

INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL-IFRS
BENTO GONÇALVES

EDUARDO GABRIEL FERRONATTO

**PRODUÇÃO DE MICROVERDES DE AGRIÃO COM SUPLEMENTAÇÃO
LUMINOSA (LED)**

BENTO GONÇALVES

2024

EDUARDO GABRIEL FERRONATTO

**PRODUÇÃO DE MICROVERDES DE AGRIÃO COM SUPLEMENTAÇÃO
LUMINOSA (LED)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Tecnologia em Horticultura no Instituto Federal do Rio Grande do Sul - Campus Bento Gonçalves, como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Horticultura.

Orientador: Prof. Miguel Angelo Sandri

Bento Gonçalves

2024

AGRADECIMENTO

A realização deste trabalho só foi possível graças ao apoio e dedicação de muitas pessoas que estiveram ao meu lado, as quais manifesto a minha gratidão.

Primeiramente agradeço a Deus, pela força e determinação ao longo desta jornada e pelos desafios encontrados ao longo dela.

Aos meus pais, Ieda e Vicente, meu irmão Roberto e minha namorada Luana, pelo amor incondicional, suporte emocional e incentivo em cada etapa da minha vida.

Ao meu orientador, Miguel Sandri pela paciência, orientação e valiosas contribuições durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas, que de maneira direta ou indireta contribuíram para minha formação, pelos momentos de troca de conhecimento e motivação. Especialmente a minha colega Eduarda Cettolin que esteve comigo desde o início desta jornada acadêmica, que compartilhou comigo conhecimentos, ideias e momentos de motivação, tornando essa caminhada mais leve e inspiradora.

À instituição de ensino e aos professores que me acompanharam, pelo suporte técnico e pelas valiosas lições, que contribuíram para minha formação acadêmica.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta trajetória, deixando sua marca neste trabalho e no meu crescimento como pessoa e profissional.

RESUMO

Os microverdes, plântulas com folhas cotiledonares, emergem como uma solução viável para o cultivo em pequenos ambientes, destacando-se por seu sabor intenso e alta concentração de nutrientes, sendo considerados superalimentos. Originados na Califórnia na década de 1980, os microverdes ganharam popularidade em restaurantes ao redor do mundo. A tecnologia de lâmpadas de LED se destaca na produção de microverdes, permitindo o controle da intensidade e espectro da luz, essenciais para o crescimento e qualidade das plantas. O uso de LEDs proporciona vantagens significativas, como menor consumo de energia e menor aquecimento, permitindo que sejam posicionados próximos às plantas. Este estudo visa avaliar o crescimento e desenvolvimento de microverdes de agrião sob diferentes condições de luminosidade em um ambiente controlado. O experimento foi realizado na propriedade de Eduardo Gabriel Ferronato, em Santa Tereza – RS, e foi composto por três tratamentos: 1) iluminação natural indireta e escuro à noite; 2) luz natural indireta e luz artificial à noite; 3) ambiente totalmente escuro com luz artificial 24 horas. Cada unidade experimental foi constituída de bandejas de 18 cm de diâmetro, preenchidas com 200 g de substrato Carolina Soil, umedecido com solução organomineral. As sementes de agrião, adquiridas da empresa ISLA, foram semeadas e irrigadas diariamente. A temperatura e umidade do ambiente foram monitoradas, e a altura das plântulas foi registrada a cada dois dias. A colheita foi realizada quando as plântulas atingirem 6 a 8 cm de altura. As medições incluíram o comprimento e a largura dos cotilédones, além da massa fresca e seca das plantas, altura e percentagem de água, os dados foram analisados estatisticamente utilizando o software SISVAR, através da análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade. Este estudo contribuirá para a compreensão do impacto das condições de luminosidade no cultivo de microverdes, visando otimizar práticas agrícolas e melhorar a produção de alimentos saudáveis. Os resultados indicam que o tratamento com luz artificial proporcionou os melhores resultados em termos de massa fresca (4,94 g), massa seca (0,38 g) e altura (6,30 cm), sugerindo que esse tipo de iluminação favorece o crescimento dos microverdes de agrião devido à sua alta intensidade luminosa e controle do espectro. A análise das condições ambientais revelou que a estabilidade das temperaturas e a umidade relativa do ar tiveram papel crucial no desenvolvimento dos microverdes. Os tratamentos que mantiveram a temperatura e a umidade estáveis favorecem a germinação e o crescimento das plantas, enquanto flutuações bruscas na umidade mínima podem ter causado estresse hídrico,

impactando negativamente o desenvolvimento. Os dados deste estudo são valiosos para otimizar o cultivo de microverdes de agrião, especialmente em sistemas de cultivo indoor e ambientes urbanos.

Palavras-chave: Agrião, Iluminação de LED, Alimentos funcionais, Qualidade das plantas.

ABSTRACT

Microgreens, seedlings with cotyledonous leaves, are emerging as a viable solution for growing in small spaces, standing out for their intense flavor and high concentration of nutrients, and are considered superfoods. Originating in California in the 1980s, microgreens have gained popularity in restaurants around the world. LED lamp technology stands out in the production of microgreens, allowing control of light intensity and spectrum, essential for plant growth and quality. The use of LEDs provides significant advantages, such as lower energy consumption and less heating, allowing them to be positioned close to the plants. This study aims to evaluate the growth and development of watercress microgreens under different lighting conditions in a controlled environment. The experiment was carried out on Eduardo Gabriel Ferronato's property, in Santa Tereza - RS, and consisted of three treatments: 1) indirect natural lighting and darkness at night; 2) indirect natural light and artificial light at night; 3) completely dark environment with 24-hour artificial light. Each experimental unit consisted of 18 cm diameter trays filled with 200 g of Carolina Soil substrate moistened with an organomineral solution. Watercress seeds, purchased from ISLA, were sown and irrigated daily. The temperature and humidity of the environment were monitored, and the height of the seedlings was recorded every two days. The harvest was performed when the seedlings reached 6 to 8 cm in height. Measurements included the length and width of the cotyledons, as well as the fresh and dry mass of the plants. The data were statistically analyzed using the SISVAR software, through analysis of variance and Tukey's test at 5% probability. This study will contribute to the understanding of the impact of light conditions on the cultivation of microgreens, aiming to optimize agricultural practices and improve the production of healthy foods. The results indicate that the treatment with artificial light provided the best results in terms of fresh mass (4.94 g), dry mass (0.38 g) and height (6.30 cm), suggesting that this type of lighting favors the growth of watercress microgreens due to its high light intensity and spectrum control. The analysis of environmental conditions revealed that temperature stability and relative humidity played a crucial role in the development of microgreens. Treatments that maintained stable temperature and humidity favored germination and plant growth, while sudden fluctuations in

minimum humidity may have caused water stress, negatively impacting development. The data from this study are valuable for optimizing the cultivation of watercress microgreens, especially in indoor cultivation systems and urban environments.

Keywords: Microgreens, LED lighting, Functional foods.

INTRODUÇÃO

Os microverdes, como chamados aqui no Brasil, surgem como uma possibilidade de tornar viável o cultivo em pequenos ambientes. Eles são definidos como plântulas com folhas cotiledonares, podendo ou não conter suas primeiras folhas verdadeiras. Eles surgiram pela primeira vez na Califórnia nos Estados Unidos por volta de 1980 e conquistaram o seu lugar em diversos restaurantes do mundo. Possuem um sabor intenso e uma alta concentração de nutrientes, sendo considerados um superalimento (CHOE et al., 2018).

A Nasa mostrou interesse pelo assunto pela facilidade e capacidade de produzir um alimento com alto valor nutricional em tão pouco tempo no espaço. A tendência hoje é que sua popularidade continue aumentando e mais pessoas possam consumi-los e até mesmo produzi-los em casa. Segundo Vergani (2010), o fornecimento adequado de alimentos à tripulação no espaço é crítico. Alimentos naturais podem diminuir os efeitos de estresse, principalmente em longos períodos de tempo, como a perda de peso, mudanças hematológicas, estresse citotóxico, oxidação proteica e aumento de proteólise muscular, que comprometem a saúde e causam mudanças no sistema nervoso.

O cultivo de microverdes é considerado uma agricultura indoor. Feita em ambientes controlados é uma tecnologia para a produção de plantas, disponibilizando luz e demais fatores para produção. A luz é considerada um dos fatores mais importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas, pois ela influencia na intensidade, qualidade, cor, sabor e aroma dos vegetais (KOZAI, 2015)

Segundo Niu et al. (2018) o microclima necessário para a produção em ambiente controlado é composto pela combinação ideal de temperatura do ar, umidade relativa e luz.

Uma das metodologias que já vem sendo promissora para aumento da produtividade de plantas e tem crescido nos últimos anos é a utilização das lâmpadas de LED. O emprego desta tecnologia tem muita influência no desenvolvimento do metabolismo e na fisiologia da planta, estimulando a atividade fotossintética e podendo alterar suas características nutricionais.

No cultivo em ambientes indoor, são produzidas plântulas com um fotoperíodo de 16 a 24 horas, com intensidade luminosa de 150 a 450 μmol s, temperatura de 21°C e umidade

relativa de 40% a 60%. Foi notado que a qualidade do espectro luminoso com diferentes proporções de luzes vermelhas e azuis pode interferir na coloração das plântulas, afetando a aparência das mesmas (YING, 2020).

A capacidade das lâmpadas de LED em controlar o espectro da radiação útil para várias espécies vegetais, o baixo calor que emitem, o menor consumo de energia, a possibilidade de adaptar-se a diferentes níveis de dossel das culturas e a vida útil prolongada do equipamento, são vantagens que essa tecnologia oferece em comparação com outros sistemas de iluminação empregados, os mais comuns baseados em lâmpadas de sódio de alta pressão (MORROW, 2018).

Outras fontes de iluminação para a produção de microverdes são as lâmpadas de sódio (HPSs), lâmpadas fluorescentes (FLs) e os já citados diodos emissores de luz (LEDs). A luz emitida pelos LEDs pode influenciar o crescimento e desenvolvimento das plantas por meio da qualidade e quantidade, e a direção uniforme que chega a essa planta (ROCHA; OLIVEIRA; BASTOS; SCIVITTARO, 2013)

A produção de microverdes continuará a crescer em todo o mundo, especialmente com a adoção de práticas de cultivos indoor. Nesses ambientes são produzidas comercialmente em condições controladas, ficando a temperatura fixa em aproximadamente 20° C e a umidade média de 70%, com iluminação artificial oferecida por Diodos Emissores de Luz (LEDs), principalmente nos comprimentos de ondas na faixa de luz vermelha e azul que interagem na regulação das respostas fisiológicas das plantas (SILVA et al., 2017).

A luz induz alterações nos padrões de expressões genéticas, quando plântulas que crescem no escuro e são transferidas para a luz, ocorre o processo de desestiolamento que se caracteriza pela redução do crescimento dos seus caules em altura. Essas respostas são mediadas pelos pigmentos fitocromos, fototropinas e criptocromos que absorvem luz azul e vermelha. As plantas que eram estioladas passaram a ter redução do crescimento do caule em altura, expansão foliar, síntese de clorofilas e enzimas necessárias à fotossíntese (TAIZ & ZEIGER, 2017).

Estima-se que a absorção pelas plantas da luz azul e vermelha, emitidas por lâmpadas LED, gira em torno de 90% da luz emitida, e indica que o desenvolvimento das plantas e a sua fisiologia é fortemente influenciado por essas cores e comprimentos de onda específicos (HUNG, 2016).

O cultivo de microverdes indoor apresenta algumas vantagens como maior controle sobre as condições climáticas, e atua sobre alguns fatores como temperatura, ventilação, luminosidade, diminuição e prevenção de pragas e aumento do rendimento do plantio (Equipe Agronômica, 2022).

Com o surgimento da pandemia de covid-19, muitas pessoas passaram a se preocupar mais com a saúde, levando à busca por alternativas saudáveis de alimentação, o cultivo de microverdes é extremamente simples, mas requer atenção constante. Saber escolher os materiais a serem utilizados pode facilitar em muitos aspectos (BEZZERA DIPPLE, 2022).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e o desenvolvimento de microverdes de agrião em condições naturais e sob iluminação de lâmpadas de LED.

REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Ebert (2012) nos últimos vinte anos, a procura por alimentos frescos, funcionais e nutracêuticos têm aumentado, impulsionada pelo crescente interesse da sociedade na alimentação saudável. Além de produtos que contribuam com a saúde e a longevidade, os consumidores estão à procura de alimentos que contribuam com o deleite gastronômico (GOMEZ CORNETOS, 2000).

A produção comercial de microverdes geralmente é realizada desde ambientes menos tecnificados até sistemas em que há grande tecnologia investida, como no caso das fazendas verticais. Há produtores que cultivam em campo aberto, estufas, casas de vegetação e em sistemas indoor (WUBBEN, 2019).

As espécies são semeadas em bandejas com substratos, geralmente turfa ou mantas de fibra de coco, colocadas para germinar de acordo com as orientações exigidas por cada espécie, e então transferidas para o local de cultivo definitivo. Os microverdes são colhidos quando atingem de 5 a 10 cm de altura e os cotilédones estão completamente expandidos e ainda túrgidos, com o surgimento ou não das primeiras folhas verdadeiras (KYRIACOU, 2016).

Por ser uma nova cultura não muito conhecida ainda no Brasil, existem diversas espécies que podem ser cultivadas na forma de microverdes, podendo citar: coentro, salsa, beterraba, alface, brócolis, couve, rabanete, couve-flor, repolho, rúcula, mostarda, nabo, rabanete, agrião, manjeriço, cenoura, espinafre, feijão vagem, acelga, entre outras cultivares.

As pesquisas que buscam aprofundar o conhecimento científico acerca de espécies vegetais, dentre as quais se destacam a família Brassicaceae, o Agrião Ravi (do SECO) é o nome comum dado a uma espécie de hortaliças da família, ele se destaca pela sua rica concentração de vitaminas e minerais, ele pode ser utilizado como medicinal ou na alimentação humana, sendo consumido principalmente na forma de brotos.

Segundo a Revista Minha Saúde (proteste) os pesquisadores analisaram a presença de 17 nutrientes essenciais no agrião, como vitaminas A, C e K, além de minerais como ferro, cálcio e potássio. Estudos observam que microverdes de agrião apresentam maiores teores de

magnésio e carotenoides (XIÃO, 2016). As brássicas tornam-se populares devido a sua fácil germinação, ciclo de produção curto, diversidade de cores e compostos fotoquímicos (XIÃO, 2012).

Uma das técnicas favoráveis tanto para o aumento da produtividade quanto da qualidade de plantas ornamentais e hortaliças e que tem crescido nos últimos anos é utilização de lâmpadas com diodos emissores de luz, mais conhecidas como tecnologia de LED.

As principais fontes de luz na produção de brotos ou microverdes são luzes artificiais, incluindo lâmpadas de sódio de alta pressão (HPSs), lâmpadas fluorescentes (FLs) e diodos emissores de luz (LEDs) entre outras (BANTIS, 2018).

Segundo Dorais (2013) em geral, o crescimento da planta em resposta ao ambiente é influenciado pela quantidade e qualidade da intensidade de luz.

A aplicação da iluminação artificial começou a ser estudada e aplicada há muitos anos para diversas culturas, especialmente em espécies ornamentais, nas quais o controle da floração e o tamanho e aparência das folhas e dos caules são importantes comercialmente, mais intensamente em altas latitudes onde o fotoperíodo é curto nos meses de inverno, sendo, portanto, o uso da radiação natural limitante para a produção comercial nessas regiões (HEUVELINK, 2006).

Mais recentemente, e com o aumento da importância da produção de hortaliças em ambientes protegidos, surgiram tecnologias de iluminação artificial mais desenvolvidas, como as lâmpadas de LED. No caso das hortaliças, estas lâmpadas têm sido testadas com sucesso em plantas como tomate, pimentão, alface e em ornamentais, como orquídeas, bico-de-papagaio e crisântemo (ARAÚJO, 2009).

Segundo Morrow (2008) a capacidade das lâmpadas LED em controlar o espectro da radiação útil para várias espécies, o baixo calor que emite (consideração importante em estufas com altas temperaturas acumuladas no seu interior), menor consumo de energia, possibilidade de se adaptar a diferentes níveis de dossel das culturas e a vida útil prolongada do equipamento, são vantagens que essa tecnologia oferece em comparação com os outros sistemas de iluminação, empregados na horticultura, os mais comuns baseados em lâmpadas de sódio de alta pressão.

Os benefícios da tecnologia LED no cultivo de hortaliças e condimentares são muitos e inclui a possibilidade de escolha do espectro de radiação e, assim, de controle da síntese e

acúmulo de fotoquímicos prejudiciais ou benéficos à saúde humana. Dentre os compostos prejudiciais que podem ter seu acúmulo restringido pode-se citar o nitrato e o ácido oxálico, enquanto as proteínas solúveis, açúcares solúveis, ácidos ascórbico, carotenoides, compostos fenólicos e antocianina são compostos benéficos que podem ter seus teores elevados em resposta a determinados comprimentos de onda (BIA, 2015).

Segundo Li (2020) a qualidade de luz é um importante fator que regula a fotomorfogênese e as características fotossintéticas da planta. Durante o processo de crescimento controlado pela luz, os fotorreceptores modulam os genes nucleares responsivos a esta, percebendo e interpretando a luz incidente, o que faz com que sua qualidade afete muitos aspectos do crescimento, morfologia, cor, sabor e nutrição da planta.

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

A agricultura de ambiente controlado ou cultivo indoor é uma tecnologia para a produção de plantas com suplementação das condições do meio de forma controlada, disponibilizando luz e os demais fatores de produção, evitando o desenvolvimento de pragas e doenças e mantendo as condições de cultivo (NIU, 2018).

O cultivo indoor é definido pela utilização de luminárias como substitutas à radiação solar. A radiação emitida pelas luminárias é caracterizada pela densidade do fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF), quantificada por mol (PATTISON, 2018).

Segundo Pattison (2018) em um estudo com iluminação artificial verificou a viabilidade econômica do cultivo indoor em função da necessidade de fótons por massa seca produzida. O cultivo de culturas de ciclo rápido como microverde, é viável, em detrimento de culturas de ciclo longo, devido ao valor comercial atribuído à sua massa seca e a quantidade necessária de fótons para obtê-la.

As luminárias de LED podem ser colocadas próximas à planta, pois emitem baixo calor radiante, possibilitando assim o aumento do aproveitamento da radiação emitida e o seu ajuste, conforme a aproximação ou distanciamento do LED (emissor) da planta (receptora) (PATTISON, 2018).

Segundo Morrow (2008) o consumo energético do LED é positivo no aspecto ambiental, pois obtém até 80% de redução no consumo de energia elétrica, por essa tecnologia se comparada às demais, a eficiência segue alcançando novos patamares e as luminárias menores custos.

A luz é um dos fatores ambientais mais importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A produção de compostos secundários desejáveis, que afetam a cor, sabor e aroma também é fortemente dependente da intensidade e da qualidade da luz. É importante o correto dimensionamento no fornecimento de luz, buscando a melhor eficiência e o menor custo de energia. (KOZAI, 2015).

Segundo Samuoliené (2019) ao estudar o comportamento do crescimento e desenvolvimento foliar dos microverdes sob efeito da iluminação de LED, com a combinação dos espectros de luz azul e vermelha, verificou-se o aumento dos conteúdos metabólicos dessas hortaliças, tendo maiores valores de B-caroteno, ácido ascórbico e minerais.

De acordo com estudos recentes, a produção de microverde pode ter um valor econômico significativo, especialmente para pequenos produtores rurais que buscam diversificar suas atividades e ampliar a sua renda (SHAHZAD, 2020). Além disso, podem ser comercializados em diferentes setores, incluindo restaurantes, supermercados e mercados de produtores, aumentando as opções de comercialização para produtores (DOU, 2018).

MATERIAL E METÓDOS

O experimento foi realizado na propriedade de Eduardo Gabriel Ferronato localizada no município de Santa Tereza – RS, em local fechado que recebeu luz natural difusa. Os tratamentos consistiram em três condições de luminosidade, a primeira foi iluminação natural indireta e escuro à noite; a segunda foi luz natural indireta e luz artificial à noite, contendo neste tratamento uma lâmpada de LED, e o terceiro num ambiente totalmente escuro recebendo luz artificial 24 horas por dia, contendo uma lâmpada de LED, no total foram 2 lâmpadas de LED. Cada unidade experimental foi constituída de uma bandeja circular com 18 cm de diâmetro e 8 cm de altura, que corresponde a uma área de 165 cm², sendo casualizado 12 repetições, contendo 4 bandejas por tratamento.

Figura 1. Cultivo de Microverdes de Agrião nos três tratamentos.



Fonte: Imagens da Pesquisa

Em cada bandeja foi colocado substrato Carolina Soil de turfa na quantidade de 80 gramas. Este substrato foi com água. Após o umedecimento com borrifador foi realizada a semeadura.

Figura 2. Bandejas circulares contendo substrato, após feita a semeadura.



Fonte: Imagens da Pesquisa

Este fertilizante organomineral tem por objetivo melhorar a absorção dos nutrientes na planta, além de fornecer NPK. As sementes foram adquiridas da empresa ISLA.

A lâmpada que foi utilizada no experimento é da marca Grow Up, com potência 28w, modelo full spectrum, dimensões 4,9 x 6,3 cm (DxA), esta lâmpada traz aspectos importantes para a vida das plantas, efeito térmico, fotossintético, foto morfogênico e mutagênico. Pelo que a iluminação artificial é determinante na obtenção de bons resultados nas colheitas.

Figura 3. Lâmpada de LED utilizada no experimento.



Fonte: Imagens da Pesquisa

Em cada unidade experimental foi semeado 3 gramas de agrião. Diariamente as plantas foram irrigadas com água através de um borrifador.

A temperatura e a umidade máxima e mínima diárias foram medidas através de um termo-higrômetro, sendo feito o seu registro diário das máximas e das mínimas. A pesquisa se iniciou 01/11/2024 e se prolongou por aproximadamente 2 semanas.

Foi registrada a data de início da germinação bem como a altura das plântulas a cada dois dias utilizando-se uma régua milimétrica. A colheita foi realizada quando as plantas atingiram 6 a 8 cm de altura.

Foram medidos o comprimento e a largura dos cotilédones através de uma régua milimétrica, a massa fresca e a massa seca é utilizado uma estufa de secagem com circulação de ar forçada a 65° C para obter os resultados, e percentagem de água de cada unidade experimental.

Os valores médios obtidos foram analisados por software estatístico SISVAR através da análise da variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 4 apresenta os dados de Temperaturas Máximas e Mínimas nos ambientes de Luz difusa, Luz artificial e Luz difusa e artificial, pode-se perceber que os 3 tratamentos mostraram padrões térmicos distintos, os quais impactaram no crescimento dos microverdes.

No tratamento de Luz difusa nota-se que houve maior variação térmica evidenciando a influência climática externa, já o tratamento de luz difusa e artificial demonstrou um ambiente intermediário, a redução da amplitude térmica no início da germinação foi benéfica, mas as quedas de temperaturas podem ter causado impactos negativos no final do desempenho. No tratamento de luz artificial houve maior controle de temperatura e amplitude térmica o que favoreceu o crescimento dos microverdes.

Segundo Li (2020) durante o processo de crescimento controlado pela luz, os fotorreceptores modulam genes nucleares responsivos, percebendo e interpretando a luz incidente e traduzindo sinais, o que faz com que sua qualidade afete muitos aspectos do crescimento morfológico, cor, sabor e nutrição dos microverdes.

Ambientes com menor amplitude térmica, como o de luz artificial, proporcionaram condições mais estáveis e favoráveis ao crescimento uniforme dos microverdes. No entanto, temperaturas máximas acima de 30°C podem ter causado estresse térmico, reduzindo o acúmulo de biomassa seca.

Segundo Monteith (2013) em situações em que as plantas se encontram em temperaturas muito altas ou muito baixas, como consequência, podem apresentar um crescimento lento ou tardio, menor produção de biomassa ou até mesmo falhas na germinação e maturação de seus órgãos vegetativos.

Segundo Brazaetyté (2021) a luz promove a fotomorfogênese, regulando muitos aspectos do desenvolvimento e crescimento das plantas, que são cruciais para a qualidade dos microverdes.

Figura 4. Dados de Temperaturas Máximas e Mínimas no tratamento de Luz Difusa.

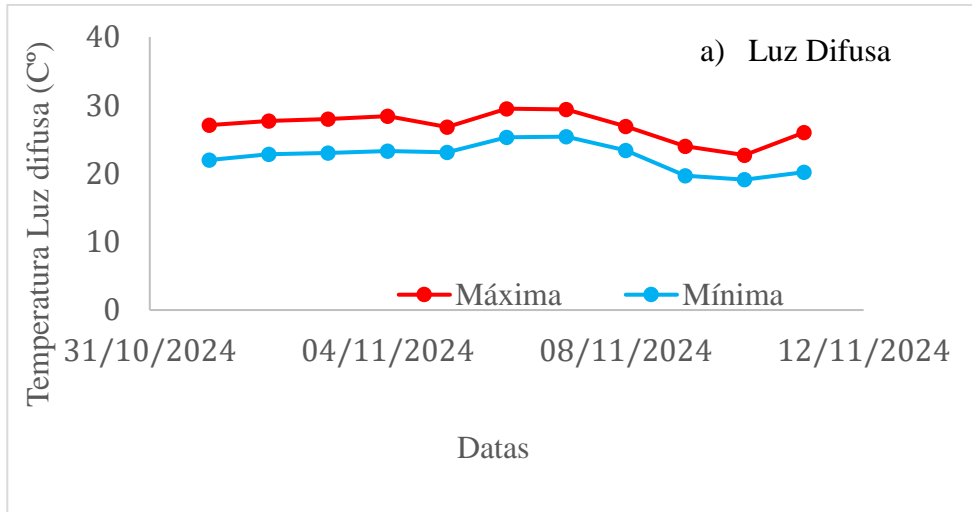


Figura 4. Dados de Temperaturas Máximas e Mínimas no tratamento de Luz Difusa e artificial.

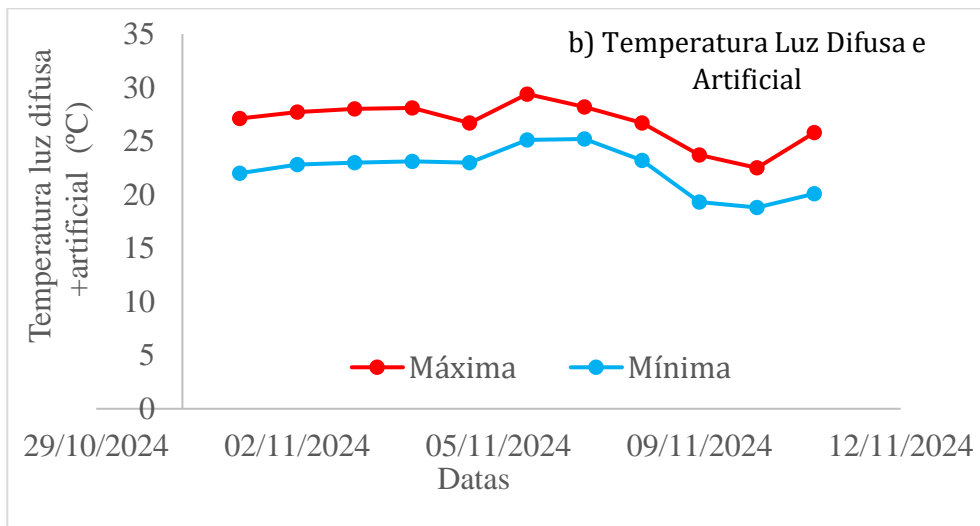
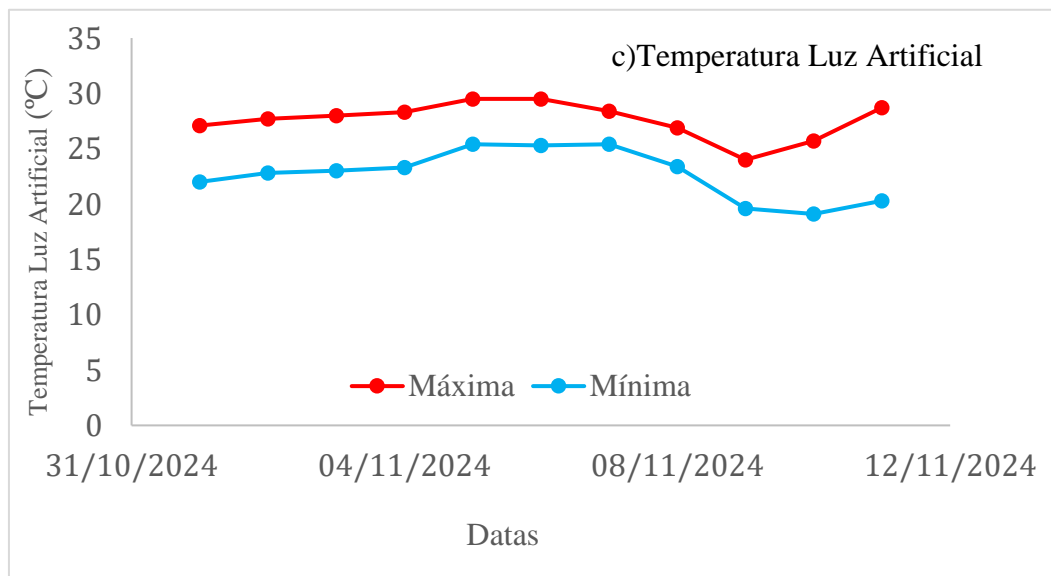


Figura 4. Dados de Temperaturas Máximas e Mínimas no tratamento de Luz Artificial.



Durante o experimento, foram analisadas as variações da umidade relativa do ar (Figura 5) em um ambiente controlado com os três tratamentos (Luz difusa, Luz difusa e artificial e Luz artificial) avaliando seus impactos no desenvolvimento de microverdes de agrião.

Os resultados mostraram variações significativas nas porcentagens de umidade máxima e mínima dependendo da condição de luz utilizada, a Luz Artificial foi eficaz em manter a umidade relativa alta, pode-se perceber que as máximas variaram entre 68% e 77% enquanto as mínimas variaram de 43% a 62%, sendo benéfico para o desenvolvimento das plantas. No tratamento de Luz Difusa e artificial a umidade máxima variou de 65% a 77%, e a umidade mínima ficou entre 42% e 59%. A combinação de luz difusa e artificial parece ter proporcionado um ambiente favorável, mas com algumas flutuações na umidade mínima, que pode indicar a necessidade de um melhor manejo da irrigação sob essas condições. Já no tratamento de Luz difusa, os dados mostraram uma umidade máxima entre 73% e 77% e uma umidade mínima que variou de 49% a 68%. Embora a umidade máxima tenha sido semelhante à dos outros grupos, a umidade mínima foi a mais alta em comparação, sugerindo que a luz difusa pode não ter sido tão eficaz em manter a umidade do substrato em níveis ótimos.

De acordo com Silva et al. (2020), microverdes expostos a uma umidade abaixo de 60% apresentam maior propensão a desaceleração no crescimento, mesmo em ambientes controlados.

A análise comparativa dos dados indica que a luz difusa não apenas manteve níveis mais altos de umidade máxima, mas também proporcionou uma umidade mínima mais estável em comparação com as outras condições. Isso sugere que o uso de luz artificial pode ser vantajoso para o cultivo de microverdes, especialmente em ambientes onde o controle da umidade é crucial.

Segundo Jones (2016) a escolha da condição de iluminação não apenas influencia a umidade, mas também pode impactar o crescimento e a qualidade dos microverdes. Além da importância em características agrônomicas e fisiológicas que aumentam o rendimento e a qualidade dos microverdes, a iluminação artificial também é o principal impulsionador do uso de energia neste sistema de cultivo (GÓMEZ, 2018).

Figura 5. Dados de Umidade Máxima e Mínima nos tratamentos de Luz Artificial (a), Luz Difusa +artificial (b) e Luz Difusa (c).

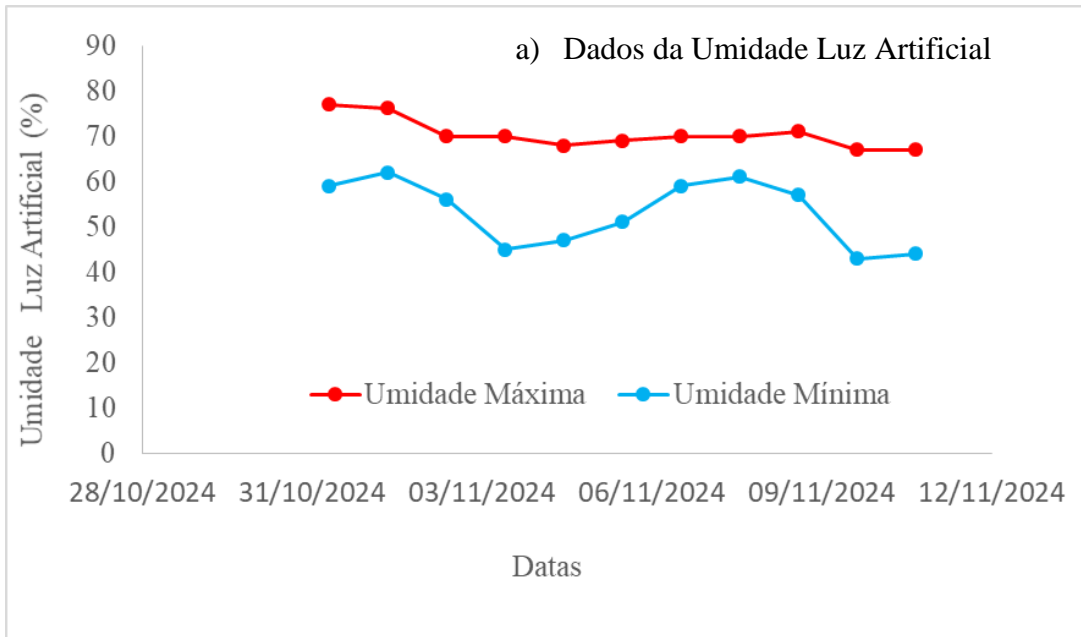


Figura 5. Dados de Umidade Máxima e Mínima nos tratamentos de Luz Artificial (a), Luz Difusa +artificial (b) e. Luz Difusa (c).

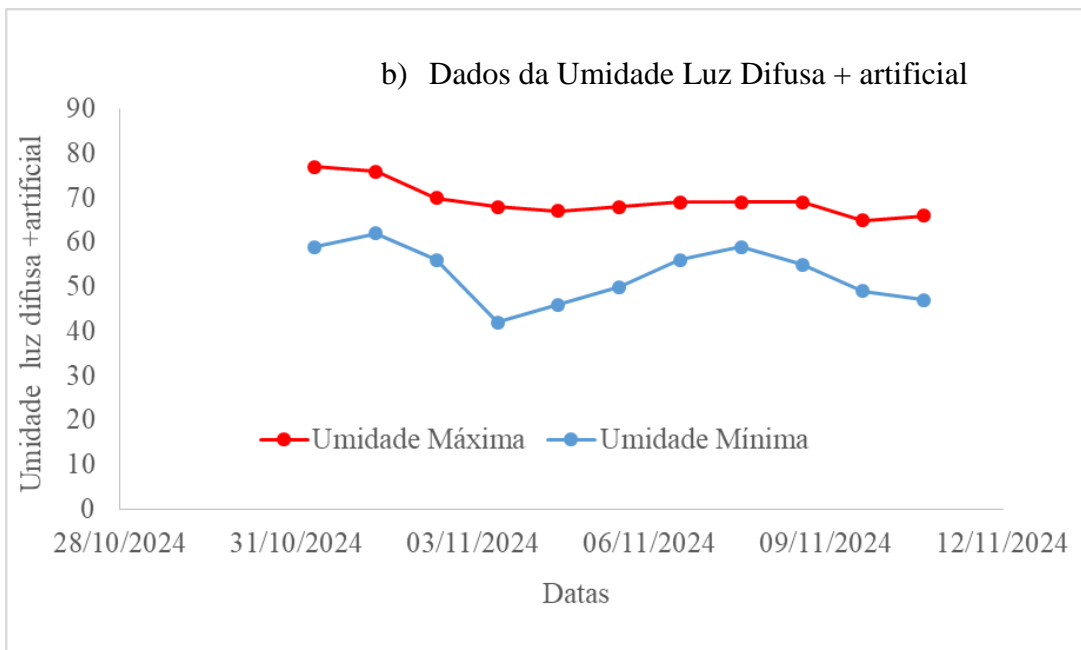
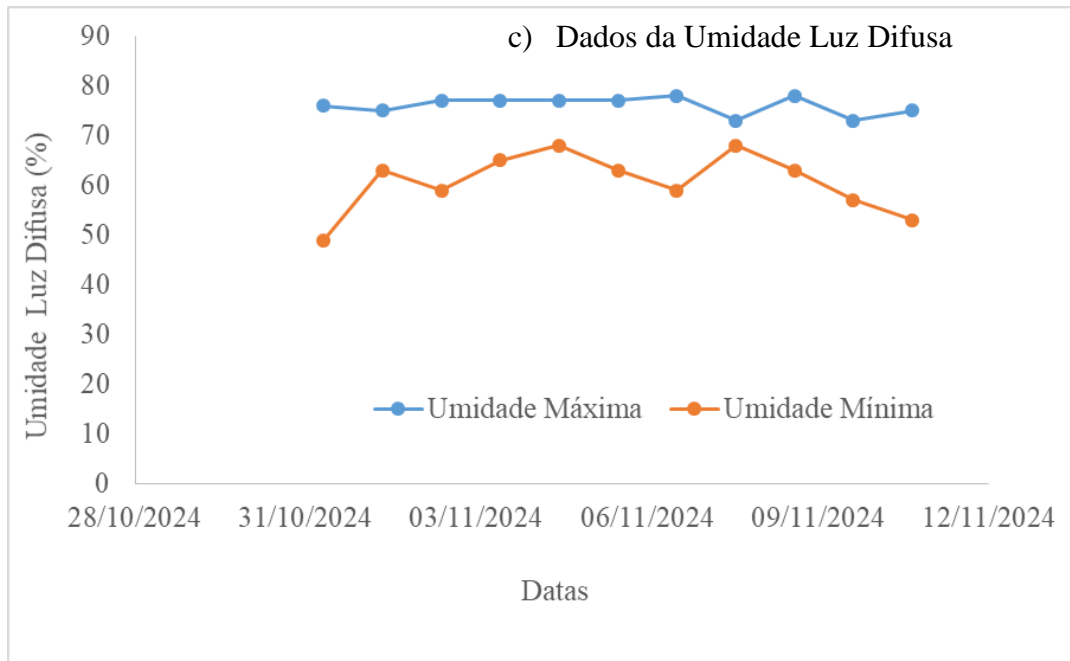


Figura 5. Dados de Umidade Máxima e Mínima nos tratamentos de Luz Artificial (a), Luz Difusa +artificial (b) e. Luz Difusa (c).



Os resultados da Tabela 1 mostram as médias de massa fresca dos microverdes de agrião sob diferentes condições de luz (difusa, artificial e a combinação de ambas). O maior valor de massa fresca foi observado no tratamento com luz artificial (4,94 g), já os tratamentos com luz difusa (3,36 g) e a combinação de luz difusa e artificial (2,96 g) apresentaram valores inferiores.

A maior produção de massa fresca no ambiente com luz artificial pode ser atribuída à maior intensidade e controle da iluminação, o que favorece o processo fotossintético. Microverdes cultivados sob luz artificial geralmente recebem uma intensidade de luz constante e homogênea, otimizando o crescimento.

Segundo Silva (2020) estudos similares relatam que a luz artificial, especialmente com o uso de LEDs, é eficiente para maximizar o desempenho de cultivos em ambientes controlados.

Ambientes com luz artificial se mostram mais promissores para maximizar a produção de biomassa fresca, enquanto tratamentos com luz difusa ou combinações devem ser ajustados para melhorar a eficiência luminosa.

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

Além disso, estudos como os de Lin (2021) apontam que luzes artificiais podem ser ajustadas para fornecer comprimentos de onda específicos que maximizam a fotossíntese e promovem maior eficiência no crescimento das plantas. Como enfatizam Taiz (2017), a luz é um dos principais fatores abióticos que determinam o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo necessário otimizar sua intensidade, duração e qualidade para obter os melhores resultados.

Tabela 1. Dados de massa fresca dos microverdes de agrião em diferentes tratamentos.

Tratamentos	Massa Fresca (Gramas)
Difusa e Artificial	2,96 b
Luz Difusa	3,36 b
Luz Artificial	4,94 a
CV (%)	14,64

* Valores na coluna não seguidos pela mesma letra diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Dados da pesquisa

Os dados da Tabela 2 apresentam as médias de massa seca dos microverdes de agrião sob diferentes condições de iluminação (difusa, artificial e a combinação de ambas). Observa-se que o tratamento com luz artificial resultou na maior massa seca (0,38 g), seguido pelo tratamento com luz difusa e artificial (0,32 g) e pelo tratamento com luz difusa (0,29 g), no entanto, sem apresentar diferenças significativas.

A maior produção de massa seca no ambiente com luz artificial pode estar relacionada à intensidade luminosa mais elevada e à qualidade do espectro emitido por esse tipo de iluminação. Segundo Darko (2020), fontes de luz artificial, especialmente LEDs, promovem maior eficiência na conversão de energia luminosa em biomassa, devido ao fornecimento de espectros específicos, como luz azul e vermelha, que são diretamente absorvidos pelos fotossistemas das plantas.

Uma análise comparativa entre os dados de massa fresca e massa seca evidencia uma correlação positiva entre as duas variáveis, com o tratamento sob luz artificial apresentando um aumento expressivo em ambas as massas.

Os aspectos nutricionais dos microverdes está relacionado a abundância de compostos bioativos, incluindo vitaminas, minerais e fitoquímicos, como carotenóides e compostos fenólicos (RENNA, 2020). Quando expostas à luz, os microverdes sofrem fotomorfogênese e sintetizam pigmentos fotossintéticos, como clorofila e carotenoides (ZHANG, 2020).

Silva (2020) destaca que a interação entre diferentes tipos de iluminação pode gerar resultados variáveis dependendo da intensidade e do comprimento de onda predominantes.

Os resultados indicam que a luz artificial é a mais eficaz para a melhoria do crescimento e o acúmulo de biomassa dos microverdes na agricultura, o que tem implicações diretas para sistemas de cultivo em ambiente controlado, como hidropônica ou cultivo em estufas. O uso da luz difusa, que favorece a distribuição uniforme da luz, pode ser uma boa opção para ambientes de cultivo mais naturais ou quando se deseja reduzir a intensidade luminosa, mas sem comprometer significativamente o desenvolvimento das plantas.

De maneira geral, os resultados apontam que o uso de luz artificial é promissor para o cultivo de microverdes, promovendo maior eficiência na produção de massa seca.

Tabela 2. Dados de massa seca dos microverdes de agrião em diferentes tratamentos.

Tratamentos	Massa Seca
Difusa e Artificial	0,32*
Luz Difusa	0,29
Luz Artificial	0,38
CV (%)	15,12

* Não significativo

Fonte: Dados da pesquisa.

Os dados da Tabela 3 apresentam as médias de altura dos microverdes de agrião cultivados sob diferentes condições de iluminação (difusa, artificial e a combinação de ambas). O tratamento com luz artificial resultou na maior média de altura (6,30 cm). Os tratamentos com luz difusa (5,80 cm) e a combinação de luz difusa e artificial (5,57 cm) não apresentaram diferença significativa entre si.

A superioridade do tratamento com luz artificial pode ser atribuída à intensidade luminosa mais alta e constante fornecida por esse tipo de iluminação, que estimula o crescimento celular por meio de maior eficiência fotossintética, a luz artificial pode fornecer uma quantidade mais precisa e controlada de energia para a fotossíntese, favorecendo um crescimento vegetativo mais robusto e, conseqüentemente, maior altura das plantas.

Por outro lado, os tratamentos com luz difusa e difusa e artificial resultaram em alturas menores, embora não significativamente diferentes entre si. Isso pode indicar que, embora a luz difusa distribua a luz de maneira uniforme, sua intensidade menor e o espectro de luz menos eficiente em comparação com a luz artificial não são ideais para maximizar o crescimento em altura dos microverdes.

Segundo Darko (2020), a iluminação artificial controlada, especialmente com LEDs, favorece a alongação das células e o crescimento das plantas.

Estudos como os de Silva (2020) destacam que a luz difusa, embora proporcione uma distribuição uniforme, pode não fornecer energia suficiente para estimular o máximo crescimento, resultando em plantas mais curtas.

Os resultados corroboram a ideia de que a luz artificial é a mais eficiente para promover o crescimento em altura de microverdes de agrião, devido à maior intensidade luminosa e ao controle do espectro luminoso, favorecendo o desenvolvimento das plantas em ambientes controlados. Para cultivos de microverdes na agricultura com foco em altura e vigor, a luz artificial isolada é a recomendação mais eficaz.

Tabela 3. Dados de altura dos microverdes de agrião em diferentes tratamentos.

Tratamentos	Altura (cm)
Difusa e Artificial	5,57 b
Luz Difusa	5,80 b
Luz Artificial	6,30 a
CV (%)	3,91

* Valores na coluna não seguidos pela mesma letra diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

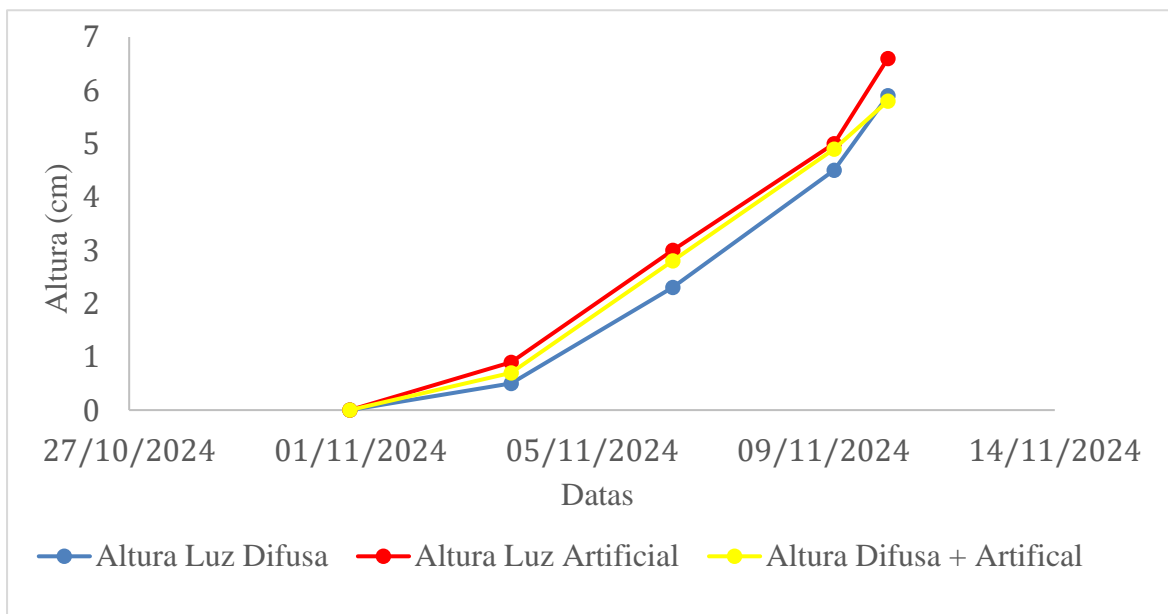
Fonte: Dados da pesquisa.

Na Figura 3 são apresentados os dados de altura de plântulas durante o período de crescimento dos microverdes. Pode-se observar que os resultados obtidos demonstram a influência significativa das condições de iluminação no crescimento dos microverdes de agrião.

A análise da altura das plântulas ao longo do tempo evidencia que a luz artificial proporcionou os melhores resultados em comparação com os tratamentos de luz difusa e luz difusa combinada com artificial.

Pesquisas anteriores mostram que a luz artificial, além de promover maior produtividade, é energeticamente eficiente e ideal para sistemas de cultivo indoor e urbanos. No entanto, a luz difusa + artificial mostrou potencial como uma solução equilibrada, combinando os benefícios da luz natural com o suporte da iluminação artificial.

Figura 3. Dados de altura dos microverdes de agrião em diferentes tratamentos.



Os resultados apresentados na Tabela 4 mostram a percentagem de água nos microverdes de agrião cultivados sob diferentes fontes de iluminação (difusa, artificial e a combinação de ambas). O tratamento com luz artificial apresentou a maior percentagem de água (92,32%), seguido pelo tratamento com luz difusa (91,17%) e pela combinação de luz difusa e artificial (89,27).

A percentagem de água nas plantas está intimamente relacionada à massa fresca e à massa seca. O tratamento com luz artificial, que apresentou maior percentual de água (92,32%), também resultou em maior massa fresca, indicando que, ao promover maior crescimento em altura e biomassa, a luz artificial favorece também uma maior capacidade de retenção de água. Isso é esperado, pois plantas maiores e mais altas geralmente apresentam maior conteúdo de água, devido à sua maior superfície foliar e maior volume de tecidos vegetais.

Segundo Smith (2019) uma maior intensidade luminosa, especialmente proveniente de LEDs, pode promover um aumento na transpiração e na absorção de água, refletindo em maior porcentagem de água nos tecidos das plantas.

Por outro lado, o tratamento com luz difusa e artificial apresentou a menor porcentagem de água (89,27%), a luz difusa, por distribuir de maneira mais uniforme, pode não ter favorecido tanto a transpiração como a luz artificial, resultando em menores taxas de absorção de água.

O aumento da porcentagem de água nos microverdes de agricultura sob luz artificial pode ter implicações importantes para a qualidade dos microverdes produzidos. Microverdes com maior conteúdo de água tendem a ser mais frescos e atrativos, o que é desejável tanto para consumo direto quanto para comercialização. Porém microverdes com maior conteúdo de água geralmente têm uma vida útil mais curta, o que é uma consideração importante para os produtores. Portanto, entender como diferentes fontes de luz afetam a retenção de água pode ajudar a ajustar as condições de cultivo para atender melhor às necessidades do mercado.

Os resultados sugerem que os microverdes de agrião cultivados sob luz artificial apresentam maior porcentagem de água nos tecidos vegetais, o que pode ser vantajoso para a qualidade da planta, já que o conteúdo de água é diretamente relacionado à firmeza e aparência dos microverdes.

Tabela 4. Dados de porcentagem de água em microverdes de agrião em diferentes tratamentos.

Tratamentos	Massa Fresca (Gramas)
Difusa e Artificial	89,27 b
Luz Difusa	91,17 b
Luz Artificial	92,32 a
CV (%)	0,87

* Valores na coluna não seguidos pela mesma letra diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Dados da pesquisa

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa objetivou a análise de diferentes tratamentos sob condições de iluminação no desempenho de microverdes de agrião, incluindo luz artificial, luz difusa e a combinação de ambas. No entanto os impactos das condições ambientais se distinguiram significativamente entre os tratamentos.

Os resultados indicam que o tratamento com luz artificial proporcionou os melhores resultados em termos de massa fresca, massa seca e altura, sugerindo que esse tipo de iluminação, caracterizada por sua alta intensidade luminosa e controle do espectro, favorece o crescimento dos microverdes de agrião.

Em termos de manejo e otimização do cultivo de microverdes de agrião, os resultados sugerem que a iluminação artificial é a mais eficiente para o crescimento e desenvolvimento das plantas, especialmente em ambientes controlados. No entanto, a combinação de luz difusa e artificial pode ser uma alternativa viável, proporcionando um equilíbrio entre intensidade luminosa e condições ambientais mais estáveis.

Os dados obtidos neste estudo oferecem resultados valiosos para a produção eficiente de microverdes de agrião, especialmente em ambientes urbanos ou em sistemas de cultivo indoor, contribuindo para o avanço do conhecimento sobre o uso de diferentes fontes de iluminação no cultivo de hortaliças em pequena escala.

O mercado de microverdes tem apresentado um crescimento significativo nos últimos anos, impulsionado pela busca dos consumidores por alimentos mais saudáveis, sustentáveis e visualmente atraentes. No contexto da pesquisa, ficou evidente que práticas agrícolas voltadas ao cultivo de microverdes, como o uso de iluminação LED e métodos naturais, podem contribuir para um produto final de alta qualidade, com características que atendem às demandas do mercado. A expectativa para os próximos anos é de que o mercado continue a expandir, tanto no segmento doméstico quanto no comercial, incluindo restaurantes, supermercados e feiras especializadas.

Segundo Treadwell et al. (2016), o cultivo de microverdes oferece uma alternativa promissora para produtores devido ao curto ciclo de crescimento, à utilização eficiente de recursos e à alta densidade nutricional dos produtos, fatores que os tornam atrativos para mercados especializados e consumidores finais. Além disso, sua estética e sabor marcante ampliam as aplicações em alta gastronomia, consolidando sua presença em cardápios sofisticados. Assim, é essencial que futuros estudos explorem maneiras de otimizar a produção, reduzir custos e aumentar a acessibilidade para pequenos produtores, consolidando os microverdes como uma opção viável e promissora para o mercado agrícola brasileiro e global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. B. S. **Qualidade pós-colheita do agrião da terra nos estádios “Microgreen” e “Baby leaf”**. 2019. 59 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/37340/1/DISSERTA%20p%20c%20b3colheita%20do%20agri%20a3o%20da%20terra%20nos%20est%20a1dios%20e2%80%9cMicrogreen%20e2%80%9d%20e%20e2%80%9cBaby%20leaf%20e2%80%9d.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2024.

BERTOLUCCI, S. K. V.; COELHO, A. D.; LAZZARINI, L. E. S.; MEDEIROS, A. P. R.; PACHECO, F. V.; PINTO, J. E. B. P.; SILVA, S. T.; SOARES, J. D. R. **Uso de diodos emissores de luz (LED) na fisiologia de plantas cultivadas** – revisão. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 16, n. 2, p. 137-144, abr./jun. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319205964_USO_DE_DIODOS_EMISSORES_DE_LUZ_LED_NA_FISIOLOGIA_DE_PLANTAS_CULTIVADAS__REVISAO_USE_OF_LIGHTEMITTING_DIODE_LED_IN_THE_PHYSIOLOGY_OF_CULTIVATED_PLANTS_-_REVIEW. Acesso em: 05 jun.2024

BEZERRA, T. J.; SILVA, T. T. da; LOSS, R. A.; GERALDI, C. A. Q. **Importância das condições de armazenamento de microgreens: análise bibliométrica e revisão de literatura**. *Research Society and Development*, v. 11, n. 3, e25211326584, fev. 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/358748253_Importancia_das_condicoes_de_armazenamento_de_microgreens_Analise_bibliometrica_e_revisao_de_literatura. Acesso em: 17 jun. 2024.

BIAN, Z.; CHEN, X.; LU, C.; YUAN, X.; ZHANG, X. **A review on the effects of light-emitting diode (LED) light on the nutrients of sprouts and microgreens**. *Trends in Food Science & Technology*, v. 99, p. 203-216, maio 2020. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224419300718>. Acesso em: 10 maio 2024.

BONATO, A.; CALLEGARO, G. M.; LEMOS, G. R.; NAGEL, J. C.; SOMMER, L. R. **Substratos e qualidade de luz na produção de microverdes**. Publicado em 06 out. 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/364299520_Substratos_e_qualidade_de_luz_na_producao_de_microverdes. Acesso em: 10 maio 2024.

CANAL DO AGRICULTOR. **AGRO-LED: I Workshop sobre iluminação artificial no Brasil**. *Canal do Agricultor*, 2023. Disponível em: <https://canaldohorticultor.com.br/agro-led-i-workshop-sobre-iluminacao-artificial-no-brasil/>. Acesso em: 06 jul. 2024.

FREITAS, I. S. de. **Suplementação luminosa com lâmpadas LED no cultivo de microverdes em ambiente protegido**. 2020. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-12082020-173606/pt-br.php>. Acesso em: 28 abr. 2024.

GIOVANA. **Estudo mostra lista de benefícios do agrião para a saúde**. *Minha Saúde Proteste*, 2024. Disponível em: <https://minhasaude.proteste.org.br/estudo-mostra-lista-de-beneficiosagriasaudeveja/#:~:text=O%20agri%C3%A3o%20se%20destacou%20por,como%20ferro%2C%20c%C3%A1lcio%20e%20pot%C3%A1ssio.%20Acesso%20em:%2015%20jun.%202024>. Acesso em: 15 de junh.2024.

LIMA, F. M. de. **Densidades de fluxo de fótons fotossintéticos e de sementeira para produção indoor de microverdes**. 2022. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo, Campinas, 2022. Disponível em: https://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/repositorio/storage/teses_dissertacoes/pgiac1043.pdf. Acesso em: 05 abr. 2024.

PARREIRA, M. M. **Ambiência de microverdes em cultivo controlado com telas fotoconversoras e iluminação artificial**. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, Orientadora: Prof.^a Dr.^a Thais Queiroz Zorzeto Cesar; Coorientador: Dr. Luis Felipe Villani

Purquerio. Disponível em: <https://prp.unicamp.br/inscricao-congresso/resumos/2022P20818A37879O5525.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2024.

SILVA, A. O. da. Uso de microrganismos promotores de crescimento na produção, qualidade e bioquímica de microverdes de hortaliças em ambiente indoor. 2023. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-02102023-152800/pt-br.php>. Acesso em: 05 jun. 2024

VIANA, C. S. Microverdes de coentro com iluminação artificial: rendimento, eficiência energética, concentração mineral e atributos sensoriais. 2023. 174 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/74149/7/2023_tese_csviana.pdf. Acesso em: 10 maio 2024.