-emitting diodes lighting. **Scientia Horticulturae**, 259:108857.

Zha L, Liu W, Zhang Y, Zhou C, Shao M (2019) Morphological and physiological stress responses of lettuce to different intensities of continuous light. **Frontiers in Plant Science**, 10:1440.

Zhang X, He D, Niu, G, Yan Z, Song J (2018) Effects of environment lighting on the growth, photosynthesis, and quality of hydroponic lettuce in a plant factory. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, 11:33-40.

CAPITULO 2 - Intensidades de luz branca para máximos de produtividade e qualidade da rúcula-microvegetal

RESUMO

A produção de microvegetais em cultivo *indoor* é crescente no mundo por ser uma ótima opção para a agricultura urbana e oferecer alimento de alta qualidade à população. A luz, um dos principais fatores promotores de sucesso neste sistema de cultivo, deve ser manejada para otimizar aspectos relacionados à fotomorfogênese e fotossíntese, objetivando maior qualidade e produtividade. Este estudo avaliou o fluxo de fótons fotossintéticos (FFF) de LED branca (100, 200, 300, 400, 500 e 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em microvegetais de rúcula cultivados em ambiente *indoor*, com seis repetições. A maior produtividade de rúcula microvegetal foi obtida com 358 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, enquanto 90% da máxima produtividade requer 234 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Máxima massa seca da parte aérea e área dos cotilédones foram obtidas com 439 e 312 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, enquanto o comprimento do hipocótilo diminuiu linearmente com o aumento do FFF. Os maiores teores nitrogênio, fósforo, cálcio, enxofre e zinco foram obtidos com 380, 285, 326, 294 e 317 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente; enquanto máximo teor de Fe foi obtido na menor intensidade luminosa. A qualidade da rúcula microvegetal foi incrementada com maior FFF. Os teores de clorofilas, carotenoides, compostos fenólicos e proteção antioxidante tiveram valores máximos com 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e a vitamina C com 458 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Portanto, a melhor qualidade foi obtida em níveis maiores de FFF que aqueles requeridos para crescimento e produtividade.

Palavras-chaves: Agricultura urbana; *Eruca sativa*; Fluxo de fótons fotossintéticos; LED.

2.1 INTRODUÇÃO

As hortaliças são alimentos ricos em nutrientes e fibras alimentares, essenciais para o bom funcionamento do corpo humano. O consumo regular de vegetais está associado à redução do risco de várias doenças cardiovasculares e cânceres (Berlic et al., 2023).

Nas últimas duas décadas, o interesse por alimentos frescos, nutritivos e sem agrotóxicos têm aumentado consoante a melhor qualidade de vida que proporcionam (Gioia; Renna e Santamaria, 2017). Para atender a este objetivo, o cultivo *indoor* de microvegetais tem ganhado cada vez mais a atenção de pesquisadores, produtores e consumidores. Para os primeiros, é tecnologia de cultivo econômica e socialmente aplicável à crescente urbanização global. Os produtores animam-se por ser este um sistema de produção que proporciona grande aumento na produção de alimento por unidade de área (verticalização da produção) e maior eficiência de insumos usados (sustentabilidade) em relação a cultivos tradicionalmente realizados em campo. Por ser um sistema de produção que permite controlar os fatores de produção com vistas a aumentar os teores de nutrientes, vitaminas e antioxidantes, os consumidores têm a possibilidade de acessar alimentos de maior qualidade (Bondonno et al., 2023; Berlic et al., 2023).

Neste sistema de produção, cabe destacar a influência da iluminação na fotossíntese e fotomorfogênese, que por meio da modulação da expressão gênica, feita pelos fotorreceptores (Shanker; Venkateswarlu, 2011), atua no crescimento e acúmulo de fitoquímicos, como vitamina C, clorofila e carotenoides (Bhatla et al., 2023). Assim, a manipulação da intensidade de luz, fluxo de fótons fotossintéticos (FFF) na agricultura tem sido utilizada, objetivando maior produtividade e qualidade dos vegetais (Jin et al., 2023). Neste sentido, os diodos emissores de luz (LED) têm sido cada vez mais utilizados na agricultura *indoor*, devido à possibilidade de se trabalhar comprimentos de onda monocromáticos ou mistos, intensidades e fotoperíodos, além de apresentar baixo consumo de energia, baixa emissão de calor e elevada vida útil da fonte de luz (Dutta Gupta; Agarwal, 2017; Bantis et al., 2018).

Quanto a intensidade Cope e Bugbee (2013), avaliando o efeito de FFF entre 100 e 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (obtidos a partir de LED branca), no crescimento e desenvolvimento de *Raphanus sativus*, *Glycine max* e *Triticum spp.*, concluíram que

a resposta variou segundo a espécie. Onde a máxima produção de massa fresca de *Raphanus sativus* e *Glycine max* foi atingida com $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ enquanto para *Triticum* spp. com $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Vários estudos avaliaram as relações entre FFF, crescimento e produtividade de microvegetais de brássicas, as quais estão entre os mais preferidos. Samuolienė et al. (2013) avaliaram os efeitos de quatro FFF (220, 330, 440 e $545 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) sobre a couve-rábano, mostarda, pak-choi-vermelho e couve-tatsoi. Observaram que 330 a $440 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ mostraram-se mais adequadas promovendo maior crescimento e qualidade nutricional dos microvegetais. Por outro lado, intensidades superiores a $440 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ causaram fotoestresse aos microvegetais, com efeito negativo, na maioria dos parâmetros avaliados. Gerovac et al. (2016) avaliaram as intensidades luminosas 105, 210 e $315 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na produção de couve-rábano, couve-mizuna e mostarda. Observaram que a massa fresca e massa seca aumentaram em até 34 e 25%, respectivamente, à medida que a intensidade aumentou de 105 para $315 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Outro ponto a ser melhor compreendido são os efeitos da intensidade luminosa sobre a qualidade dos microvegetais, uma vez que esta depende das concentrações de metabólitos produzidos segundo as variações dos fatores de produção, especialmente da luz artificial em ambiente controlado (Zhang et al., 2020). A utilização de luz branca aumentou o conteúdo de fenóis totais em microvegetais de couve-chinesa (Qian et al., 2016) e ervilha (Liu et al., 2016) em até 35 e 45% respectivamente quando a intensidade de luz branca aumentou de 0 a $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Nos microvegetais de couve-chinesa, a capacidade antioxidante também respondeu positivamente aumentando até 30% quando se aumentou a intensidade de luz branca 0 a $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Qian et al., 2016).

Conforme resultados observados nos estudos anteriormente reportados, observa-se que existe claramente uma correlação entre a espécie e a intensidade de luz ideal para maximização da produtividade e qualidade. Não foram encontrados estudos sobre efeito de intensidades de luz branca na produtividade e qualidade de rúcula microvegetal, o que justificou o presente estudo. Acredita-se que a rúcula microvegetal irá responder positivamente ao aumento no FFF, LED branco. As

informações geradas possibilitarão melhorar os sistemas de produção desta hortaliça em ambiente *indoor*.

Assim, objetivou-se avaliar as intensidades de FFF de 100 a 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em luz branca, na produtividade e qualidade da rúcula microvegetal, em cultivo *indoor*.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Local experimental e tratamentos

Os experimentos foram conduzidos em ambiente *indoor*, com controle de temperatura para $25 \pm 2^\circ\text{C}$, no Departamento de Biologia, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da UNESP, campus de Jaboticabal, SP.

Os tratamentos corresponderam a seis FFF (100, 200, 300, 400, 500 e 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de luz branca, em fotoperíodo de 14 horas. Realizou-se a aferição dos FFF com espectroradiômetro (SpectraPen LM 500-PSI) (Figura 1). Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis repetições. Cada unidade experimental foi composta por três bandejas polipropileno transparente (25 x 24 x 5 cm de comprimento, largura e altura, respectivamente).

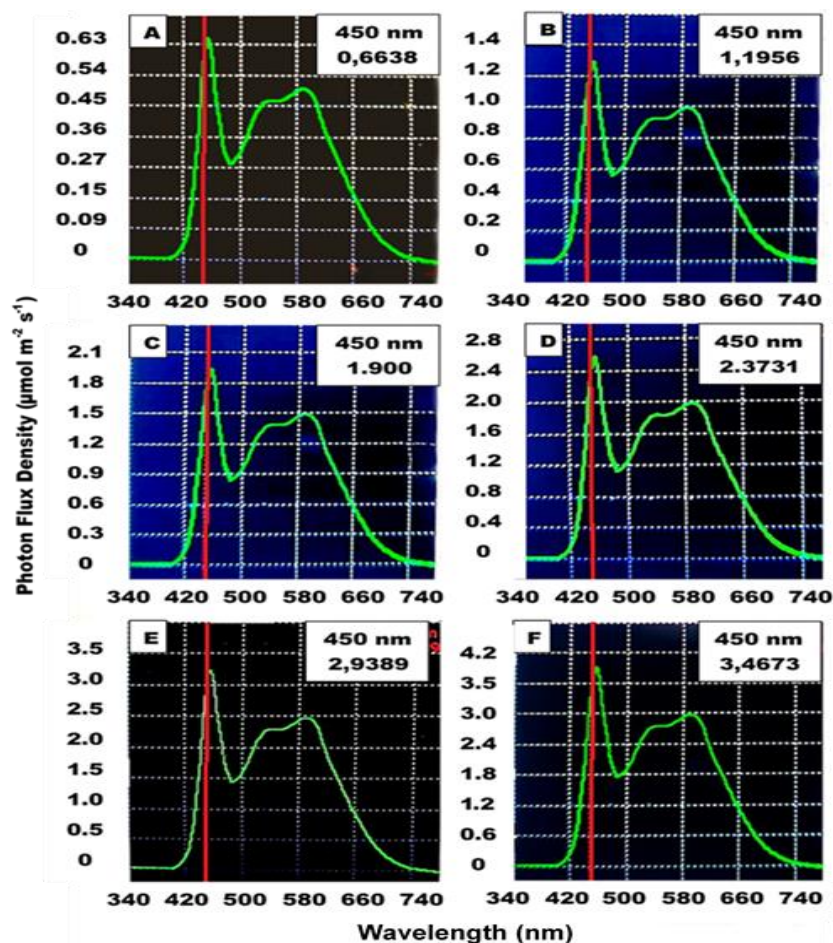


Figura 1. Caracterização espectral e de fluxo de fótons da luz Led em função da intensidade luminosa $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (A), $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (B), $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (C), $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (D), $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (E) e $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (F). Com destaque para o ponto de pico espectral de 450 nm.

2.2.2 Instalação e condução dos experimentos

As bandejas foram perfuradas em sua base com furos de 2 mm, espaçados em 5×2 cm e preenchidas com substrato organomineral Bioplant® (pH $6 \pm 0,3$ e condutividade elétrica de $0,8 \text{ dS m}^{-1} \pm 0,06$) camada de 1 cm, previamente umedecido. As sementes de rúcula da cultivar Folha Larga foram distribuídas sobre o substrato numa densidade de 102 g de sementes por bandeja. A densidade de semeadura baseou-se em Wieth et al. (2019) para repolho-roxo microvegetal.

Após a semeadura, as bandejas foram irrigadas, utilizando-se um micropulverizador, empilhadas e colocadas em ambiente escuro sob temperatura de 25 ± 2 °C. Após três dias, quando os cotilédones já estavam presentes, as bandejas

com as plântulas foram levadas para as bancadas com lâmpadas e colocadas em bandejas, nas quais era colocada solução nutritiva a cada 24 horas, para que as plântulas recebessem água e nutrientes por capilaridade (subirrigação). Foi utilizada a solução nutritiva recomendada por Furlani et al. (1999) para o cultivo de hortaliças folhosas em hidropônica NFT. Nos primeiros três dias, foram fornecidos 200 ml de solução nutritiva, a cada 24 horas, e a partir do quarto dia, 250 ml por bandeja, por dia. Os tratamentos de luz permaneceram até a colheita.

A colheita foi realizada nove dias após iniciado o período luminoso, com a completa expansão dos cotilédones e antecedendo o aparecimento da primeira folha. A colheita foi realizada manualmente com a utilização de tesoura e o corte do hipocótilo das plântulas a 1 cm acima do substrato.

2.2.3 Avaliações realizadas

Na colheita, foram avaliadas: a) comprimento do hipocótilo (cm), com o uso de régua milimetrada; b) produtividade (g m^{-2}): imediatamente após a retirada da luz, foi realizado o corte das plântulas a 1 cm de altura do substrato e pesada a massa fresca da parte aérea em balança com precisão de quatro casas decimais; c) massa seca da parte aérea da plântula: (g m^{-2}): obtida após secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, d) área foliar ($\text{cm}^2/\text{plântula}$), usando o programa ImageJ (Rasband, 2018); e) teores de clorofilas *a* e *b* e carotenoides, com leitura espectrofotométrica e resultados expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$ de massa fresca de folhas, segundo o método de Lichtenthaler (1987); f) Determinação de vitamina C por titulação com DCPIP: Em ambiente escuro 1g de folhas foi moída em 5 ml, de ácido oxálico 56 mM, utilizando pilão e almofariz (Ponting, 1943). Posteriormente esta foi filtrada a vácuo em papel de filtro Whatman No. 1 e o filtrado foi coletado. Alíquotas duplicadas de 1 ml do filtrado foram tituladas com DCPIP 3,73 mM (2,6-diclorofenolindofenol), até que o filtrado ficasse com uma cor rosa persistente. Por último o volume de DCPIP adicionado foi comparado com uma curva padrão de concentrações de ácido ascórbico; g) teores de N, P, K, Ca, Mg e S (g kg^{-1}) e de Fe e Zn (mg kg^{-1}): determinados na massa seca de plântulas, conforme metodologias descritas por Miyazawa et al. (2009); h) teor de fenóis: realizado por espectrofotometria de um extrato obtido segundo Larrauri, Ruperez e Saura-Calixto (1997) com a utilização de soluções de acetona 70% e metanol 50% e posterior

adição do reagente Folin-Ciocalteu, sendo baseado em uma reação de oxidação-redução alcalina, onde o íon fenolato é oxidado e o reagente de Folin é reduzido. Após a reação, uma cor azul é produzida, e a leitura desta é realizada em uma absorbância de 700 nm. i) Proteção antioxidante (PAO): 1 g da amostra foi pesada em ambiente escuro, e colocada em um béquer, onde se adicionou 5ml de metanol 50%, homogeneizou-se e o deixou em repouso por 60 minutos. Posteriormente este foi centrifugado a 15.000 rpm durante 15 minutos, e o sobrenadante 1 foi colocado em um balão volumétrico de 10 mL. Em uma segunda etapa adicionou-se 4 mL de acetona 70% ao resíduo da primeira extração, e se homogeneizou o deixando em repouso por 60 minutos e este foi centrifugado a 15.000 rpm durante 15 minutos, recolheu-se, o sobrenadante 2 no mesmo balão volumétrico de 10 mL. Posteriormente o balão foi completado com água destilada, resultando no extrato. Em uma terceira etapa, em um tubo de ensaio foram adicionados 0,1 mL do extrato e 3,9 mL do radical DPPH 0,06 mM que foi homogeneizado em agitador de tubos. Utilizar álcool metílico, como branco, para calibrar o espectrofotômetro. As leituras foram feitas a 515 nm segundo descrito por Larrauri, Rupérez e Saura-Calixto (1997).

2.2.4 Análise estatística

Foi realizada a análise de variância dos dados e o estudo de regressão polinomial, escolhendo-se a equação significativa de maior coeficiente de determinação segundo o programa AgroEstat (Barbosa e Maldonado Júnior, 2015).

2.3 RESULTADOS

A intensidade da luz branca afetou as características biométricas das plântulas de rúcula (Tabela 1). O comprimento do hipocótilo (CH), cujo máximo foi obtido com $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, reduziu linearmente com o aumento do FFF. A produtividade, massa seca da parte aérea e área cotiledonar ajustaram-se à equação de segundo grau e seus máximos foram obtidos com 358, 439 e $312 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente (Figura 2).

O FFF também afetou os teores de clorofila *a* e *b* e carotenoides (Tabela 1), os quais aumentaram linearmente com o aumento do FFF (Figura 3).

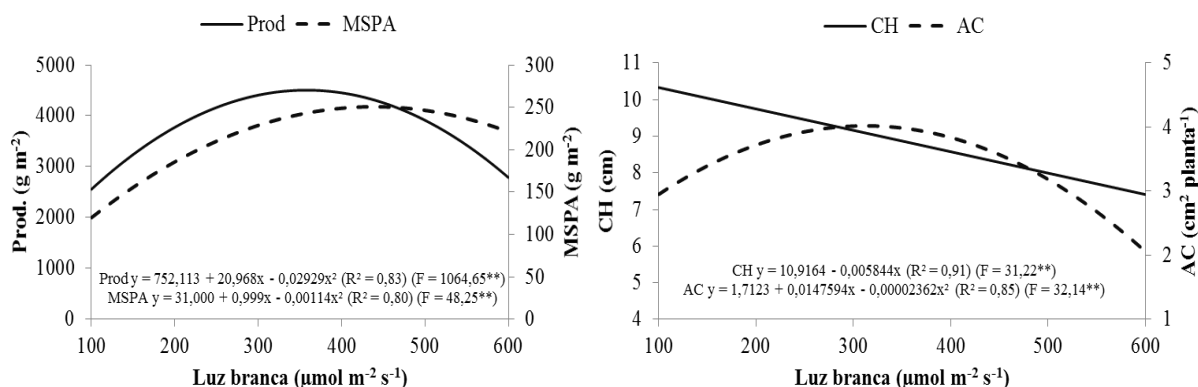


Figura 2. Produtividade (Prod.), massa seca da parte aérea (MSPA), comprimento do hipocótilo (CH) e área dos cotilédones (AC) de rúcula- microvegetal em função da intensidade de luz branca.

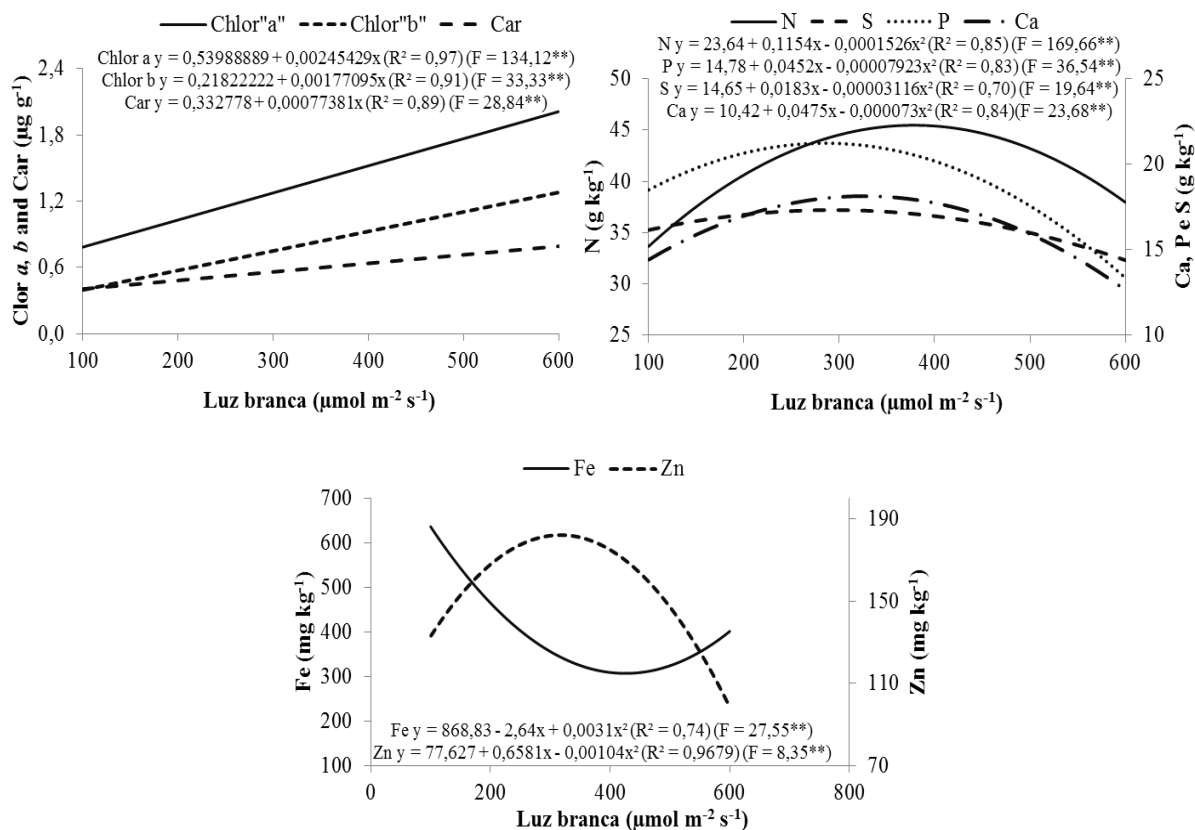


Figura 3. Teores de clorofila a (Clor a), clorofila b (Clor b), carotenoides (Car) na massa fresca dos cotilédones e teores de nitrogênio (N), cálcio (Ca), fósforo (P), enxofre (S), ferro (Fe) e zinco (Zn) na massa seca da parte aérea de rúcula microvegetal em função da intensidade de luz branca.

Para os teores de macro e micronutrientes, o FFF afetou N, P, Ca, S, Fe e Zn (Tabela 2) e os maiores teores foram obtidos com 380, 285, 326, 294, 100 e 317 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente (Figura 3). Os teores de K e Mg não ajustaram à equação polinomial e apresentaram média de 33,4 e 6,9 g kg^{-1} , respectivamente.

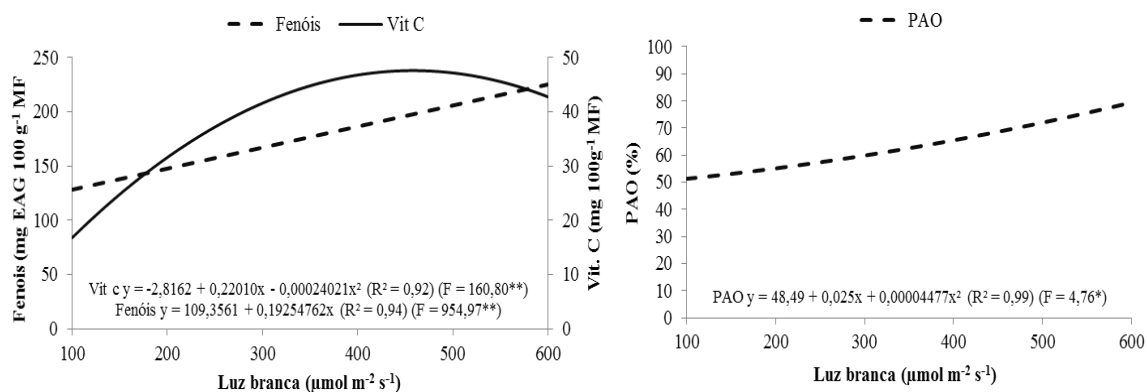


Figura 4. Vitamina C (Vit C), fenóis e poder antioxidante (PAO) na massa fresca parte aérea de rúcula microvegetal em função da intensidade de luz branca.

O FFF afetou os teores de vitamina C, fenóis e PAO, sendo que para vitamina C e PAO houve ajuste para equação de segundo grau, enquanto fenóis aumentaram linearmente (Tabela 1). O máximo teor de vitamina C foi obtido com 458 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, enquanto fenóis e PAO tiveram seus máximos com 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 4).

Tabela 1. Resumos das análises de variância e dos estudos de regressão para produtividade (Prod.), massa seca da parte aérea (MSPA), comprimento do hipocótilo (CH), área dos cotilédones (AC), teores de clorofila *a* (Clor *a*), clorofila *b* (Clor *b*), carotenoides (Car) e Vitamina C (Vit C), fenóis, e poder antioxidante (PAO) de rúcula microvegetal em função do fluxo de fótons fotossintéticos de luz branca (FFF).

	Valores de F									
	Prod.	MSPA	CH	AC	Clor <i>a</i>	Clor <i>b</i>	Car	Vit. C	Fenóis	PAO
FFF	258,15**	29,99**	6,86**	9,55**	27,59**	7,35**	6,49**	112,05**	202,51**	72,46**
CV (%)	3,68	11,78	12,08	18,93	15,52	37,50	24,46	7,50	3,61	4,79
Eq.1º grau	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Eq. 2º grau	**	**	ns	**	ns	ns	ns	**	ns	*

**, * e ^{ns} correspondem a significativo pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Tabela 2. Resumos das análises de variância e dos estudos de regressão para teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), zinco (Zn) na massa seca da parte aérea de rúcula microvegetal em função do fluxo de fótons fotossintéticos de luz branca (FFF).

	Valores de F							
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn
FFF	45,76**	15,71**	1,44 ^{ns}	6,28**	1,83 ^{ns}	9,04**	15,40**	2,08 ^{ns}
CV (%)	4,28	10,55	20,61	14,03	11,38	6,45	21,27	35,74
Eq.1º grau	**	**	ns	ns	ns	**	**	ns
Eq. 2º grau	**	**	ns	**	ns	**	**	**

**e ^{ns} correspondem a significativo pelo teste F a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente

2.4 DISCUSSÃO

As características biométricas da rúcula microvegetal responderam diferentemente ao FFF (Figura 2). Enquanto houve redução de 28,3% no comprimento do hipocótilo entre o máximo (10,33 cm) obtido com a menor intensidade de luz e o mínimo (7,41 cm) com a maior intensidade avaliada, as demais características responderam positivamente ao aumento no FFF, cujos máximos foram obtidos entre 312 e 439 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Samuolienė et al. (2013) demonstraram que intensidades baixas de LED brancos não permitiram o crescimento normal dos microvegetais de brassicáceas. Os autores verificaram máximos de massa fresca e seca dos microvegetais de couve-rábano, mostarda, pak-choi vermelho e couve-tatsoi foram obtidos com 330 a 440 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo que a melhor irradiância variou entre as espécies. Assim, os resultados obtidos no nosso estudo corroboram os de Samuolienė et al. (2013), pois foi observada baixa produtividade na menor intensidade e posterior aumento com máximo em 358 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Este FFF possibilitou um incremento de 76, 109 e 36% entre os mínimos e máximos de produtividade, massa seca da parte aérea e área dos cotilédones, respectivamente. Apesar da maior produtividade de rúcula-microvegetal ter sido obtida com 358 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 90% da máxima produtividade foi obtida com 234 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, o que permite uma redução expressiva no FFF e, conseqüentemente, na energia gasta na produção. Os preços de energia e do microvegetal de rúcula em diferentes localidades, pode determinar a intensidade economicamente mais interessante para o produtor.

A maior intensidade de luz avaliada (600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) causou fotoestresse e determinou reduções de, aproximadamente, 38, 12, 28 e 49% na produtividade, massa seca da parte aérea, comprimento do hipocótilo e área cotiledonar em relação aos seus máximos obtidos, respectivamente. O fotoestresse leva a um decréscimo na taxa de fixação de carbono, resultando em menor crescimento e ganho de massa (Lazzarini et al., 2017).

Exceto para K (33,4 g kg^{-1}) e Mg (6,9 g kg^{-1}), que não foram influenciados pela intensidade de luz, e pelo Fe, cujo teor máximo (636 mg kg^{-1}) (Figura 3), foi obtido com a menor intensidade, os demais nutrientes avaliados responderam com aumento nos teores, cujos máximos foram obtidos com intensidades próximas à que proporcionou a maior produtividade. O resultado observado para teor de Fe concordou

com o encontrado por Gerovac et al. (2016), que ao estudar os efeitos de intensidades de 105 a 315 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em couve-rábano, couve-mizuna e mostarda, observaram a redução da concentração de Fe à medida que a intensidade luminosa aumentou. Os autores explicaram seus resultados por haver diluição dos nutrientes no tecido vegetal em razão do aumento de massa seca constatado.

Os máximos teores de N (45,5 g kg⁻¹), P (21,2 g kg⁻¹), Ca (18,2 g kg⁻¹), S (17,3 g kg⁻¹) e Zn (181,9 mg kg⁻¹) (Figura 3), foram obtidos com 380, 285, 326; 294 e 317 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, as quais proporcionaram incrementos de, aproximadamente, 35, 14, 26, 7 e 37% em relação aos teores obtidos com a menor intensidade avaliada. Um dos destaques qualitativos dos microvegetais em relação às hortaliças tradicionalmente comercializadas e que estes são nutricionalmente mais ricos. No presente estudo, considerando-se o FFF que possibilitou a maior produtividade (358 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), em comparação a teores médios observados em plantas adultas (38,9 g kg⁻¹ N, 4,7 g kg⁻¹ P, 17,6 g kg⁻¹ Ca, 7,9 g kg⁻¹ S e 137,3 mg kg⁻¹ Zn) (USDA, 2004; Rugeles-Reyes et al., 2019; Silva et al., 2020 e Nascimento et al., 2022), os teores de N, P, Ca, S, e Zn correspondem a incrementos de, aproximadamente, 17, 340, 3, 116 e 32% respectivamente, demonstrando o aumento do potencial de acúmulo destes minerais som o aumento do FFF, tal acúmulo pode estar ligado ao aumento da taxa fotossintética e do ganho de massa (Wieth *et al.*, 2019). Quanto ao Fe foi 27,4% menor que a média observada em planta adulta (442,6 g kg⁻¹ Fe).

Os teores de clorofilas *a* e *b* e carotenoides responderam semelhantemente ao aumento de FFF, com máximo e mínimo obtidos com a menor e maior intensidade de luz branca, respectivamente (Figura 3). Os valores máximos obtidos para pigmentos resultaram em aumento de 156,3, 224,0 e 94,3% para clorofila *a* e *b* e carotenoides, respectivamente, tal resultados se deve a maior expressão de genes associados à biossíntese de pigmentos com o aumento do FFF (Tuan et al. 2017. Zhang et al. 2015). Entretanto, apesar dos teores de clorofilas e de carotenoides serem considerados na avaliação do potencial fotossintético das plantas (Lazzarini et al., 2017), no presente estudo, quando o FFF aumentou de 100 a 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, os aumentos nos teores destes pigmentos não se relacionaram com as respostas observadas para área cotiledonar, massa seca da parte aérea e produtividade da rúcula microvegetal, os

quais diminuíram com FFF maiores que 312, 439 e 358 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, o que pode ser indicativo de estresse foto-oxidativo (Lazzarini et al., 2017). Segundo Gerovac et al. (2016), os teores de clorofila nos microvegetais couve-mizuna e mostarda não foram influenciados pelo aumento da intensidade luminosa, ainda que tenham aumentado a massa seca em 1 e 2% e produtividade em 15 e 26,5%, respectivamente. Contudo, os autores observaram aumentos de 11 e 13% no teor de clorofila da couve-rábano sob 315 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em comparação às intensidades de 105 e 210 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, o que proporcionou maior produtividade (Gerovac et al., 2016) demonstrando assim que tal resposta varia entre espécies.

O teor máximo de vitamina C (Figura 4) apresentou aumento de 183,5% entre o obtido na intensidade de 458 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ que proporcionou máximo teor (47,61 mg 100 g⁻¹ de massa fresca) e a menor intensidade luminosa estudada, tal fato demonstra uma correlação positiva entre o aumento de FFF e a síntese de vitamina C e o consequente aumento da qualidade nutricional da rúcula microvegetal. O teor máximo encontrado foi muito próximo à média de vitamina C encontrada em uma planta adulta de rúcula cultivada a pleno sol (45,8 mg 100 g⁻¹) e de teores encontrados em algumas frutas cítricas (50 mg 100 g⁻¹) (Kathi et al., 2022). O resultado observado na rúcula concordou com o de Zhang et al. (2018), que relataram aumento de até 69% no teor de vitamina C em alface quando irradiadas com 300 e 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Tanto o teor de compostos fenólicos quanto a proteção antioxidante aumentaram à medida que o FFF aumentou (Figura 4). Os compostos fenólicos são importantes na avaliação da qualidade de microvegetais, pois pode proteger as células humanas da oxidação, eliminando radicais livres e inibindo a peroxidação lipídica, evitando, problemas causados pelo consumo excessivo de aditivos sintéticos (Akbari et al., 2022). O aumento de 74,9% nos compostos fenólicos da rúcula microvegetal obtido com 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em relação ao menor FFF avaliado (100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), resultou em um teor de 225 mg EAG 100 g⁻¹, valor expressivamente maior ao de uma planta adulta cultivada a pleno sol, média de 90 mg EAG 100 g⁻¹ (Arbos et al., 2010). Samouliené et al. (2013) também observaram aumento de compostos fenólicos em pak choi e couve-tatsoi quando aumentaram a intensidade de 110 para 545 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. O aumento da síntese destes fitoquímicos em microvegetais com manejo de LED também foi observada por Świeca et al. (2012),

Lee et al. (2014), Yuan, Jia e Ding. (2015) e Liu et al. (2016), cujos incrementos no teor de compostos fenólicos foram 55% em lentilha, 465% em trigo sarraceno, 19% em soja e 34% em couve-chinesa, respectivamente. Mostrando assim uma correlação entre o aumento do FFF e a síntese destes compostos. Tal resposta se deve a adaptação da planta aos elevados teores de energia com o objetivo de evitar danos a sua estrutura (Bhatla et al., 2023).

A POA atingiu o máximo de 80% de neutralização de radicais livres, maior que os 70% encontrado por Arbos et al. (2010) em plantas adultas cultivadas a pleno sol. Huang et al. (2021) concluíram que o poder antioxidante aumentou 73 e 19% quando brotos de choy sum cultivadas sob $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ foram comparados àqueles cultivados sob 50 e $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente. Ao se aumentar a intensidade de luz branca têm-se aumento no fornecimento de luz azul (Figura 1), comprimento de onda que estimula a síntese de metabolitos secundários, como os antioxidantes (Wang et al., 2016; Wang et al., 2018), que vão inibir ou reduzir os danos causados pelos radicais livres (Samoulienê et al., 2013). A correlação positiva entre a proteção antioxidante e o aumento da intensidade de luz também foi encontrada em microvegetais de mostarda, couve-tatsoi e couve-rábano por Samoulienê et al., (2013), que ao estudarem um módulo de iluminação com LED mistos, com comprimentos de onda de 455, 638, 665 e 731 nm, constataram incremento no teor de antioxidantes mediante aumento da intensidade de luz.

2.5 CONCLUSÃO

Os máximos de crescimento, produtividade e qualidade de rúcula são obtidos com diferentes FFF. A produtividade máxima é obtida com $358 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, enquanto o máximo de massa seca da parte aérea requer $439 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, um FFF 18,5% maior. A vitamina C, foi maximizada com $458 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e os maiores teores de pigmentos, compostos fenólicos e proteção antioxidante foram observados com o máximo FFF estudado, $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Entretanto, com esta máxima irradiância verificou-se o comprometimento da qualidade visual dos microvegetais pela fotoxidação. Com a máxima produtividade obtiveram-se 68,9%, 76,5%, 79,3% 94,9% e 79,4% dos teores máximos de clorofila, carotenoides, compostos fenólicos, vitamina C e proteção antioxidante total, respectivamente.

2.6 REFERÊNCIAS

Akbari B, Baghaei-Yazdi N, Bahmaie M, Mahdavi-Abhari F (2022) The role of plant-derived natural antioxidants in reduction of oxidative stress. **BioFactors**, 48:611-633.

Arbos KA, Freitas RJSD, Stertz SC, Dornas M F (2010) Atividade antioxidante e teor de fenólicos totais em hortaliças orgânicas e convencionais. **Food Science and Technology**, 30:501-506.

Bantis F, Smirnakou S, Ouzounis T, Koukounaras A, Ntagkas N, Radoglou K (2018). Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). **Scientia horticulturae**, 235:437-451.

Bhatla, S. C., & Lal, M. A. (2023). Light perception and transduction. In *Plant Physiology, Development and Metabolism* (pp. 363-390). **Singapore: Springer Nature Singapore**, 363-390.

Barbosa JC e Maldonado JW (2015) Experimentação agrônômica & AgroEstat: Sistemas para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda., 396 p.

Berlic, M., Jug, U., Battelino, T., Levart, A., Dimitrovska, I., Albreht, A., & Korošec, M. (2023). Antioxidant-rich foods and nutritional value in daily kindergarten menu: A randomized controlled evaluation executed in Slovenia. **Food chemistry**, 404, 134566.

Bhatla, S. C., & Lal, M. A. (2023). Light perception and transduction. In *Plant Physiology, Development and Metabolism* (pp. 363-390). **Singapore: Springer Nature Singapore**, 363-390.

Bondonno, NP, Liu, YL, Zheng, Y., Ivey, K., Willett, WC, Stampfer, MJ, ... & Cassidy, A. (2023). Mudança na ingestão habitual de alimentos ricos em flavonóides e mortalidade em homens e mulheres nos EUA. **Medicina BMC**, 21 (1), 1-13.

Cope KR, Bugbee B (2013) Efeitos espectrais de três tipos de diodos emissores de luz branca no crescimento e desenvolvimento das plantas: quantidades absolutas versus relativas de luz azul. **HortScience** , 48:504-509.

Gupta SD, Agarwal A (2017). Artificial lighting system for plant growth and development: Chronological advancement, working principles, and comparative assessment. **Light emitting diodes for agriculture: smart lighting**, 1-25.

Furlani PR, Bolonhezi D, Silveira LCP, Faquin V (1999) Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas. **Informe Agropecuário**, 20:90-98.

Gerovac JR, Craver JK, Boldt JK, Lopez RG (2016) Light intensity and quality from sole-source light-emitting diodes impact growth, morphology, and nutrient content of Brassica microgreens. **HortScience**, 51:497-503.

Di Gioia F, Renna M, Santamaria P (2017) Sprouts, microgreens and “baby leaf” vegetables. **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables**, 403-432.

Huang JJ, D’Souza C, Tan MQ, Zhou W (2021) Light intensity plays contrasting roles in regulating metabolite compositions in choy sum (*Brassica rapa* var. *parachinensis*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 69:5318-5331.

Jin, D., Su, X., Li, Y., Shi, M., Yang, B., Wan, W., ... & Zou, J. (2023). Efeito da luz vermelha e azul em mudas de pepino cultivadas em uma fábrica. **Horticulturae** , 9 (2), 124.

Kathi S, Laza H, Singh S, Thompson L, Li W, Simpson C (2022) Increasing vitamin C through agronomic biofortification of arugula microgreens. **Scientific reports**, 12:13093.

Larrauri JA, Rupérez P, Saura-Calixto F (1997) Efeito da temperatura de secagem na estabilidade de polifenóis e atividade antioxidante de cascas de bagaço de uva vermelha. **Jornal de química agrícola e alimentar**, 45:1390-1393.

Lazzarini LES, Pacheco FV, Silva ST, Duarte A (2017) Uso de diodos emissores de luz (LED) na fisiologia de plantas cultivadas: revisão. **Scientia Agraria Paranaensis**, 16:137-144.

Lee SW, Seo JM, Lee MK, Chun JH, Antonisamy P, Arasu MV (2014). 886 Influence of different LED lamps on the production of phenolic compounds in common and 887 Tartary buckwheat sprouts. **Industrial Crops and Products**, 54:320–326.

Lichtenthaler, HK (1987) Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **In Methods in enzymology**, 148:350-382.

Liu H, Chen Y, Hu T, Zhang S, Zhang Y, Zhao T, Kang, Y. (2016) The influence of light-emitting diodes on the phenolic compounds and antioxidant activities in pea sprouts. **Journal of Functional Foods**, 25:459-465.

Miyazawa M, Prata F, Pavan M A, Muraoka T, Carmo CASD, Mello NJ (1999) Análises químicas de tecido vegetal. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**, 370.

Nascimento CS, Nascimento CS, Lopes G, Carrasco G, Gratão PL, Cecílio Filho AB (2022). Biofortified rocket (*Eruca sativa*) with selenium by using the nutrient film technique. **Horticulturae**, 8:1088.

Ponting JD (1943) Extraction of ascorbic acid from plant materials. Relative suitability of various acids. **Indutst. Eng. Chem. Anal. Ed.**, 15:389-391.

Qian H, Liu T, Deng M, Miao H, Cai C, Shen W, Wang Q (2016) Effects of light quality on main health-promoting compounds and antioxidant capacity of Chinese kale sprouts. **Food chemistry**, 196:1232-1238.

Rasband WS (2018) WS 1997–2018. ImageJ. US National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA. Disponível em: <<http://imagej.nih.gov/ij/>>. Acesso em 08 jun. 2020.

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

Samuolienė G, Brazaitytė A, Jankauskienė J, Viršilė A, Sirtautas R, Novičkovas A, Duchovskis P (2013) LED irradiance level affects growth and nutritional quality of Brassica microgreens. **Central European Journal of Biology**, 8:1241-1249.

Silva, PHS, Palaretti LF, Cecílio Filho AB, Silva YFD (2020) Nitrogen levels via fertigation and irrigation depths in the arugula culture. **Horticultura Brasileira**, 38:343-349.

Shanker A, Venkateswarlu B, (2011). Abiotic Stress in Plants-Mechanisms and Adaptations. **InTech Publisher**, 428.

Świeca M, Gawlik-Dziki U, Kowalczyk D, Złotek U (2012) Impact of germination time 48 1037 and type of illumination on the antioxidant compounds and antioxidant capacity of Lens 1038 culinaris sprouts. **Scientia Horticulturae**, 140:87–95.

Tuan PA, Park CH, Park WT, Kim YB, Kim YJ, Chung SO, Park S U (2017) Expression levels of carotenoid biosynthetic genes and carotenoid production in the callus of scutellaria baicalensis exposed to white, blue, and red light-emitting diodes. **Applied Biological Chemistry**, 60:591-596.

USDA – United States Department of Agriculture (2004). *National nutrient database for standard*. Disponível em: <<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search>>. Acesso em 08 jun. 2022.

Wang Q, Liu Q, Wang X, Zuo Z, Oka Y, Lin C (2018) New insights into the mechanisms of phytochrome–cryptochrome coaction. **New Phytologist**, 217:547-551.

Wang Q, Zuo Z, Wang X, Gu L, Yoshizumi T, Yang Z, Lin C (2016) Photoactivation and inactivation of Arabidopsis cryptochrome 2. **Science**, 354:343-347.

Wieth AR, Pinheiro WD, Duarte TS (2019) Microgreens de repolho roxo cultivado em diferentes substratos e concentrações de solução nutritiva. **Revista Caatinga**, 32:976-985.

Wieth AR, Pinheiro WD, Duarte TDS (2019) Substratos e concentrações de nutrientes para produção de microgreens de brócolis em sistema hidropônico. **Revista Cultura Agronômica. Ilha Solteira, SP**. 28: 422-434.

Yuan M, Jia X, Ding C, Zeng H, Du L, Yuan S, (2015) Effect of fluorescence light 51 1103 on phenolic compounds and antioxidant activities of soybeans (*Glycine max* L. Merrill) 1104 during germination. **Food Science and Biotechnology**, 24:1859–1865.

Zhang L, Ma G, Yamawaki K, Ikoma Y, Matsumoto H, Yoshioka T, Kato, M. (2015). Effect of blue LED light intensity on carotenoid accumulation in citrus juice sacs. **Journal of plant physiology**, 188:58-63.

Zhang X, He D, Niu G, Yan Z, Song J (2018) Effects of environment lighting on the growth, photosynthesis, and quality of hydroponic lettuce in a plant factory. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, 11:33-40.

Zhang X, Bian Z, Yuan X, Chen X, Lu C (2020) A review on the effects of light-emitting diode (LED) light on the nutrients of sprouts and microgreens. **Trends in food science & technology**, 99:203-216.

Capítulo 3 - Produtividade e qualidade de rúcula-microvegetal sob diferentes intensidades e tempos de luz azul

RESUMO

O cultivo *indoor* propicia maior controle e eficiência dos fatores de produção. Entre eles, a possibilidade de adequar a luz à cada espécie possibilita estimular processos fisiológicos e bioquímicos, maximizando a produtividade e a qualidade do alimento produzido. Há carência de informação sobre adição de luz azul à branca no cultivo de rúcula-microvegetal. O objetivo do estudo foi avaliar o impacto da intensidade (5 e 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e tempo de exposição (1 e 2 horas por dia) da luz azul na produtividade e qualidade de rúcula microvegetal em cultivo *indoor*. O experimento foi realizado em esquema fatorial 2 x 2 com um tratamento adicional (sem aplicação de luz azul), em delineamento experimental inteiramente casualizado, com oito repetições. A produtividade de rúcula microvegetal foi afetada negativamente pela luz azul. Os teores de nutrientes não diferiram para os tratamentos estudados, exceto os teores de nitrogênio, sendo que o tratamento que recebeu 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de luz azul por uma hora, foi menor que os demais e para o teor de fósforo, em que o tratamento que recebeu 5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de luz azul por uma hora, foi significativamente menor que os demais. A qualidade da rúcula microvegetal foi incrementada com o aumento da intensidade de luz e com o aumento do tempo de exposição. Os teores de clorofilas, carotenoides, vitamina C, proteção antioxidante e compostos fenólicos tiveram valores máximos com 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de luz azul e 2 horas de tratamento.

Palavras-chaves: Adicional de luz azul; Cultivo indoor; *Eruca sativa*; Fluxo de fótons fotossinteticamente ativos; Qualidade da luz; Valor nutracêutico.

3.1 INTRODUÇÃO

O consumo de alimentos vegetais representa um dos componentes essenciais para a nutrição humana (Son e Oh, 2013), os quais são ricos em nutrientes, vitaminas e compostos antioxidantes importantes na prevenção de muitas doenças (Prashanth et al., 2015). Os *microgreens* são uma categoria de alimento crescente no mercado, especialmente, neste momento de franco crescimento do cultivo indoor e das denominadas fábricas de plantas, que podem produzir alimento durante todo o ano alheio às intempéries climáticas. Em cultivo indoor, entre os muitos fatores que afetam a produtividade da cultura e a qualidade do alimento, pela ausência do sol, a luz assume papel de destaque, devendo-se adequar, para cada espécie, a intensidade, a qualidade e o fotoperíodo. O ambiente no qual o vegetal se desenvolve influencia no seu crescimento e composição metabólica, sendo que a luz, apresentam efeitos diretos e indiretos sobre estes (Samuolienė et al., 2016; Kang et al., 2020).

A luz desencadeia a fotomorfogênese e a fotossíntese. A fotossíntese é influenciada principalmente pelos comprimentos de onda da luz vermelha (600 a 750 nm) e azul (390 a 500 nm) e é responsável pela obtenção de energia (Meneghin et al., 2018). Alinhado a fotossíntese ocorre fotomorfogênese, que é governada, majoritariamente, pelo espectro de luz que varia do violeta ao azul (280 a 500 nm) (Mawphlang e Kharshiing, 2017) e é responsável por desencadear mecanismos específicos de sinalização e resposta por meio de fotorreceptores responsáveis por perceber o ambiente e pela modulação de processos celulares, que adaptam a planta ao meio (Liu; Lin e Deng, 2020).

A luz azul apresenta grande influência sobre uma gama de respostas fisiológicas, que são traduzidas em processos metabólicos, elétricos e genéticos, os quais provocam alterações no desenvolvimento das plantas (Pennisi et al., 2020). Este comprimento de onda é importante para o desenvolvimento de cloroplastos, formação de clorofila, abertura estomática e produção de metabólitos primários e secundários nos tecidos vegetais, como os antioxidantes, além do acúmulo de macronutrientes e micronutrientes (Kopsell et al., 2015; Kang et al. 2016; Kang et al. 2020; Pennisi et al. 2020). Quando absorvida pela clorofila, o comprimento de onda azul promove um ganho energético muito alto.

Essa energia de excitação, além de ser utilizada na etapa fotoquímica, pode ser perdida como calor e/ou gerar danos ao aparato fotossintético por formar radicais livres, o que por sua vez estimula a síntese dos antioxidantes (Ouzounis *et al.*, 2015a; Ouzounis *et al.*, 2015b), os quais são um dos objetivos de manipulação de luz visando a melhoria da qualidade do alimento para o mercado cada vez mais atento à presença de alimentos ricos em fitoquímicos (Turner; Luo e Buchanan, 2020). Estudos observaram que, quando comparada com a luz vermelha e branca a luz azul impacta negativamente sobre o desenvolvimento de algumas espécies de rúcula e mostarda, o que resultou na diminuição da produção de massa destas (Johnson *et al.*, 2020; Kong *et al.*, 2023). A rúcula, *Eruca sativa*, pertence à família Brassicaceae, que é a principal família cultivada como microvegetal em ambiente indoor (Brazaitytė *et al.*, 2021). Além de apresentar elevado potencial de produção e acúmulo de minerais e antioxidantes (Yadav *et al.*, 2019; Wieth *et al.*, 2019). Embora haja algumas informações relacionadas aos efeitos da qualidade da luz sobre a produtividade desta, ainda são escassas as pesquisas sobre o assunto principalmente quanto aos efeitos da luz azul sobre a produção de metabolitos.

Somado aos avanços na iluminação monocromática por meio de LED, o desafio é encontrar a melhor combinação em tempo de aplicação da luz azul e a intensidade que proporcionem aumento da qualidade sem prejudicar a produtividade. Assim, a hipótese do estudo é que aplicar adicionalmente luz azul ao cultivo de rúcula-microvegetal com luz branca proporcionará aumento de fitoquímicos sem prejuízo do crescimento e produtividade.

O objetivo deste estudo foi verificar o efeito da irradiância e tempo de exposição da luz azul na produtividade e qualidade da rúcula-microvegetal, em cultivo indoor.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Local experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido em ambiente indoor, com controle de temperatura para 25 ± 2 °C, no Departamento de Biologia, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da UNESP, campus de Jaboticabal, SP (21°15'22" Sul, 48°18'58" Oeste e a 575 metros de altitude).

Cinco tratamentos foram aplicados à rúcula-microvegetal na fase clara de produção, sendo: intensidades de luz azul (5 e 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), tempos de aplicação (1 e 2 horas por dia) e um tratamento adicional referente à testemunha, na qual só foi aplicada luz branca (400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, por 14 horas ao dia) e ausência de luz azul. A luz azul foi aplicada após a irradiância com a luz branca. A intensidade de luz branca foi definida com base em estudo prévio (Capítulo 2).

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2 + 1, com oito repetições. Cada unidade experimental foi composta por três bandejas polipropileno transparente (25 x 24 x 5 cm de comprimento, largura e altura, respectivamente). Realizou-se a aferição de todos os fluxos de fótons fotossintéticos (FFF) com espectraloradiômetro (SpectraPen LM 500-PSI) (Figura 1).

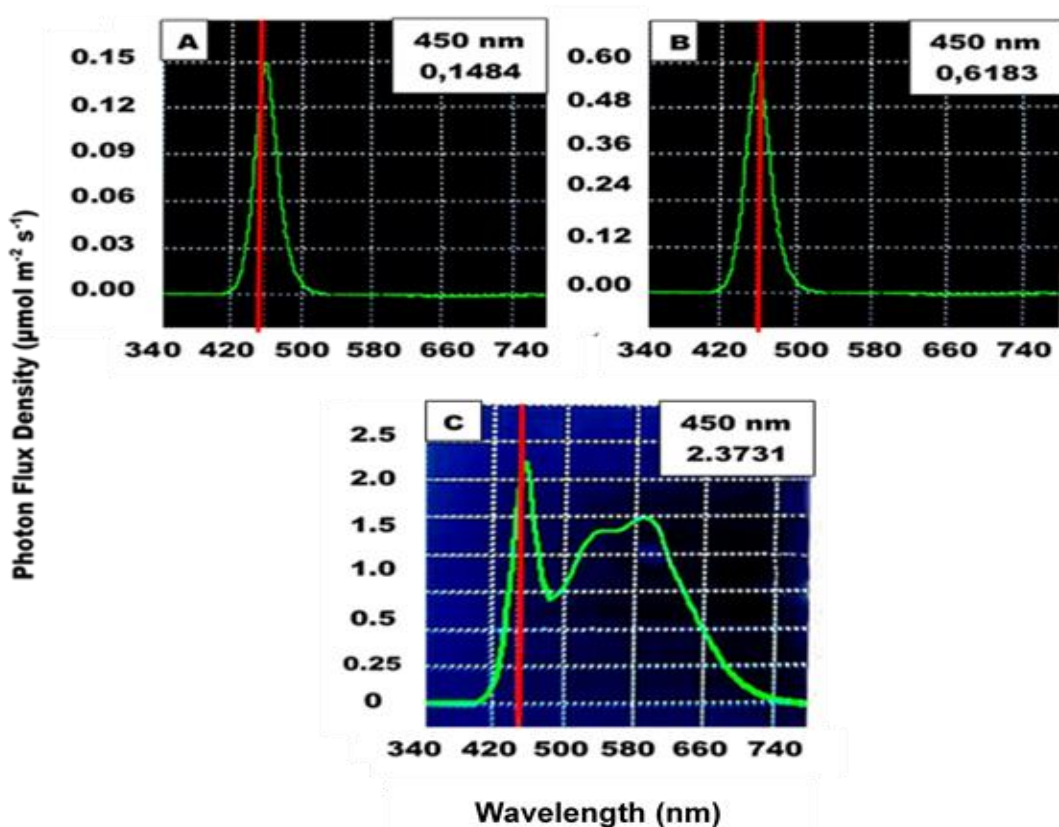


Figura 1. Caracterização espectral e de fluxo de fótons da LED azul com 5 (A) e 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (B) e da LED branca com 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (C). Com destaque para o ponto de pico espectral de 450 nm.

3.2.2 Instalação e condução dos experimentos

Em bandejas perfuradas em sua base com furos de 2 mm, espaçados em 5 x 2 cm, e preenchidas com substrato organomineral Bioplant® (pH $6 \pm 0,3$ e condutividade elétrica de $0,8 \text{ dS m}^{-1} \pm 0,06$) camada de 1 cm, previamente umedecido, foi realizada a semeadura da rúcula 'Folha Larga' na densidade de 102 g por m^2 . A densidade de semeadura baseou-se em Wieth *et al.* (2019) para repolho-roxo microvegetal. As sementes não foram incorporadas ao substrato.

Após a semeadura, as bandejas foram irrigadas, utilizando-se um micropulverizador, empilhadas e colocadas em ambiente escuro sob temperatura de $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Após três dias, quando os cotilédones já estavam presentes, as bandejas com as plântulas foram levadas para as bancadas com lâmpadas e colocadas em bandejas, nas quais era colocada solução nutritiva a cada 24 horas, para que as plântulas recebessem água e nutrientes por capilaridade (subirrigação). Foi utilizada a solução nutritiva recomendada por Furlani *et al.* (1999) para o cultivo de hortaliças folhosas em hidropônica NFT. Nos primeiros três dias, foram fornecidos 200 ml de solução nutritiva, a cada 24 horas, e a partir do quarto dia, 250 ml por bandeja, por dia. Os tratamentos de luz permaneceram até a colheita.

A colheita foi realizada nove dias após iniciado o período luminoso, com a completa expansão dos cotilédones e antecedendo o aparecimento da primeira folha verdadeira. A colheita foi realizada manualmente com a utilização de tesoura e o corte do hipocótilo das plântulas a 1 cm acima do substrato.

3.2.3 Avaliações realizadas

Na colheita, foram avaliadas: a) comprimento do hipocótilo (cm) antes de realizar o corte das plântulas, com o uso de régua milimetrada; b) produtividade (g m^{-2}): imediatamente após a retirada da luz, foi realizado o corte das plântulas a 1 cm de altura do substrato e pesada a massa fresca da parte aérea em balança com precisão de quatro casas decimais; c) massa seca da parte aérea da plântula: (g m^{-2}): obtida após secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65°C , d) área foliar ($\text{cm}^2/\text{plântula}$), usando o programa ImageJ (Rasband, 2018); e) teores de clorofilas *a* e *b* e carotenoides, com leitura espectrofotométrica e resultados expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$ de massa fresca de folhas, segundo o método de Lichtenthaler (1987); f)

Determinação de vitamina C por titulação com DCPIP: Em ambiente escuro 1g de folhas foi moída em 5 ml, de ácido oxálico 56 mM, utilizando pilão e almofariz (Ponting, 1943). Posteriormente esta foi filtrada a vácuo em papel de filtro Whatman No. 1 e o filtrado foi coletado. Alíquotas duplicadas de 1 ml do filtrado foram tituladas com DCPIP 3,73 mM (2,6-diclorofenolindofenol), até que o filtrado ficasse com uma cor rosa persistente. Por último o volume de DCPIP adicionado foi comparado com uma curva padrão de concentrações de ácido ascórbico; g) teores de N, P, K, Ca, Mg e S (g kg^{-1}) e de Fe e Zn (mg kg^{-1}): determinados na massa seca de plântulas, conforme metodologias descritas por Miyazawa *et al.* (2009); h) teor de fenóis: realizado por espectrofotometria de um extrato obtido segundo Larrauri, Ruperez e Saura-Calixto (1997) com a utilização de soluções de acetona 70% e metanol 50% e posterior adição do reagente Folin-Ciocalteu, sendo baseado em uma reação de oxidação-redução alcalina, onde o íon fenolato é oxidado e o reagente de Folin é reduzido. Após a reação, uma cor azul é produzida, e a leitura desta é realizada em uma absorbância de 700 nm. i) Proteção antioxidante (PAO): 1 g da amostra foi pesada em ambiente escuro, e colocada em um béquer, onde se adicionou 5ml de metanol, 50%, homogeneizou-se e o deixou em repouso por 60 minutos. Posteriormente este foi centrifugado a 15.000 rpm durante 15 minutos, e o sobrenadante 1 foi colocado em um balão volumétrico de 10 ml. Em uma segunda etapa adicionou-se 4 ml de acetona 70% ao resíduo da primeira extração, e se homogeneizou o deixando em repouso por 60 minutos e este foi centrifugado a 15.000 rpm durante 15 minutos, recolheu-se, o sobrenadante 2 no mesmo balão volumétrico de 10 ml. Posteriormente o balão foi completado com água destilada, resultando no extrato. Em uma terceira etapa, em um tubo de ensaio foram adicionados 0,1 ml do extrato e 3,9 ml do radical DPPH 0,06 mM que foi homogeneizado em agitador de tubos. Utilizar álcool metílico, como branco, para calibrar o espectrofotômetro. As leituras foram feitas a 515 nm segundo descrito por Larrauri, Rupérez e Saura-Calixto (1997).

3.2.4 Análise estatística

Foram realizadas as análises de variância dos dados. Teste t e teste de Tukey foram usados para diferenciação das médias usando o programa AgroEstat (Barbosa e Maldonado Júnior, 2015).

3.3 RESULTADOS

Houve interação dos fatores FFF e tempo de aplicação da luz azul na produtividade, massa seca da parte aérea, comprimento do hipocótilo, área cotiledonar, compostos fenólicos, teor de nitrogênio e teor de fósforo (Tabelas 1 a 3). Para os parâmetros biométricos (Tabelas 4 e 5), exceto massa seca, plântulas que receberam menos tempo de luz azul apresentaram maiores valores.

Plântulas que receberam $5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ por duas horas apresentaram maior biometria que aquelas que receberam $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ pelo mesmo tempo. As características biométricas diferiram minimamente em relação à testemunha quando receberam apenas uma hora de luz azul, independente da intensidade. Com o aumento do período para duas horas, os parâmetros biométricos diminuíram 22,6 e 26,86% na produtividade, 6,30 e 14,68% no comprimento do hipocótilo e 44,00 e 53,23% na área cotiledonar quando comparados à testemunha nas intensidades de $5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de luz azul, respectivamente.

Tabela 1. Resumo das análises de variância para produtividade (Prod), massa seca da parte aérea (MSPA), comprimento do hipocótilo (CH), área cotiledonar (AC) de rúcula-microvegetal em função dos fatores fluxo de fótons fotossintéticos azul (FFF) e tempo de aplicação da luz (TLA) e da ausência de luz azul (Testemunha).

	Valores de F			
	Prod	MSPA	CH	AC
FFF	10,95**	0,18ns	91,36**	53,64**
TLA	1819,29**	2,35ns	422,06**	6353,78**
FFF*TLA	17,35**	5,81*	61,65**	79,96**
Fat*Test	389,89**	51,12**	106,91**	1407,29**
C.V. (%)	1,79	6,51	1,42	2,09

**, * e ns correspondem a significativo pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Tabela 2. Resumo das análises de variância para clorofila *a* (Clor *a*) e *b* (Clor *b*), carotenoides (Car) e Vitamina C (Vit C), fenóis e poder antioxidante (PAO) de rúcula-microvegetal em função dos fatores fluxo de fótons fotossintéticos azul (FFF) e tempo de aplicação da luz (TLA) e da ausência de luz azul (Testemunha).

	Valores de F					
	Clor <i>a</i>	Clor <i>b</i>	Car	Vit. C	Fenóis	PAO
FFF	39,54**	115,27**	98,16**	257,01**	112,41**	368,71**
TLA	0,63 ^{ns}	13,63**	2,46 ^{ns}	163,76**	29,04**	13,06**
FFF*TLA	2,89 ^{ns}	1,31 ^{ns}	1,79 ^{ns}	0,41 ^{ns}	27,44**	0,58 ^{ns}
Fat*Test	90,89**	175,06**	163,68*	636,91*	50,97**	429,12**
C.V. (%)	19,38	12,93	15,27	7,62	6,41	2,00

**, * e ^{ns} correspondem a significativo pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Tabela 3. Resumo das análises de variância para teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe) e zinco (Zn) na massa seca da parte aérea de rúcula microvegetal em função dos fatores fluxo de fótons fotossintéticos azul (FFF) e tempo de aplicação da luz (TLA) e da ausência de luz azul (Testemunha).

	Valores de F							
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn
FFF	1,03 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	4,22*	3,39 ^{ns}	0,41 ^{ns}
TLA	0,58 ^{ns}	11,81**	1,12 ^{ns}	0,42 ^{ns}	3,22 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,55 ^{ns}	1,17 ^{ns}
FFF*TLA	5,38*	4,56*	0,25 ^{ns}	3,48 ^{ns}	1,81 ^{ns}	0,15 ^{ns}	3,39 ^{ns}	1,12 ^{ns}
Fat*Test	4,59*	59,90**	0,22 ^{ns}	19,38**	0,69 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}	4,05 ^{ns}
C.V. (%)	4,89	4,32	25,93	9,36	7,96	7,21	32,58	20,65

**, * e ^{ns} correspondem a significativo pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Tabela 4. Produtividade (Prod) e massa seca da parte aérea (MS) de rúcula-microvegetal em função do fluxo de fótons fotossintéticos (FFF) e tempo de aplicação da luz azul e da ausência de luz azul (Testemunha).

FFF ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Tempo de luz azul (h)			
	1	2	1	2
	Prod (g m^{-2})		MS (g m^{-2})	
5	3907,40Aa	3044,75Ba*	167,04Aa*	170,56Aa*
20	3926,57Aa	2877,21Bb*	174,99Aa*	159,18Ba*
Testemunha	3933,79		199,99	

Para cada característica, médias na mesma linha e coluna seguidas por letras maiúsculas e minúsculas iguais, respectivamente, não diferem pelo teste Tukey ($p > 0,05$); * média difere da testemunha pelo teste t ($p < 0,05$).

Tabela 5. Comprimento do hipocótilo (CH) e área cotiledonar (AC) de rúcula-microvegetal em função do fluxo de fótons fotossintéticos (FFF) e tempo de aplicação da luz azul e da ausência de luz azul (Testemunha).

FFF ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Tempo de luz azul (h)			
	1	2	1	2
	CH (cm)		AC ($\text{cm}^2 \text{planta}^{-1}$)	
5	8,37Aa	7,85Ba*	2,43Aa*	1,39Ba*
20	8,30Aa	7,15Bb*	2,45Aa	1,16Bb*
Testemunha	8,38		2,48	

Para cada característica, médias na mesma linha e coluna seguidas por letras maiúsculas e minúsculas iguais, respectivamente, não diferem pelo teste Tukey ($p > 0,05$); * média difere da testemunha pelo teste t ($p < 0,05$).

Para os parâmetros clorofila a e carotenoides (Tabela 6), as médias obtidas para uma e duas horas de luz azul não diferiram entre si; contudo, as plântulas que receberam de $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ apresentaram maiores teores que aquelas que receberam $5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Quanto aos parâmetros clorofila b, vitamina C e poder antioxidante (Tabela 6), maiores intensidades e tempo de luz azul promoveram maiores teores. Os teores clorofilas, carotenoides, vitamina C e poder antioxidante responderam semelhantemente ao aumento de FFF e foram maximizados com $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Com esta intensidade, os teores de clorofila a, clorofila b, carotenoides, vitamina C e poder antioxidante aumentaram em 209,0; 198,5; 272,7; 280,0 e 26,7%,

respectivamente, quando comparados às plântulas que não receberam luz azul. Em relação aos teores obtidos quando as plântulas foram irradiadas com $5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ proporcionou incrementos de 46,3; 55,2; 59,7; 46,2 e 14,1% para clorofila *a*, clorofila *b*, carotenoides, vitamina C e poder antioxidante, respectivamente. Os parâmetros clorofila *b*, vitamina C e poder antioxidante também aumentaram com o tempo de exposição a luz azul. Com aumentos de 164,6; 238,2 e 20,3% de clorofila *b*, vitamina C e poder antioxidante obtidos com duas horas de luz azul quando comparados à testemunha e aumentos de 127,7; 150,2 e 18,6% quando comparados à exposição por uma hora. Os parâmetros clorofila *a* e carotenoides não apresentaram diferença significativamente para o tempo de exposição a luz azul, contudo os teores aumentaram em média 167,67% e 203,21% em relação à testemunha.

Tabela 6. Teores de clorofila *a* (Chlor *a*), clorofila *b* (Chlor *b*), carotenoides (Car), vitamina C (Vit.C) e poder antioxidante (PAO) de rúcula-microvegetal em função dos fatores fluxo de fótons fotossintéticos e tempo de aplicação da luz azul e da ausência de luz azul (Testemunha).

	Chlor <i>a</i> ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Chlor <i>b</i> ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Car ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Vit.C (mg 100g ⁻¹)	PAO (%)
FFF ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)					
5	1,88b*	1,25b*	0,77b*	88,06b*	74,37b*
20	2,75a*	1,94a*	1,23a*	128,70a*	84,87a*
Tempo de luz azul (h)					
1	2,26a*	1,48b*	0,96a*	92,16b*	79,63b*
2	2,37a*	1,72a*	1,04a*	124,60a*	80,61a*
Testemunha	0,84	0,65	0,33	36,84	67,00

Para cada característica, médias na mesma coluna seguidas por letras iguais não diferem pelo teste Tukey ($p > 0,05$); * média difere da testemunha pelo teste t ($p < 0,05$).

Para os teores de potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro e zinco (Tabela 3), não houve diferença significativa entre os tratamentos. A intensidade da luz azul não afetou o teor de nitrogênio (Tabela 7) quando esta foi aplicada por duas horas. No entanto, no menor tempo maior teor foi obtido com a menor irradiância. Para o teor de fósforo (Tabela 8), menores intensidade e tempo proporcionaram menores teores.

Quanto aos compostos fenólicos (Tabela 8), as plantas que receberam luz azul na intensidade de $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ por duas horas apresentaram maior teor.

Tabela 7. Teores de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe) e zinco (Zn) de rúcula-microvegetal em função do fluxo de fótons fotossintéticos e tempo de aplicação da luz azul e da ausência de luz azul (Testemunha).

	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn
	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹) ¹⁾	(mg kg ⁻¹)
FFF ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)						
5	34,4a	15,1a*	7,0a	17,3a	433a	134a*
20	32,9a	15,0a*	6,9a	16,4a	536a	141a
Tempo de luz azul (h)						
1	35,3a	15,2a*	6,8a	16,7a	464a	132a*
2	32,1a	14,9a*	7,1a	16,9a	506a	143a
Testemunha	32,1	12,7	6,8	16,8	497	161

Para cada característica, médias na mesma coluna seguidas por letras iguais não diferem pelo teste Tukey ($p > 0,05$); * média difere da testemunha pelo teste t, $p < 0,05$

Tabela 8. Teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e compostos fenólicos (Fenóis) de rúcula-microvegetal em função do fluxo de fótons fotossintéticos e tempo de aplicação da luz azul e da ausência de luz azul (Testemunha).

Tempo de luz azul (h)						
FFF	1	2	1	2	1	2
($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	N (g kg ⁻¹)		P (g kg ⁻¹)		Fenóis	
					(mg EAG 100 g ⁻¹ MF)	
5	47,4Aa*	46,2Aa*	21,3Aa*	19,6Bb*	178,41Ab	179,08Ab
20	44,8Bb	47,2Aa*	21,0Aa*	20,6Aa*	202,15Ba*	249,17Aa*
Testemunha	44,5		17,9		166,88	

Para cada característica, médias na mesma linha e coluna seguidas por letras maiúsculas e minúsculas iguais, respectivamente, não diferem pelo teste Tukey ($p > 0,05$); * média difere da testemunha pelo teste t ($p < 0,05$).

3.4 DISCUSSÃO

A qualidade da luz está envolvida na fotomorfogênese das plantas e consequentemente no metabolismo destas, permitindo a produção de culturas hortícolas enriquecidas nutricionalmente, através da adição de luz azul, contudo esta resposta depende da espécie (Jones, 2018; Dou et al., 2017; Landi et al., 2020). De modo geral, a luz azul adicionada à luz branca prejudicou a biometria da planta e tanto mais acentuado foi o prejuízo à medida que maior intensidade e tempo de exposição à luz azul os microvegetais permaneceram (Tabela 1 e 2). Os piores resultados obtidos com maior FFF e tempo de exposição pode ser um indicativo de fotoestresse, que leva a um decréscimo na taxa de fixação de carbono, resultando em menor crescimento e ganho de massa. Snowden et al. (2016) e Noguchi e Amaki (2016) também verificaram redução do crescimento quando plantas de *Solanum lycopersicum*, *Cucumis sativus* e *Capsicum annum* quando expostas a LED azul.

Os teores clorofilas, carotenoides, vitamina C e poder antioxidante responderam semelhantemente ao aumento de FFF e foram maximizados com 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Tabela 3). A luz azul influencia vários processos e estruturas fisiológicas da planta, como o aparato fotossintético (Huché-Thélier et al., 2016). Os efeitos desta no aparato fotossintético estão associados a alta absorção da sua energia por pigmentos fotossintéticos como as clorofilas e os carotenoides. É conhecido que em muitas espécies, a luz azul monocromática causa aumento nos teores de clorofila a, b e carotenoides em comparação com aqueles sob luz multiespectral ou vermelha (Zivcak et al., 2014; Brunetti et al., 2015). Tal fato se deve a necessidade de aumentar a capacidade fotossintética das folhas, adaptando estas a um meio com alta energia lumínica (Zivcak et al., 2014; Brunetti et al., 2015; Petroutsos et al., 2016; Zivcak et al., 2018; Hamdani et al., 2019).

Quanto ao aumento da vitamina C, poder antioxidante (Tabela 3) e compostos fenólicos (Tabela 5), a luz azul estimula a síntese de metabólitos secundários, como os antioxidantes (Wang et al., 2016; Wang et al., 2018), que tem a função de inibir ou reduzir os danos causados pelos radicais livres resultantes do excesso de energia da luz azul (Samoulien et al., 2013). A correlação positiva entre a proteção antioxidante

e o aumento da intensidade de luz azul também foi encontrada em microvegetais de mostarda, couve-tatsoi e couve-rábano por Samoulien^é et al. (2013). O mesmo foi relatado por Brazaityt^é et al. (2021), em microvegetais de mostarda (*Brassica juncea* 'Red Lace') e couve (*Brassica napus* 'Red Russian') para os compostos fenólicos. Os antioxidantes são importantes na avaliação da qualidade de microvegetais, pois pode proteger as células humanas da oxidação, eliminando radicais livres e inibindo a peroxidação lipídica, evitando, problemas causados pelo consumo excessivo de aditivos sintéticos (Akbari et al., 2022).

Quanto aos nutrientes avaliados no presente estudo (Tabela 3), os diferentes tempos de exposição e intensidade de luz azul não diferiram significativamente, sendo que os teores observados para potássio, cálcio, magnésio, enxofre e ferro não diferiram dos teores observados em plântulas que não receberam luz azul (testemunha). Para os parâmetros teor de nitrogênio, teor de fósforo (tabela 4) o efeito da interação entre o FFF e tempo de aplicação da luz foi significativo. O teor de nitrogênio foi menor apenas para o tratamento que recebeu $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ pelo período de uma hora, quanto ao fósforo apenas as plântulas que receberam $5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ por duas horas obtive média significativamente menor. Estes resultados divergem dos observados por Brazaityt^é et al. (2021), que ao avaliarem proporções de luz azul e vermelha, observaram aumento nos teores de nutrientes em microvegetais de mostarda (*Brassica juncea* 'Red Lace') e couve (*Brassica napus* 'Red Russian') com crescente proporção de luz azul. Segundo Kopsell et al. (2013), a luz azul aumentou o conteúdo de nutrientes minerais em microgreens de brócolis. Contudo segundo estudo de Dorais et al., 2019, os teores de N, P, K, Ca, Mg e Fe em manjericão diminuíram com o aumento da luz azul. Tais diferenças podem ser justificadas devidos as diferenças entre espécies, cultivares e estágios de desenvolvimento, densidade de fluxo de fótons e do comprimento de onda de pico, uma vez que em casos onde a luz branca apresenta pico de onda no azul, esta pode atingir a necessidade para planta alcançar seu potencial de acúmulo de nutrientes (Pennisi et al., 2019).

3.5 CONCLUSÃO

A aplicação adicional de luz azul afeta negativamente o desenvolvimento das plântulas resultando em decréscimo da produtividade, que foi mais acentuado com o aumento do tempo de exposição e da intensidade luminosa.

A qualidade dos microvegetais de rúcula é influenciada positivamente pela luz azul, verificando-se incremento dos teores de clorofilas, carotenoides, vitamina C, compostos fenólicos e de poder antioxidante de rúcula-microvegetal.

Para o intervalo estudado, a aplicação adicional de luz azul não afeta os teores de potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro e zinco, mas maior tempo de luz azul e menor intensidade favorece aumento de nitrogênio, enquanto fósforo é incrementado por mais tempo e intensidade de luz azul.

3.6 REFERÊNCIAS

- Akbari B, Baghaei-Yazdi N, Bahmaie M, Mahdavi-Abhari F (2022) The role of plant-derived natural antioxidants in reduction of oxidative stress. **BioFactors**, 48:611-633.
- Bantis F, Ouzounis T, Radoglou K (2016) Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum*, but variably affects transplant success. **Scientia Horticulturae**, 198:277-283.
- Barbosa JC e Maldonado JW (2015) Experimentação agrônômica & AgroEstat: Sistemas para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda., 396 p.
- Brazaitytė A, Sakalauskienė S, Samuolienė G, Jankauskienė J, Viršilė A, Novičkovas A, Duchovskis P (2015) The effects of LED illumination spectra and intensity on carotenoid content in Brassicaceae microgreens. **Food chemistry**, 173:600-606.
- Brazaitytė A, Miliauskienė J, Vaštakaitė-Kairienė V, Sutulienė R, Laužikė K, Duchovskis P, Małek S (2021) Effect of different ratios of blue and red led light on brassicaceae microgreens under a controlled environment. **Plants**, 10:801.
- Brunetti C, Guidi L, Sebastiani F, Tattini M (2015) Isoprenoids and phenylpropanoids are key components of the antioxidant defense system of plants facing severe excess light stress. **Environmental and Experimental Botany**, 119:54-62.
- Carvalho SD, Schwieterman ML, Abrahan CE, Colquhoun TA, Foltá KM (2016) Light quality dependent changes in morphology, antioxidant capacity, and volatile production in sweet basil (*Ocimum basilicum*). **Frontiers in plant science**, 7:1328.

Clifford T, Constantinou CM, Keane KM, West DJ, Howatson G, Stevenson EJ (2017) The plasma bioavailability of nitrate and betanin from *Beta vulgaris rubra* in humans. **European journal of nutrition**, 56:1245-1254.

Dou H, Niu G, Gu M, Masabni JG (2017). Effects of light quality on growth and phytonutrient accumulation of herbs under controlled environments. **Horticulturae**, 3:36.

Furlani PR, Bolonhezi D, Silveira LCP, Faquin V (1999) Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas. Informe Agropecuário, 20:90-98.

Hamdani S, Khan N, Perveen S, Qu M, Jiang J, Govindjee A, Zhu, XG (2019). Changes in the photosynthesis properties and photoprotection capacity in rice (*Oryza sativa*) grown under red, blue, or white light. **Photosynthesis research**, 139:107-121.

Huché-Thélier L, Crespel, L, Gourrierc J, Morel P, Sakr S, Leduc N (2016) Light signaling and plant responses to blue and UV radiations—Perspectives for applications in horticulture. **Environmental and Experimental Botany**, 121:22-38.

Johnson RE, Kong Y, Zheng Y (2020) Elongation growth mediated by blue light varies with light intensities and plant species: A comparison with red light in arugula and mustard seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, 169:103898.

Jones MA (2018). Using light to improve commercial value. **Horticulture Research**, 5.

Kang, WH, Park, JS, Park KS, Son JE (2016) Leaf photosynthetic rate, growth, and morphology of lettuce under different fractions of red, blue, and green light from light-emitting diodes (LEDs). **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, 57:573-579.

Kang, LK, Huang YJ, Lim WT, Hsu PH, Hwang PA (2020) Growth, pigment content, antioxidant activity, and phytoene desaturase gene expression in *Caulerpa lentillifera* grown under different combinations of blue and red light-emitting diodes. *Journal of Applied Phycology*, 32:1971-1982.

Kong Y, Masabni J, Niu G (2023) Effect of Temperature Variation and Blue and Red LEDs on the Elongation of Arugula and Mustard Microgreens. **Horticulturae**, 9:608.

Kopsell DA, & Sams CE (2013) Increases in shoot tissue pigments, glucosinolates, and mineral elements in sprouting broccoli after exposure to short-duration blue light from light emitting diodes. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 138:31-37.

Kopsell DA, Sams CE, Morrow RC (2015) Blue wavelengths from LED lighting increase nutritionally important metabolites in specialty crops. **HortScience**, 50:1285-1288.

Landi M, Zivcak M, Sytar O, Brestic M, Allakhverdiev SI (2020) Plasticity of photosynthetic processes and the accumulation of secondary metabolites in plants in response to monochromatic light environments: A review. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, 1861:148131.

Larrauri JA, Rupérez P, Saura-Calixto F (1997) Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of agricultural and food chemistry**, 45:1390-1393.

Lazzarini LES, Pacheco FV, Silva ST, Coelho AD, Medeiros APR., Bertolucci SKV, Soares JDR. (2017) Uso de diodos emissores de luz (led) na fisiologia de plantas cultivadas–revisão. **Scientia Agraria Paranaensis**, 16:137-144.

Lichtenthaler HK (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In **Methods in enzymology** . Academic Press 148:350-382)

Liu H, Chen Y, Hu T, Zhang S, Zhang Y, Zhao T, Kang Y, (2016) The influence of light-emitting diodes on the phenolic compounds and antioxidant activities in pea sprouts. **Journal of Functional Foods**, 25:459-465.

Mawphlang OI, Kharshiing EV (2017) Photoreceptor mediated plant growth responses: implications for photoreceptor engineering toward improved performance in crops. **Frontiers in plant science**, 8:1181.

Meneghin E, Volpato A, Cupellini L, Bolzonello L, Jurinovich S, Mascoli V, Collini E (2018) Coherence in carotenoid-to-chlorophyll energy transfer. **Nature Communications**, 9:3160.

Noguchi A, Amaki W (2016, May) Effects of light quality on the growth and essential oil production in Mexican mint. In VIII International Symposium on Light in Horticulture. **Resumos**. Mexico. p 239-244.

Ouzounis T, Fretté X, Ottosen CO, Rosenqvist E (2015) Spectral effects of LEDs on chlorophyll fluorescence and pigmentation in *Phalaenopsis* ‘Vivien’ and ‘Purple Star’. **Physiologia Plantarum**, 154:314-327.

Pennisi G, Blasioli S, Cellini A, Maia L, Crepaldi A, Braschi I, Gianquinto G (2019) Unraveling the role of red: blue LED lights on resource use efficiency and nutritional properties of indoor grown sweet basil. **Frontiers in plant science**, 10:305.

Pennisi G, Pistillo A, Orsini F, Cellini A, Spinelli F, Nicola S, Marcelis LF (2020). Optimal light intensity for sustainable water and energy use in indoor cultivation of lettuce and basil under red and blue LEDs. **Scientia Horticulturae**, 272, 109508.

Petroutsos D, Tokutsu R, Maruyama S, Flori S, Greiner A, Magneschi L, Minagawa J (2016) A blue-light photoreceptor mediates the feedback regulation of photosynthesis. **Nature**, 537:563-566.

Piovene C, Orsini F, Bosi S, Sanoubar R, Bregola V, Dinelli G, Gianquinto G (2015) Optimal red: blue ratio in led lighting for nutraceutical indoor horticulture. **Scientia Horticulturae**, 193:202-208.

Pocock, T (2017) Influence of light-emitting diodes (LEDs) on light sensing and signaling networks in plants. **Light Emitting Diodes for Agriculture: Smart Lighting**, 37-58.

Ponting JD (1943) Extraction of ascorbic acid from plant materials. Relative suitability of various acids. **Indutst. Eng. Chem. Anal**, 15:389-391.

Prashanth L, Kattapagari KK, Chitturi RT, Baddam VRR, Prasad LK (2015). A review on role of essential trace elements in health and disease. **Journal of dr. ntr university of health sciences**, 4:75-85.

Purquerio, LFV, Moraes CC, Factor, T. L., & Calori, A. H. **Bioeconomia**.

Rasband WS (2011). Imagej, us national institutes of health, bethesda, maryland, usa. Disponível em <<http://imagej.nih.gov/ij/>>. Acesso em 8 jun.2020.

Samuolienė G, Brazaitytė A, Jankauskienė J, Viršilė A, Sirtautas R, Novičkovas A, Duchovskis P (2013) LED irradiance level affects growth and nutritional quality of Brassica microgreens. **Central European Journal of Biology**, 8:1241-1249.

Snowden MC, Cope KR, Bugbee B (2016) Sensitivity of seven diverse species to blue and green light: Interactions with photon flux. **PLoS One**, 11:e0163121.

Turner ER, Luo Y, Buchanan RL (2020) Microgreen nutrition, food safety, and shelf life: A review. **Journal of food science**, 85:870-882.

Wang, Q., Liu, Q., Wang, X., Zuo, Z., Oka, Y., & Lin, C. (2018). New insights into the mechanisms of phytochrome–cryptochrome coaction. **New Phytologist**, 217(2), 547-551.

Wang Q, Zuo Z, Wang X, Gu L, Yoshizumi T, Yang Z, Lin C (2016) Photoactivation and inactivation of Arabidopsis cryptochrome 2. **Science**, 354:343-347.

Wieth AR, Pinheiro WD, Duarte TDS (2019) Substratos e concentrações de nutrientes para produção de microgreens de brócolis em sistema hidropônico. **Revista Cultura Agrônômica. Ilha Solteira, SP**. 28: 422-434.

Wilson RL, Kim H, Bakshi A, Binder BM (2014) The ethylene receptors ETHYLENE RESPONSE1 and ETHYLENE RESPONSE2 have contrasting roles in seed germination of Arabidopsis during salt stress. **Plant Physiology**, 165:1353-1366.

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

Yadav LP, Koley TK, Tripathi A, Singh S (2019) Antioxidant potentiality and mineral content of summer season leafy greens: Comparison at mature and microgreen stages using chemometric. **Agricultural Research**, 8:165-175.

Zivcak M, Brestic M, Kalaji HM, Govindjee (2014) Photosynthetic responses of sun- and shade-grown barley leaves to high light: is the lower PSII connectivity in shade leaves associated with protection against excess of light?. **Photosynthesis research**, 119:339-354.

Zivcak M, Brestic M, Botyanszka L, Chen YE, Allakhverdiev SI (2019) Phenotyping of isogenic chlorophyll-less bread and durum wheat mutant lines in relation to photoprotection and photosynthetic capacity. **Photosynthesis research**, 139:239-251.