

MATEUS BRAGA DOS SANTOS

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DE ESTACAS DE PLANTAS MATRIZES DE
CRISÂNTEMO SOB ILUMINAÇÃO SUPLEMENTAR DO TIPO LED**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: José Antônio Saraiva Grossi

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S237p
2023

Santos, Mateus Braga dos, 1988-

Produção e qualidade de estacas de plantas matrizes de crisântemo sob iluminação suplementar do tipo LED / Mateus Braga dos Santos. – Viçosa, MG, 2023.

1 dissertação eletrônica (39 f.): il. (algumas color.).

Orientador: José Antonio Saraiva Grossi.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Agronomia, 2023.

Referências bibliográficas: f. 37-39.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.490>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Crisântemo - Propagação por estaquia. 2. Lâmpadas de LED. I. Grossi, José Antonio Saraiva, 1966-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 631.535

MATEUS BRAGA DOS SANTOS

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DE ESTACAS DE PLANTAS MATRIZES DE
CRISÂNTEMO SOB ILUMINAÇÃO SUPLEMENTAR DO TIPO LED**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 05 de julho de 2023.

Assentimento:

Mateus Braga dos Santos
Autor

José Antônio Saraiva Grossi
Orientador

Aos meus pais, companheira, irmã e amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais.

À minha irmã.

À minha companheira.

A meus amigos.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A CAPES pelo apoio financeiro para realização deste trabalho.

“Então Jesus tornou a falar-lhes dizendo: Eu sou a luz do mundo; quem me segue de modo algum andará em trevas, mas terá a luz da vida”.

(João 8:12)

RESUMO

SANTOS, Mateus Braga dos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2023. **Produção e Qualidade de Estacas de Plantas Matrizes de Crisântemo Sob Iluminação Suplementar do Tipo LED.** Orientador: José Antônio Saraiva Grossi.

O crisântemo é uma planta ornamental comercializada como flor de corte e vaso. Caracteriza-se como planta de dia curto, com fotoperíodo crítico de 13 horas. A propagação desta ocorre através da formação de estacas por meio do fornecimento de noite interrompida às plantas. Fotoperíodo, intensidade luminosa e comprimento de onda influenciam o processo de produção e crescimento vegetal. Dispositivos LED são alternativas de fornecimento de luz suplementar, propiciando luz em comprimentos e intensidades específicas. O objetivo do trabalho consiste na avaliação do número, qualidade e aspectos econômicos de estacas de plantas de crisântemo de vaso, variedade White Reagan, submetidas à iluminação suplementar noturna do tipo LED. O experimento foi conduzido no Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os fotoperíodos 6 e 12 horas de luz do tipo LED e nas subparcelas as intensidades luminosas 50, 100 e 150 $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, sob Delineamento em Blocos Casualizados com quatro repetições e tratamento adicional com lâmpadas incandescentes sob período de 4 horas e intensidade luminosa de 3 $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Foram determinados o número de estacas, número de folhas, diâmetro da base, peso fresco e seco, área foliar total, área foliar média por folha e índice SPAD das estacas. Na análise econômica foram avaliados os parâmetros valor presente líquido, taxa interna de retorno, relação benefício-custo e tempo de payback. Houve efeito significativo da suplementação luminosa no fator Fotoperíodo de 12 horas para o índice SPAD. Houve efeito significativo da suplementação luminosa no número de estacas sob o Fotoperíodo de 12 horas, da mesma forma sob as Intensidades 100 e 150 $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ e os tratamentos Fotoperíodo de 12 horas e Intensidade 50 $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, Fotoperíodo de 12 horas e Intensidade 100 $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ e Fotoperíodo de 12 horas e Intensidade 150 $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Houve decréscimo do índice SPAD no fotoperíodo 6 para 12 horas. A iluminação suplementar foi eficiente no parâmetro Número de Estacas e reduziu o índice SPAD em relação a não suplementação luminosa. O Fotoperíodo de 12 horas reduziu o índice SPAD de plantas matrizes de crisântemo. A suplementação luminosa apresentou viabilidade econômica.

Palavras-chave: Suplementação. LED. Fotoperíodo. Intensidade luminosa.

ABSTRACT

SANTOS, Mateus Braga dos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2023. **Production and Quality of Cuttings of Chrysanthemum Stock Plants Under Supplementary LED Lighting.** Adviser: José Antônio Saraiva Grossi.

The chrysanthemum is an ornamental plant marketed as a cut flower and potted plant. It is characterized as a short-day plant, with a critical photoperiod of 13 hours. Its propagation occurs through the formation of cuttings through interrupted night to the plants. Photoperiod, light intensity and wavelength affect the production process and plant growth. LED devices are supplemental light delivery alternatives, providing light at specific lengths and intensities. The objective of this work is to evaluate the number, quality and economic analysis of cuttings of crystal vase plants, variety White Reagan, observing additional LED-type night lighting. The experiment was carried out at the Agronomy Department of the Federal University of Viçosa, in a split-plot scheme, with photoperiods of 6 and 12 hours of LED light in the plots and in the subplots the light intensities of 50, 100 and 150 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, in a randomized block design with four replications and additional treatment with incandescent lamps under a period of 4 hours and light intensity of 3 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. The number of cuttings, number of leaves, base diameter, fresh and dry weight, total leaf area, average leaf area per leaf and SPAD index of the cuttings were determined. In the economic analysis, the parameters net present value, internal rate of return, benefit-cost ratio and payback time were evaluated. There was a significant effect of light supplementation on the 12-hour photoperiod factor for the SPAD index. There was a significant effect of light supplementation on the number of cuttings under the 12-hour photoperiod likewise the intensities of 100 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ and 150 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ and the treatments Photoperiod of 12 hours and Intensity 50 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, Photoperiod of 12 hours and Intensity 100 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ and Photoperiod of 12 hours and Intensity 150 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. There was a decrease in the SPAD index in photoperiod 6 to 12 hours. Supplementary lighting was efficient in the parameter Number of Cuttings and reduced the SPAD index in relation to no light supplementation. The 12-hour photoperiod reduced chrysanthemum parent plants. The light supplementation showed economic viability.

Keywords: Supplementation. LED. Photoperiod. Luminous Intensity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Visão geral diurna do experimento em casa de vegetação com crisântemo de vaso.	21
Figura 2: Visão geral noturna do experimento em casa de vegetação com iluminação do tipo LED aplicados em crisântemo de vaso.	22
Figura 3: Bancada com plantas de crisântemo sob iluminação do tipo LED.....	23
Figura 4: Estaca de crisântemo com 10 cm de comprimento.....	25
Figura 5: Planta de crisântemo com produção de estacas.	26
Figura 6: Número de estacas de plantas matrizes de crisântemo cultivadas sob fotoperíodos de 6h e 12h com painéis LED, e sob fotoperíodo de 4h com lâmpada incandescente (T0). Valores de p inferiores a 0,05 indicam diferença significativa do Número de estacas entre fotoperíodos de 6h e 12h com painéis LED em relação ao tratamento adicional pelo teste t de Student.....	31
Figura 7: Número de estacas de plantas matrizes de crisântemo cultivadas sob intensidades luminosas de 50, 100 e 150 $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ com painéis LED, e sob intensidade de 3 $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ com lâmpada incandescente (T0). Valores de p inferiores a 0,05 indicam diferença significativa do Número de estacas entre intensidades luminosas de 50, 100 e 150 $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ com painéis LED em relação ao tratamento adicional pelo teste t de Student.	31
Figura 8: Número de estacas de plantas matrizes de crisântemo cultivadas sob fotoperíodos de 6 e 12 horas e intensidades luminosas de 50, 100 e 150 $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ com painéis LED, e sob intensidade de 3 $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ com lâmpada incandescente (T0). Valores de p inferiores a 0,05 indicam diferença significativa no Número de estacas entre fotoperíodos de 6h e 12h e intensidades luminosas de 50, 100 e 150 $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ com painéis LED em relação ao tratamento adicional pelo teste t de Student.	32
Figura 9: Índice SPAD de plantas matrizes de crisântemo cultivadas sob fotoperíodos de 6h e 12h com painéis LED, e sob fotoperíodo de 4h com lâmpada incandescente (T0). Valores de p inferiores a 0,05 indicam diferença significativa do Índice SPAD fotoperíodos de 6h e 12h com painéis LED em relação ao tratamento adicional pelo teste t de Student.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de Intensidades Luminosas (μmol de fótons $\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) dos painéis LED e lâmpadas incandescentes, incidentes na borda superior do vaso, a 10 e a 20 cm a partir da borda.....	24
Tabela 2: Número de Estacas amostradas nas variáveis fitotécnicas avaliados.....	27
Tabela 3: Valor (R\$) dos custos unitário e mensal para produção de estacas de crisântemo sob iluminação suplementar noturna tipo LED.	29
Tabela 4: Valores de taxa de fotossíntese líquida (A) medidos à noite de plantas matrizes de crisântemo cultivadas sob fotoperíodos de 6 e 12 horas e intensidades luminosas de 50, 100 e 150 μmol de CO_2 $\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ com painéis LED, e lâmpada incandescente (T0).....	30
Tabela 5: Período (Ano); Fluxo de Caixa (R\$); Valor Presente (R\$) e Valor Presente Acumulado (R\$).	36
Tabela 6: Soma VPs (R\$) (Ano 1 a Ano 3); VPL do projeto (R\$); TIR (%); RBC e TP (anos).	36

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABTS	Ácido 2,2-azino-bis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfônico
ADP	Adenosina Di-Fosfato
ATP	Adenosina Tri-Fosfato
DPPH	2,2-difenil-1-picrilidrazil
Há	Hectare
NADP ⁺	Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo Fosfato
NADPH	Nicotinamida reduzida
RBC	Relação Benefício-Custo
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
SPAD	Soil Plant Analysis Development
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem.
°C	Graus Celsius
A	Ampere
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro Quadrado
g	Gramas
h	Hora
Kwh	Quilowatt-hora
L	Litro
m ³	Metro cúbico
MG	Minas Gerais
mm	Milímetro
mS	MilliSiemens
μmol	Micromol
nm	Nanômetro
O	Oeste
Pi	Fosfato Inorgânico
s	Segundo
S	Sul
TP	Tempo de Payback
V	Volt
W	Watt

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1. Aspectos econômicos da floricultura.....	14
2.2. Cultura do Crisântemo	14
2.4. Controle do florescimento do Crisântemo	15
2.3. Iluminação do tipo LED	16
2.5. Fotossíntese	17
2.6. Análise de viabilidade econômica	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Descrição esquemática do experimento.....	24
3.2. Descrição do parâmetro quantitativo.....	25
3.3. Descrição dos parâmetros qualitativos	25
3.4. Cenário econômico	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5. CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS	37

1. INTRODUÇÃO

A floricultura no Brasil contabilizou números significativos em termos de crescimento e evolução, ao longo das últimas décadas, com aumento da profissionalização e intensificação do dinamismo comercial (IBRAFLOR, 2022). O crisântemo é uma das culturas de maior relevância no mercado de plantas ornamentais de vaso, ocupando o 3º lugar, atrás da orquídea e do lírio. Possui porte herbáceo e apresenta mais de 800 variedades cultivadas no mundo (BARBOSA et al., 2019).

O crisântemo é uma planta de dia curto, que apresenta fotoperíodo crítico de 13 horas. O controle do florescimento é mediado pelo balanço de fitocromos na planta, processo regulado pelo fotoperíodo (BARBOSA et al., 2019). Uma técnica utilizada no cultivo do crisântemo é o emprego da iluminação suplementar noturna, que visa inibir o florescimento (GARDE, 2013; RIBEIRO, 2021; MILANEZ, 2017 e ZANOTELLI, 2009). A propagação desta planta ocorre através de estacas, cuja formação é favorecida pelo fornecimento de noite interrompida ou dia longo, que corresponde ao oferecimento de luz em períodos acima do fotoperíodo crítico para ocorrência de desenvolvimento vegetativo (BARBOSA et al., 2019).

Nesse sentido, a luz é um fator abiótico que interfere na produção de crisântemo. Portanto, uma boa alternativa de fornecimento de dia longo através de luz suplementar se dá através de dispositivos LED, sigla em inglês relacionada a palavra Light-Emitting Diode, que podem propiciar fornecimento de luz em intensidades luminosas, fotoperíodos, assim como em comprimentos de onda específicos, além de propiciar menor consumo de energia elétrica, pela conversão mais eficiente em energia luminosa em relação a outras fontes de luz (CARVALHO, 2007).

As intensidades luminosas fotossinteticamente ativas específicas, dadas em μmol de fótons $\cdot\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, são alteradas de acordo com a distância vertical ou horizontal que estas se localizam em relação à fonte de luz, enquanto que o fotoperíodo corresponde ao tempo de exposição.

O processo fotossintético apresenta grande importância para a planta completar o seu ciclo, pois consiste na produção de glicídios necessários para sua sobrevivência a partir da energia vinda da luz solar ou artificial. Todo o processo acontece na organela celular denominada cloroplasto e a substância envolvida no processo é a clorofila. Este, constitui-se de duas fases, sendo elas clara e escura. Com isso, a fase clara necessita de luz para que ocorra, uma vez que esse fator abiótico é necessário para ativar a maquinaria fotossintética vegetal com intuito de produzir ATP e NADPH, produtos úteis na fase escura, onde ocorre a produção de carboidratos essenciais à planta (TAIZ et al., 2017).

Para saber se determinado empreendimento apresenta viabilidade econômica é oportuno realizar as análises com base nas receitas, despesas e taxa de desconto, como a taxa SELIC, durante determinado horizonte de planejamento. Dessa forma, indicadores econômicos como valor presente líquido, taxa interna de retorno, índice de lucratividade e tempo de payback, são utilizados para avaliar a viabilidade econômica do projeto (ZANOTELLI, 2009).

O objetivo do trabalho consiste em avaliar quantidade, qualidade e viabilidade econômica da produção de plantas de crisântemo de vaso submetidas a diferentes períodos e intensidades de iluminação suplementar artificial do tipo LED em fornecimento de noite interrompida.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos econômicos da floricultura

A área da Floricultura apresenta grande relevância na economia agrícola brasileira, tendo o país figurado entre os 15 maiores produtores do mundo através da exportação de mudas e bulbos no ano de 2021. Os maiores produtores são Índia e China, enquanto Holanda e Colômbia se enquadram como os países que mais exportam e, Reino Unido e Alemanha os que mais importam flores. (IBRAFLOR, 2022). A produção de flores no Brasil compreende 15.600 hectares, sendo o estado de São Paulo o maior produtor e consumidor, e consequentemente, o que mais emprega mão de obra familiar, com uma área de 9.360 ha. O setor é responsável por 209.000 empregos diretos, dos quais a maioria concentra-se no varejo, que compreende 112.000, sendo 81.000 referentes à produção, 9.000 à distribuição e 7.000 a outras funções, como apoio. A distribuição dos segmentos na produção florícola engloba Flores de Corte, Plantas Ornamentais e Flores em vaso. O último apresentou maior área em relação aos demais, com 58 % da totalidade, no ano de 2021, enquanto que o primeiro e o segundo segmento representaram 15 % e 24 %, respectivamente (IBRAFLOR, 2022).

2.2. Cultura do Crisântemo

O crisântemo pertence à família Asteraceae e ao gênero *Dendranthema* L. É cultivada há mais de 2.500 anos na China e considerada uma cultura nobre. A palavra crisântemo, em grego, significa flor de ouro, existindo mais de 100 tipos e mais de 800 variedades comercializadas no mundo. O porte desta planta é herbáceo, podendo atingir 1 metro de comprimento. Possui ciclo anual. As variedades comercializadas atualmente são derivadas da espécie *Dendranthema grandiflorum* *Crysanthemum morifolium* Ramat, comercializada como

corte e vaso na produção de flores. A propagação ocorre por meio da produção de estacas, estimulada pelo fornecimento de dia longo à planta, uma vez que é de dia curto (BARBOSA et al., 2019).

A comercialização do crisântemo depende da regulação do florescimento, havendo possibilidade de realizar o planejamento da produção de acordo com datas específicas de maior demanda, como finados. Com base as últimas três décadas, o crisântemo ocupou a 3ª posição classificado dentro de flores e plantas envasadas, atrás da orquídea e do lírio, com 7% de participação no mercado florícola. Possui 15% de participação no mercado e ocupa o 2º lugar entre as espécies ornamentais mais cultivadas como flor de corte, atrás da rosa. (BARBOSA et al., 2019).

2.3. Controle do florescimento do Crisântemo

O crisântemo apresenta sensibilidade ao fotoperíodo, assim como a poinsetia e primula. O fotoperíodo crítico do crisântemo corresponde a 13 horas. Este valor corresponde ao exato comprimento do dia capaz de alterar o desenvolvimento fisiológico da planta quanto ao desenvolvimento vegetativo ou em relação ao florescimento (BARBOSA et al., 2019). Os eventos fisiológicos ocorrentes em plantas de dias neutros, como rosa e girassol, são indiferentes à duração do dia ou noite (ZANOTELLI, 2009). Dessa forma, desenvolve vegetativamente quando recebe luz em períodos superiores a 13 horas, através da interrupção da noite, enquanto floresce quando recebe luz durante períodos inferiores a este valor (BARBOSA et al., 2019).

A resposta fisiológica de plantas que apresentam sensibilidade à duração do fotoperíodo é mediada pelo fitocromo, que corresponde a um complexo pigmento/proteína, que absorve luz em comprimentos de onda entre 660 e 730 nm, correspondentes à região do vermelho e vermelho-distante, respectivamente. Dessa forma, o pigmento P660 ou Pv representa a forma da proteína que absorve a radiação de comprimento vermelho, enquanto que o pigmento P730 ou Pvd representa a forma da proteína que absorve a radiação de comprimento vermelho-distante (TAIZ et al., 2017).

As proteínas do fitocromo apresentam interconvertibilidade, que pode ser denominada como fotorreversibilidade. Dessa forma, é importante ressaltar que, em plantas de dia curto, a proteína P660 está relacionada ao estímulo do florescimento, ao passo que a proteína P730 está ligada ao estímulo do crescimento vegetativo. Já em plantas de dia longo, a proteína P730 está relacionada ao estímulo do florescimento, ao passo que a proteína P660 está ligada ao estímulo do crescimento vegetativo (TAIZ et al., 2017).

Durante o dia há o predomínio da conversão da proteína P660 em P730, enquanto que durante a noite há o predomínio da conversão da proteína P730 em P660. Assim, destaca-se que ocorre florescimento quando plantas de dia curto estão sob condições de noite longa, ocorre total conversão do fitocromo P730 em P660. Porém, quando estas encontram em condições de dia longo, não acontece esta total conversão e, com isso, a presença da proteína P730 leva ao desenvolvimento vegetativo da planta. Por outro lado, quando plantas de dia longo estão sob condições de noite curta, não há total conversão do fitocromo P730 em P660, o que leva ao florescimento, ao passo que quando se encontram em condições de dia curto ou noite longa, há total conversão de fitocromo P730 em P660, quando há promoção do crescimento vegetativo da mesma (TAIZ et al., 2017).

2.4. Iluminação do tipo LED

A iluminação do tipo LED é uma forma de iluminação artificial que pode ser aplicada juntamente com a luz solar, ou ainda, ser fornecida de forma exclusiva. A iluminação artificial possui finalidades de proporcionar fornecimento de luz para controle do fotoperíodo, além de poder proporcionar incremento fotossintético às plantas, o que foi comprovado por KOBORI (2020) ao trabalhar com utilização de iluminação LED na produção de mudas de *Impatiens*. Essa tecnologia possui alta eficiência energética, gera baixa quantidade de calor e gera menor impacto ambiental se comparada com lâmpadas incandescentes e fluorescentes (MASSA et al., 2008).

Esses dispositivos possuem a capacidade de fornecer comprimentos de onda em torno do azul, que estão localizados na faixa entre 400 e 500 nm e do vermelho, localizados entre 600 e 700 nm (MASSA et al., 2008). Esses correspondem aos comprimentos necessários absorvidos por fotorreceptores envolvidos na regulação de processos fotomorfogênicos, como a clorofila (TERASHIMA et al., 2009). Nesse sentido, WOLLAEGER & RUNKLE (2014) determinaram que a iluminação LED oferecida no comprimento de onda na região do vermelho, acumulam maior biomassa nas plantas em relação a outros comprimentos. No trabalho realizado pelos autores foi notado que plantas de *impatiens*, tomate, sálvia e petúnia apresentaram superioridade de área foliar total e massa fresco da parte aérea comparados com a não suplementação luminosa.

Além disso, os dispositivos LED são capazes de oferecer iluminação em intensidades luminosas fotossinteticamente ativas específicas para as plantas. Aquelas que se encontram mais próximas à fonte estarão sujeitas a valores mais altos de intensidade luminosa, comparados com aquelas que se localizam mais distantes.

O uso de iluminação LED na agricultura apresenta resultados positivos em termos de ganhos quantitativos de produção, como observado no trabalho desenvolvido por KOBORI, 2020, em que plantas matrizes de *Impatiens* apresentaram superioridade no número de estacas em relação à não suplementação luminosa.

A tecnologia também confere incrementos qualitativos no material produzido, como RIBEIRO (2021) identificou que a iluminação do tipo LED conferiu maior número de folhas em estacas de crisântemo da variedade Rage comparado com a não suplementação luminosa. RANDALL E LOPEZ (2015) encontraram que a iluminação artificial LED nas espécies *Geranium*, Cravo de defunto, Vinca, *Impatiens Walleriana* e *Petunia* propiciou valores superiores das variáveis número de folhas, massa seca da parte aérea e índice SPAD em relação a não suplementação luminosa.

2.5. Fotossíntese

O processo fotossintético é aquele em que plantas, algas e algumas bactérias utilizam energia da luz para produzir componentes orgânicos para seu crescimento e desenvolvimento. Necessita do gás CO_2 e H_2O , e ainda libera O_2 para a atmosfera no decorrer do processo. É considerado complexo e ocorre na organela celular denominada cloroplasto, no qual a substância envolvida é a clorofila (TAIZ et al. 2017).

Compreende duas fases, sendo elas clara, conhecida como fase fotoquímica, e escura, também conhecida como fase puramente química. A primeira é caracterizada pela necessidade de luz para que ocorra e é compreendida por dois processos denominados fotofosforilação e fotólise da água. A segunda é composta pelo Ciclo de Calvin-Benson ou Ciclo das Pentoses e não necessita de luz.

Durante a fase clara, dois complexos chamados de fotossistemas são acionados para o desencadeamento da fotossíntese. Estabelecem uma relação direta com a recepção luminosa e a ocorrência das reações químicas, conforme o comprimento ótimo de onda para a realização do processo. São compostos por pigmentos fotossintetizantes, proteínas e moléculas transportadoras de elétrons, localizados em uma estrutura da membrana interna do cloroplasto denominada tilacóide, que consiste num sistema de membranas internas do cloroplasto. São divididos em Fotossistemas I e II, independentes e interligados por uma cadeia de moléculas transportadoras de elétrons. Estes são compostos por dois complexos, denominados complexo antena e centro de reação. O primeiro é formado por moléculas capazes de captar a energia da luz e transferir para o centro de reação, onde há conversão de energia luminosa em energia química.

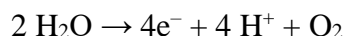
Ainda nessa fase ocorre a etapa de fotofosforilação, que consiste na produção de energia na forma de ATP a partir da incidência de luz na planta. Isto propicia geração de energia através da excitação das moléculas de clorofila receptoras de luz do complexo antena. Essa energia é transferida para moléculas vizinhas do complexo antena, com excitação destas até chegar ao centro de reação. Quando as moléculas de clorofila do centro de reação recebem a energia, seus elétrons atingem um nível superior e são transferidos por uma molécula transportadora de elétrons.

A fotofosforilação pode ser cíclica ou acíclica. A primeira ocorre no fotossistema I, composto basicamente pela clorofila a. As moléculas desta recebem a energia luminosa e seus elétrons são movidos através de uma cadeia transportadora de elétrons até retornarem à molécula de clorofila.

Durante a fotofosforilação acíclica há envolvimento dos fotossistemas I e II, com predomínio da clorofila b. Inicialmente, durante o fotossistema I, há recebimento de energia luminosa pela molécula de clorofila a e transferência de elétrons para a cadeia transportadora de elétrons até chegar ao aceptor final denominado NADP^+ e transforma-se em NADPH. Posteriormente, a molécula de clorofila b, também excitada pela energia luminosa, perde seu par de elétrons, conduzidos por uma cadeia transportadora de elétrons que liga ambos fotossistemas e, assim, há reposição dos elétrons perdidos pela clorofila a. Desse modo, a clorofila b fica sem seu par de elétrons, que serão repostos pelo processo de fotólise da água.

O processo de fotólise da água, que consiste na quebra da molécula de H_2O em decorrência da energia luminosa, complementa a etapa de fotofosforilação acíclica, onde há a reposição do par de elétrons perdidos pela molécula de clorofila b nesta etapa. Além disso, o processo libera íons H^+ para o interior do tilacóide e contribui para a geração de ATP, enquanto os átomos de Oxigênio, na forma do gás O_2 , são liberados para a atmosfera.

A equação geral da fotólise da água é a seguinte:



A passagem de elétrons pela cadeia transportadora de elétrons faz com que haja produção de energia necessária para ativação e movimentação da bomba de prótons H^+ do estroma do cloroplasto para o interior dos tilacóides. Assim, o acúmulo dos íons H^+ promove ativação da sintetase de ATP, localizada no estroma, através da pressão de saída dos íons. Esta forma ATP através da união de moléculas de ADP com fosfatos P_i . O movimento dos prótons é influenciado por fatores como a natureza vetorial das membranas dos tilacóides e proteínas. A maior fração da força motriz dos íons é derivada do gradiente de pH entre o

lúmem e o estroma. Dessa forma, tanto o ATP quanto o NADPH₂ serão utilizados no ciclo de Calvin-Benson durante a fase escura.

Terminada a fase clara, é iniciada a fase escura da fotossíntese, compreendida pelo Ciclo de Calvin-Benson ou Ciclo das Pentoses. Esta ocorre no estroma do cloroplasto e compreende a formação de glicídios necessários para a planta completar seu ciclo. Esta fase consiste na fixação de carbono atmosférico a partir do CO₂ como fonte de carbono para formação dos glicídios.

O Ciclo de Calvin-Benson é iniciado com o açúcar de 5 carbonos denominado ribulose-1,5-bifosfato. Em seguida, há a incorporação de CO₂ nesse composto, mediado pela enzima Rubisco, e são formadas duas moléculas de 3 carbonos cada, chamadas de 3-fosfatoglicerato ou ácido 3-fosfoglicérico. Posteriormente, esse composto é fosforilado, através do recebimento de um grupo fosfato, denominado Pi, vindo do ATP produzido na fase clara. Assim, é formado o composto 1,3-bifosfoglicerato, enquanto o ATP volta à condição de ADP. A partir disso, ocorre redução desse açúcar pelo NADPH₂, que por sua vez volta à condição de NADP⁺ e há geração do composto gliceraldeído 3-fosfato ou 3-fosfogliceraldeído, de fórmula química C₃H₆O₃.

Por fim, a partir de 6 moléculas de gliceraldeído-3-fosfato produzidas, 5 são utilizadas para a regeneração das 3 moléculas de ribulose-1,5-bifosfato, enquanto uma molécula de gliceraldeído-3-fosfato será utilizada na produção dos glicídios necessários para a planta completar seu ciclo. Assim, a maior parte do gliceraldeído-3-fosfato produzido é destinada ao citoplasma para formar a sacarose. Outra parte dos produtos da fotossíntese é utilizada na respiração celular, especificamente nas mitocôndrias. Outra parte é integrada na biomassa das plantas, sendo constituinte de aminoácidos, gorduras e celulose. Além disso, o gliceraldeído-3-fosfato é utilizado na formação de glicose, principal açúcar utilizado na respiração celular. Este serve de reserva energética para o organismo através da conversão em amido e, posteriormente, é armazenado em células do caule e da raiz (TAIZ et al., 2017).

2.6. Análise de viabilidade econômica

Para realização da análise econômica de um empreendimento, devem ser conceituados alguns indicadores como o VPL (ZANOTELLI, 2009), taxa interna de retorno, relação benefício custo e tempo de payback (LOPES & NETO, 2017). O primeiro indicador refere-se à soma algébrica dos valores presentes obtidos a partir dos valores referentes ao fluxo de caixa submetidos a uma taxa de desconto, desde o ano 0, que corresponde ao ano que foi realizado o investimento inicial, até o último ano considerado durante o horizonte de

planejamento. O Valor Presente Líquido ou VPL (R\$) está representado pela equação 1, onde; V_0 : Valor do investimento inicial (R\$); i : Ano; N : Horizonte de planejamento; R : Receitas (R\$); D : Despesas (R\$) e j , a taxa de juros que o empreendimento foi submetido (%). Valores de VPL superiores a 0 indicam que o empreendimento é viável (ZANOTELLI, 2009).

$$VPL = V_0 + \sum_{i=1}^N \frac{R_i}{(1+j)^i} \quad (\text{equação 1})$$

Equação 1: Valor Presente Líquido. Fonte: ZANOTELLI, 2009

A relação benefício-custo corresponde à soma dos valores presentes divididos pelo investimento inicial, sendo considerado viável quando apresenta valor maior que 1. A taxa interna de retorno corresponde à taxa em que o VPL se iguala a zero e o tempo de payback indica o tempo necessário para recuperação do valor investido no empreendimento (LOPES & NETO, 2017).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no setor de Floricultura, denominado Belvedere, pertencente ao departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, MG, Brasil com latitude 20° 45'S, longitude 42° 52'O e altitude 690 m.

A espécie utilizada no presente estudo foi a *Dendranthema grandiflora* Tzvelev, variedade, para vaso, White Reagan. Foram oferecidos dias longos para as plantas desenvolverem quantitativamente e qualitativamente a parte vegetativa para a formação de matrizes.

O experimento foi iniciado em 09 de janeiro de 2022 e finalizado em 21 de julho de 2022. Antes da aplicação dos tratamentos, as estacas foram enraizadas durante 17 dias, utilizando casca de arroz carbonizada, sob microaspersão. Em seguida, as plantas foram transferidas para vasos com volume de 383,88 mL, preenchidos com substrato comercial da marca MECPLANT, que é um produto de natureza física sólida, industrializado, formulado a partir da matéria-prima de casca de pinus bioestabilizada, proveniente de fonte renovável e

bem manejada, cuja composição constitui-se de casca de pinus, vermiculita, corretivo de acidez e macronutrientes.

A partir de 09 de janeiro as plantas foram transferidas para casa de vegetação, onde as plantas foram submetidas à luz natural durante o dia (Figura 1) e à iluminação suplementar do tipo LED à noite (Figura 2). Em seguida, após 10 dias, foi realizado o desponte, que consiste na retirada da primeira estaca da planta, com intuito de desenvolver as brotações laterais. A partir do crescimento destas até 10 cm, foram iniciadas as avaliações.

Figura 1: Visão geral diurna do experimento em casa de vegetação com crisântemo de vaso.



Figura 2: Visão geral noturna do experimento em casa de vegetação com iluminação do tipo LED aplicados em crisântemo de vaso.



O fornecimento de água para as plantas ocorreu na proporção de duas fertirrigações para uma irrigação, de acordo com a recomendação de BARBOSA et al., 2019 para a cultura do crisântemo. Para a fertirrigação foi adotado o substrato Peters (20-20-20), na concentração de 1,5 g de fertilizante para 1 L de água, enquanto que para a irrigação foi utilizado somente o fornecimento de água destilada. Ambas formas foram fornecidas até a lixiviação.

Mensalmente, foi realizada a medição das concentrações de sais presentes nos vasos, através do aparelho condutivímetro da marca AKSO, que determina a concentração de sais na solução aplicada. O material coletado para análise foi obtido no ato da irrigação, sendo que a concentração ideal do lixiviado, para crisântemo, está compreendida entre 0,7 e 2,0 mS/cm (BARBOSA et al., 2019).

A iluminação suplementar utilizada no experimento ocorreu através do uso de painéis do tipo LED, com cor oferecida na região do vermelho, com comprimento de onda de 660 nm. O aparelho apresenta potência de 100W, 1,4A e 127V (Figura 3). As plantas referentes ao tratamento adicional, ou controle, foram iluminadas com lâmpadas incandescentes, com potência de 70W.

Figura 3: Bancada com plantas de crisântemo sob iluminação do tipo LED.



As fontes luminosas emitem luz em determinados comprimentos de onda, fotoperíodos e intensidades luminosas fotossinteticamente ativas, propriedades que podem ser alteradas de acordo com a variação da distância vertical e horizontal do ponto de referência em relação à fonte de luz.

Foram determinadas, à noite, intensidades de luz incididas nas bordas superiores dos vasos, a 10 e a 20 cm da altura acima das bordas superiores às 20:00, no dia 07/06/2022. Os valores de intensidade mensurados da lâmpada incandescente são referentes à média de todas as 12 plantas alocadas às testemunhas, representadas por T0, enquanto que os valores de intensidade medidos no painel LED são referentes à média de uma amostragem de 8 plantas distintas representados na tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Valores de Intensidades Luminosas (μmol de fótons $\cdot\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) dos painéis LED e lâmpadas incandescentes, incidentes na borda superior do vaso, a 10 e a 20 cm a partir da borda.

Fonte de luz	Borda superior do vaso	A 10 cm acima da borda superior do vaso	A 20 cm acima da borda superior do vaso
Lâmpada incandescente	3	3	4
Painel LED	50	47	43
Painel LED	100	115	133
Painel LED	150	189	267

A intensidade luminosa fotossinteticamente ativa natural apresentou média a partir de 5 valores, equivalente a $459 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, medidos no período entre 10:10 e 10:35 da manhã no dia 08/06/2022.

3.1. Descrição esquemática do experimento

Foi adotado esquema em Parcelas Subdivididas, com Delineamento em Blocos Casualizados. Foram aplicadas duas fontes de variação, com tratamento adicional, descritos abaixo.

- Fonte de variação 1 - **Períodos de luz artificial (Parcelas)**: Fornecimento de períodos de 6 e 12 horas de luz tipo LED;

- Fonte de variação 2 - **Intensidades luminosas (Sub-Parcelas)**: 50, 100 e 150 μmol de fótons $\cdot\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;

- **Tratamento adicional ou sem suplementação luminosa**: Fornecimento de luz proveniente de lâmpada incandescente de 70 W em fotoperíodo de 4 horas de duração e intensidade de 3 μmol de fótons $\cdot\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Dessa forma, foram constituídos 7 tratamentos, com 4 repetições, num total de 28 Unidades Experimentais, cada uma constituída de 3 plantas.

Foram avaliados variáveis fitotécnicas quantitativo e qualitativos referentes ao crescimento e qualidade das mudas.

3.2. Descrição da variável quantitativa

Foram retiradas estacas com comprimento de 10 cm em cada planta (Figura 5) e contadas, durante 193 dias de condução do experimento. Os valores referentes ao número de estacas foram obtidos através da média de todas as 3 plantas constituintes de cada unidade experimental.

Figura 4: Estaca de crisântemo com 10 cm de comprimento.



3.3. Descrição das variáveis qualitativas

Foram realizadas as seguintes avaliações em cada estaca amostrada (Figura 5): número de folhas, diâmetro da base, peso de matéria fresca, peso de matéria seca, área foliar total, área foliar média por folha e índice SPAD.

Figura 5: Planta de crisântemo com produção de estacas.



O índice SPAD obtido pelo equipamento SPAD da marca MINOLTA foi determinado na terceira folha formada a partir do ápice da estaca, tomando 3 pontos distintos da folha: terço basal, mediano e apical. As avaliações foram realizadas aos 185 e 186 dias após o transplante para os vasos.

O diâmetro da base da estaca, em mm, foi medido com um paquímetro digital, a 1,0 cm da base da mesma.

O peso de matéria fresca da estaca, em gramas, foi determinado através de uma balança de precisão. O peso de matéria seca, em gramas, foi obtido pela pesagem do material em balança de precisão e após secagem em estufa de circulação de ar forçada a 70°C, por 3 dias, até atingir massa constante.

A área foliar total, em cm², foi obtida através do auxílio de aparelho leitor de área foliar, pelo software WinDias, medidos 191 dias após o transplante para os vasos.

A área foliar média por folha, em cm^2 por folha, foi determinada pela divisão da área foliar total da estaca pelo número de folhas da mesma.

Os valores de cada variável qualitativa foram obtidos de acordo com as amostragens baseadas no número de estacas de cada planta por unidade experimental, representados na tabela 2.

Assim, para todas as variáveis avaliadas, o valor adotado nas análises estatísticas refere-se à média entre todas as estacas amostradas entre todas as plantas por unidade experimental. Por motivo de ocorrência de outliers, foi adotado o valor máximo entre todas as estacas para os parâmetros Índice SPAD e Peso de matéria fresca.

Tabela 2: Número de Estacas amostradas nas variáveis fitotécnicas avaliados.

Variáveis Fitotécnicas	Número de estacas amostradas
índice SPAD	1 estaca na planta menos produtiva e 1 estaca na planta mais produtiva dentre as 3 plantas de cada unidade experimental.
área foliar total	
área foliar média por folha	
número de folhas	10 estacas na planta menos produtiva, 10 estacas na planta mais produtiva e 9 estacas na planta de produção mediana dentre as 3 plantas de cada unidade experimental.
diâmetro da base	
peso de matéria fresca	
peso de matéria seca	

Os dados foram submetidos à Análise de Variância e regressão. As comparações estatísticas foram realizadas considerando-se o nível de significância de 5%. As comparações dos tratamentos com o tratamento adicional foi realizado por meio de contraste de médias utilizando-se o teste t de Student a 5%. O software utilizado nas análises estatísticas foi o R (R Core Team, 2021).

3.4. Cenário econômico

Foi realizada análise de viabilidade econômica através dos parâmetros econômicos: Valor Presente Líquido (VPL); Taxa Interna de Retorno (TIR); Relação Benefício-Custo (RBC) e Tempo de Payback (TP).

Foram adotados dois cenários econômicos, em que para o cálculo das receitas foi utilizado como base o número total de estacas do projeto e o cálculo das despesas envolveu os gastos referentes à produção do material. Foi considerado como referência nos cálculos o

período de 30 dias por mês, com base no número de estacas produzidas nos tratamentos adotados nas análises durante o período de duração do experimento de 193 dias.

No cenário 1 foram considerados para as análises os tratamentos correspondentes ao fotoperíodo de 12 horas e Intensidades de 50, 100 e 150 $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, enquanto no cenário 2 foram adotados o mesmo fotoperíodo e a primeira intensidade luminosa. Em ambos cenários foi considerada distância vertical de 0,50 metro do painel de luz até o ápice do vaso projetado abaixo do aparelho. Os dispositivos LED foram espaçados com distância horizontal reta e diagonal de 1,20 e 1,70 metro, respectivamente, entre os mais próximos. O número médio mensal de estacas por planta, referente aos respectivos tratamentos corresponde a 12,7, 13,1 e 14,3 estacas.

Foi considerada na análise econômica do cenário 1 a presença de 20 painéis LED e a quantidade, para cada painel, de 80, 48 e 32 plantas para cada uma das 3 respectivas intensidades luminosas, distribuídas no raio luminoso das mesmas. O número total de estacas produzidas em um mês no cenário 1 corresponde a 42.051 estacas. No cenário 2, foi considerada a presença de 12 painéis LED e a quantidade, para cada painel, de 80 plantas para a intensidade de 50 $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, distribuídas no raio luminoso desta. Neste cenário, também foi considerada a sobreposição de intensidades luminosas entre aparelhos distintos. Houve variação de intensidade de 1 $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ de acordo com variação de distância horizontal de 0,03 metro entre plantas, com quantidade de 2.726 plantas. O número total de plantas e de estacas no cenário 2 foram de 3686 e 46.958, respectivamente.

A receita prevista até o ano 3 no cenário 1 corresponde a R\$ 227.079,55, enquanto que no cenário 2 a receita foi de R\$ 253.574,58, ambos com valor de R\$ 0,15 por estaca. Foi adotado o modelo de fluxo de caixa e taxa SELIC de 13,75%, correspondente a 12 de janeiro de 2023, informado pelo Banco Central do Brasil¹.

O custo mensal para produção de estacas de crisântemo está apresentado na Tabela 3. O ano zero do fluxo de caixa considera somente as despesas como o investimento inicial. O valor total das despesas durante o período de 3 anos no cenário 1 foi de R\$ 136.708,86, enquanto que no cenário 2 o valor total despesas corresponde a R\$ 127.368,17.

¹ Disponível em: <https://liftchallenge.bcb.gov.br/controlinflacao/taxaselic>. Acesso em 01/02/2023.

Tabela 3: Valor (R\$) dos custos unitário e mensal, nos cenários 1 e 2, para produção de estacas de crisântemo sob iluminação suplementar noturna tipo LED.

Item	Cenário 1		Cenário 2	
	Custo unitário (R\$)	Custo mensal (R\$)	Custo unitário (R\$)	Custo mensal (R\$)
Mangueira e Balde	90,00 (mangueira) 28,00 (balde)	3,28	90,00 (mangueira) 28,00 (balde)	3,28
Vasos	1,29	114,67	1,29	132,08
Energia elétrica	0,83/Kwh (março/2023) CEMIG	600,44	0,83/Kwh (março/2023) CEMIG	360,26
Água e Esgoto	3,61/m ³	103,24	3,61/m ³	118,92
Adubação com Peters		510,29		587,79
Substrato		608,00		700,34
Painéis	1000,00/painel	555,56		333,33
Mão-de-obra	1302,00/salário mensal	1302,00	1302,00/salário mensal	1302,00

Para o cenário econômico em ambos cenários, considerou-se:

- Substituição do substrato a cada 4 meses, com quantidade de 500 g por planta;
- Adubação média mensal de 8,93 g por planta do fertilizante Peters 20-20-20;
- Consumo mensal de água por planta de 8,93 litros;

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A suplementação de luz aumentou 40,37 % o número de estacas no fotoperíodo 12 horas (Figura 6). As intensidades de 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ e 150 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ aumentaram 34,48 % e 40,91 %, respectivamente, em relação à não suplementação de luz (Figura 7). Sob

fotoperíodo de 12 horas houve maior produção de número de estacas sob as intensidades de 50, 100 e 150 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ em relação à não suplementação de luz com aumento de 33,90 %, 37,30 % e 49,90 %, respectivamente (Figura 8). Maior exposição à luz pode acarretar maior atividade fotossintética vegetal e, com isso, pode aumentar o número de estacas.

KOBORI (2020) observou que houve maior número de estacas de *Impatiens* cultivar White no tratamento com suplementação luminosa do tipo LED 67% de luz vermelha/33% de luz azul, aos 83 dias após o transplante, em relação à não suplementação luminosa. Porém, não ocorreu maior taxa fotossintética líquida.

Resultados relacionados a taxa de fotossíntese líquida (A) em experimento preliminar (Tabela 4) demonstraram que houve atividade fotossintética durante a noite com superioridade da suplementação luminosa. Os resultados indicaram superioridade de 10,81 vezes no fotoperíodo de 6 horas e 11,85 vezes no fotoperíodo de 12 horas comparados com a não suplementação luminosa. Da mesma forma com as intensidades 50 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, 100 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e 150 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, que foram maiores 7,86, 11,23 e 14,83 vezes em relação à não suplementação luminosa. A taxa fotossintética líquida mensurada ao dia, equivale a 10,58 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e refere-se à média entre todos os tratamentos.

Tabela 4: Valores de taxa de fotossíntese líquida (A) medidos à noite de plantas matrizes de crisântemo cultivadas sob fotoperíodos de 6 e 12 horas e intensidades luminosas de 50, 100 e 150 $\mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ com painéis LED, e lâmpada incandescente (T0).

	6 horas	12 horas	média
50 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$	3,21	3,71	3,46
100 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$	4,45	5,49	4,97
150 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$	6,61	6,44	6,52
média	4,76	5,21	4,98
T0 ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)			0,44

Figura 6: Número de estacas de plantas matrizes de crisântemo cultivadas sob fotoperíodos de 6h e 12h com painéis LED, e sob fotoperíodo de 4h com lâmpada incandescente (T0). Valores de p inferiores a 0,05 indicam diferença significativa do Número de estacas entre fotoperíodos de 6h e 12h com painéis LED em relação ao tratamento adicional pelo teste t de Student.

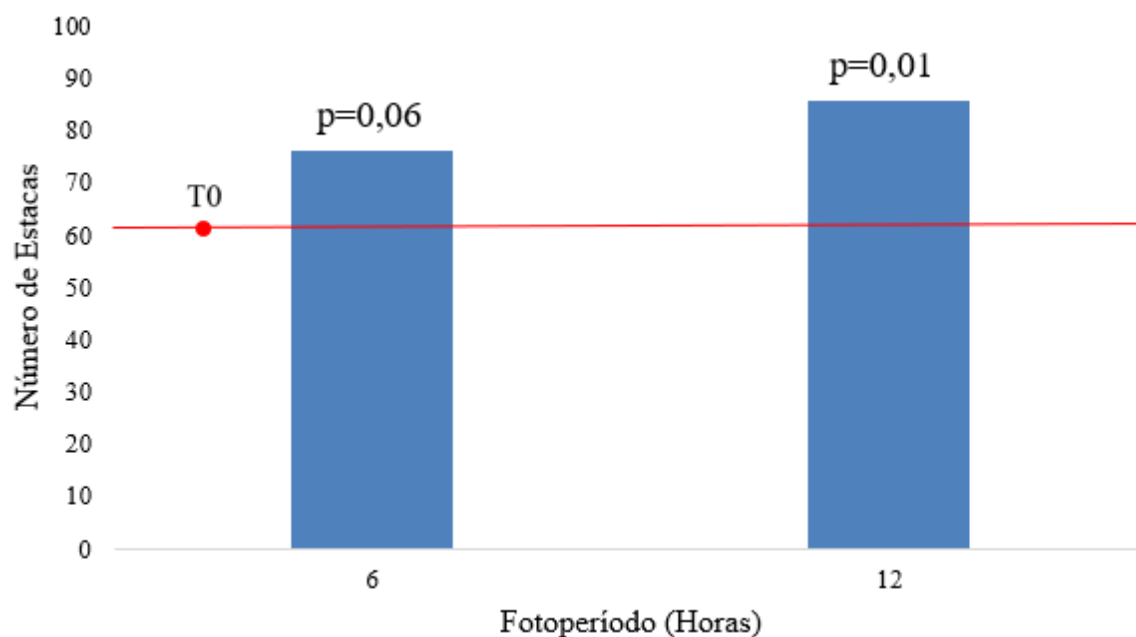


Figura 7: Número de estacas de plantas matrizes de crisântemo cultivadas sob intensidades luminosas de 50, 100 e 150 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ com painéis LED, e sob intensidade de 3 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ com lâmpada incandescente (T0). Valores de p inferiores a 0,05 indicam diferença significativa do Número de estacas entre intensidades luminosas de 50, 100 e 150 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ com painéis LED em relação ao tratamento adicional pelo teste t de Student.

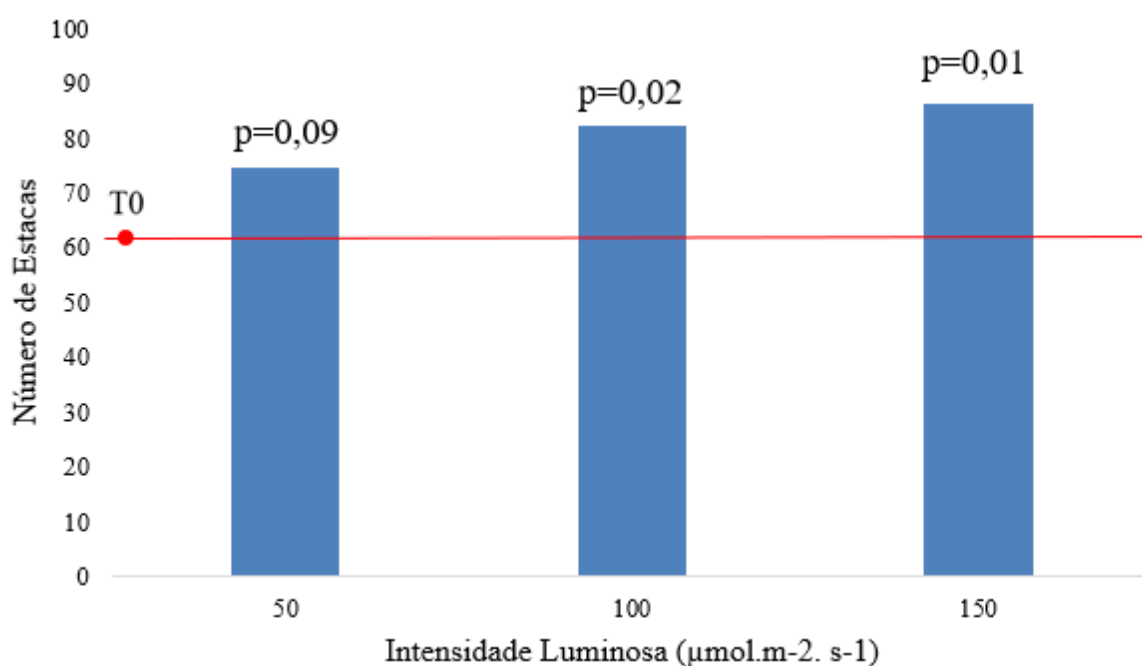
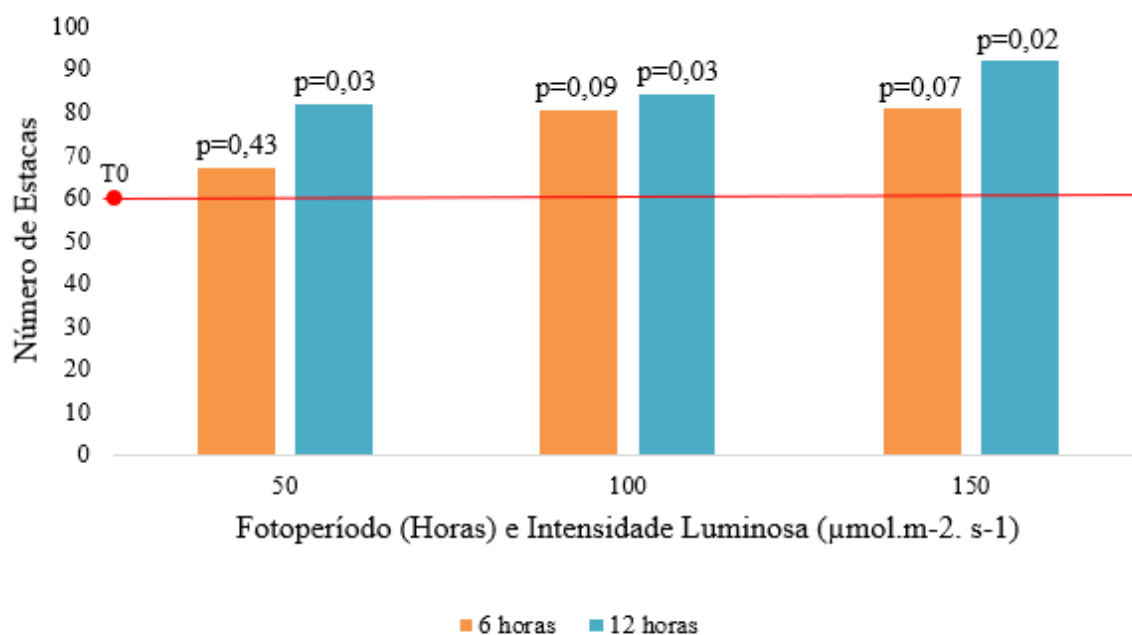


Figura 8: Número de estacas de plantas matrizes de crisântemo cultivadas sob fotoperíodos de 6 e 12 horas e intensidades luminosas de 50, 100 e 150 $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ com painéis LED, e sob intensidade de 3 $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ com lâmpada incandescente (T0). Valores de p inferiores a 0,05 indicam diferença significativa no Número de estacas entre fotoperíodos de 6h e 12h e intensidades luminosas de 50, 100 e 150 $\mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ com painéis LED em relação ao tratamento adicional pelo teste t de Student.



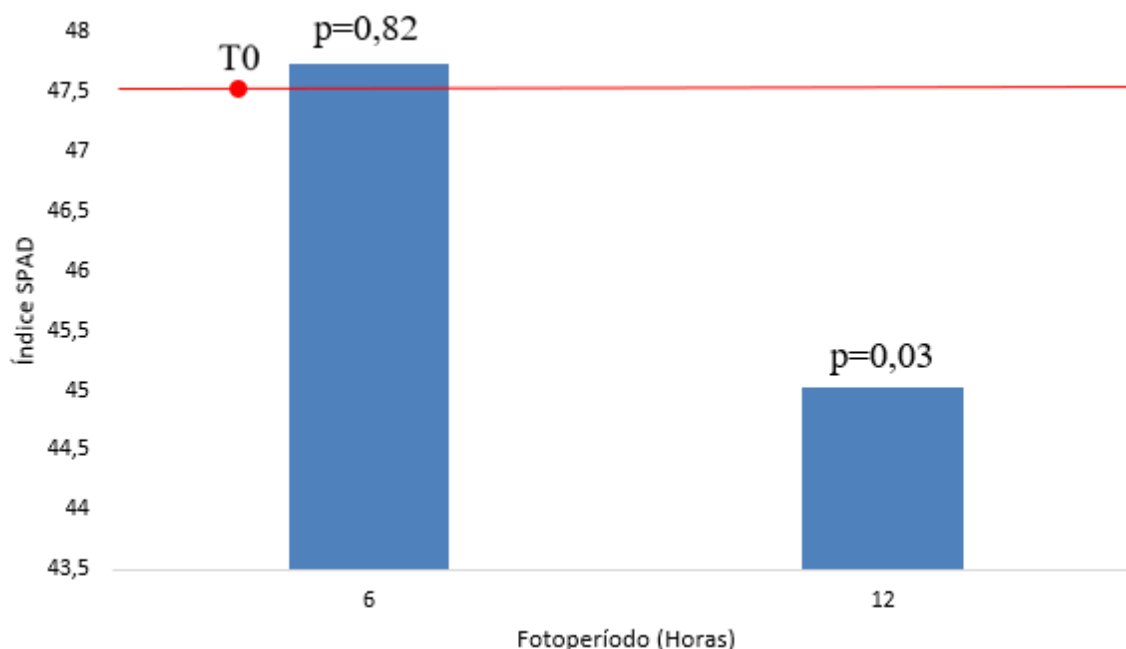
KOBORI (2020) verificou que plantas matrizes de Impatiens cultivar White, apresentaram aumento no número de estacas por planta em 42,90% comparado à não

suplementação luminosa, aos 54 dias após o transplante, em época de verão. A iluminação LED apresentou fotoperíodo de 12 horas, de 6 da manhã às 18 horas da noite, intensidade de $150 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ e comprimento de onda na proporção 75 % de vermelho e 25 % de azul. Também foi verificado que a cultivar Royal Magenta não respondeu positivamente à iluminação artificial, demonstrando que a resposta do número de estacas é controlada pela iluminação artificial LED e pelo material genético.

Já aos 202 dias após o transplante, durante o inverno, a iluminação artificial LED nas proporções 83% de vermelho e 17% de azul foi significativamente superior em relação à não suplementação luminosa, com aumento de 35,40%, demonstrado através da média entre os cultivares White e Royal Magenta. Isto indica que neste período a resposta desta variável foi controlada somente pela iluminação artificial.

No parâmetro Índice SPAD houve efeito significativo da suplementação luminosa no fator Fotoperíodo de 12 horas e decréscimo do menor para o maior valor do fator (Figura 9).

Figura 9: Índice SPAD de plantas matrizes de crisântemo cultivadas sob fotoperíodos de 6h e 12h com painéis LED, e sob fotoperíodo de 4h com lâmpada incandescente (T0). Valores de p inferiores a 0,05 indicam diferença significativa do Índice SPAD fotoperíodos de 6h e 12h com painéis LED em relação ao tratamento adicional pelo teste t de Student.



As médias das temperaturas máxima e mínima durante o período em que as plantas permaneceram na casa de vegetação foram $35,27^{\circ}\text{C}$ e $16,05^{\circ}\text{C}$, respectivamente. A alta temperatura pode ter contribuído para potencializar o estresse oxidativo das plantas, que pode

estar relacionado com os valores mais baixos do Índice SPAD evidenciados no fotoperíodo de 12 horas. Também pode ter influência no número de estacas.

Este parâmetro foi determinado pelo clorofilômetro SPAD, que possibilita uma rápida e eficaz estimativa do teor de clorofila em folhas de plantas de crisântemo (MARTINS et al., 2010). O instrumento avalia quantitativamente o teor da coloração verde da folha, em que há a medição das transmissões de luz a 650 nm, onde ocorre absorção de luz pela molécula de clorofila e a 940 nm, onde não acontece absorção. A partir destes dois valores, o aparelho calcula um índice, denominado Índice SPAD, que normalmente apresenta boa correlação com o teor de clorofila da folha (GIL, et al., 2002).

NASCIMENTO (2019) observou que pétalas amarelas de capuchinha submetidas à iluminação LED suplementar noturna apresentaram maior conteúdo de antioxidante em relação à não suplementação luminosa. Isto permite justificar que a iluminação suplementar noturna do tipo LED gera condição de estresse às plantas. A iluminação LED ocorreu sob intensidade luminosa de $71,95 \pm 3,70 \mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, comprimento de onda vermelho e fotoperíodos de 0, 2, 4 e 6 horas, durante 90 dias.

RONCHETI (2018) observou que luz LED propiciou maiores valores de antocianinas totais, compostos fenólicos totais e conteúdo antioxidante determinado pelo método DPPH em relação a não suplementação luminosa em flores vermelhas de capuchinha. Já através do método ABTS, somente a luz vermelha apresentou superioridade, ambos aos 60 dias de cultivo, o que demonstra o efeito oxidativo dos dispositivos LED sobre as plantas. A iluminação LED ocorreu sob intensidade de $98 \pm 3 \mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, comprimento de onda vermelho, azul e azul com vermelho, e fotoperíodo de 6 horas.

NASCIMENTO (2019) observou que plantas de capuchinha submetidas à iluminação LED suplementar noturna apresentaram aumento do conteúdo antioxidante até ponto de máximo, próximo ao fotoperíodo de 3 horas e, posteriormente, uma queda. Os resultados foram determinados através de técnicas ABTS e DPPH, sendo significativo em ambas para pétalas amarelas, na primeira em pétalas vermelhas, e somente na última técnica em sépalas alaranjadas. Isto pode ser explicado pela condição de estresse causada pelo tempo excessivo de exposição à luz, que leva à interpretação de que nos menores fotoperíodos há produção de forma intensa de fitoquímicos de proteção, enquanto maiores fotoperíodos levam à fotodegradação destes compostos.

Não houve efeito significativo nas demais variáveis número de estacas, número de folhas, diâmetro da base, peso seco, peso fresco e área foliar total e área foliar média por folha para fotoperíodo, intensidade luminosa e interação fotoperíodo x intensidade luminosa.

RIBEIRO (2021) relatou que estacas de crisântemo da variedade Rage submetidas à iluminação LED com comprimento de onda de 630 nm, sob intensidade de $1,2 \mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ e fotoperíodo de 4 horas, sob noite interrompida, apresentaram maior número de folhas que a não suplementação luminosa, com intensidade de $2 \mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, com mesmo fotoperíodo, na segunda e terceira semana após o plantio.

RANDALL & LOPEZ (2015) verificaram que o uso de iluminação LED nas espécies Geranium e Cravo-de-defunto avaliados aos 21 dias e Vinca, Impatiens Walleriana e Petunia avaliadas aos 28 dias, todos após semeadura, apresentaram maiores valores das variáveis número de folhas, massa seca da parte aérea e índice SPAD em relação à não suplementação luminosa, para todos os comprimentos de onda e intensidades luminosas adotados. A iluminação LED ocorreu sob fotoperíodo de 16 horas. Houve tratamento com intensidade de $185 \mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ e proporções de comprimentos de onda 87 % de vermelho e 13% de azul. Também houveram tratamentos com intensidades de 70 e $185 \mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, ambos sob comprimentos de onda nas proporções de 70% de Vermelho e 30% de azul.

WOLLAEGER & RUNKLE (2014) argumentam que plantas cultivadas apenas sob luz com comprimento de onda na faixa do vermelho comumente acumulam maior biomassa do que quando cultivadas em outras faixas de onda. No estudo realizado pelos autores foi observado que a qualidade da luz influencia a qualidade de plantas ornamentais avaliadas entre 31 e 36 dias após semeadura. Foi observado em experimento que plantas de impatiens, tomate, sálvia e petúnia iluminadas com LED no comprimento vermelho apresentaram maior área foliar total e massa fresca da parte aérea em relação a plantas cultivadas em diferentes proporções de comprimentos de onda na região do azul, verde e vermelho. A iluminação LED ocorreu sob intensidade luminosa de $160 \mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ e fotoperíodo de 18 horas.

Através da análise econômica, foi observado que a suplementação luminosa nos cenários 1 e 2, com base no número de estacas, apresentaram cenário econômico positivo, no horizonte de planejamento de 3 anos, através dos resultados referentes aos seguintes indicadores: VPL positivo, TIR superior à taxa SELIC, RBC maior que 1 e TP inferior ao horizonte de planejamento. Foi demonstrado os valores presentes acumulados no horizonte de 3 anos na tabela 5 e os indicadores econômicos na tabela 6.

RIBEIRO (2021) avaliou que sistemas de iluminação com lâmpadas LED de 6 e 18 W, adotados para produção de crisântemo de corte, variedade Sunny Reagan, apresentaram alto custo de implantação comparados com um sistema com lâmpadas incandescentes com 100 W. Porém foram alternativas economicamente viáveis e atrativas, apresentando VPL superior a 1, TIR superior à taxa de desconto, RBC maior que 1 e tempo de payback inferior

ao horizonte de planejamento de 6 anos para ambas lâmpadas LED sob o período de 4 horas de luz por dia.

ZANOTELLI (2009) demonstrou que sistema de iluminação com lâmpadas LED de 2 W no cultivo de crisântemo para corte, com 2500 lâmpadas por ha e gasto de 4 horas de luz diárias apresentou viabilidade econômica atrativa. Os cálculos apresentaram VPL superior a zero, RBC maior que 1 e tempo de payback inferior ao horizonte de planejamento de 5 anos. O uso de lâmpadas LED apresentou economia aproximada de 96,5% de energia elétrica comparado com a utilização de 1429 lâmpadas incandescentes de 100 W por ha.

Tabela 5: Período (Ano); Fluxo de Caixa (R\$); Valor Presente (R\$) e Valor Presente Acumulado (R\$) dos cenários 1 e 2.

Período (Ano)	Valor Presente	Acumulado	Valor Presente	Acumulado
	Cenário 1		Cenário 2	
0	-R\$ 136.708,86		-R\$ 127.368,17	
1	-R\$ 70.165,40		-R\$ 53.060,60	
2	-R\$ 11.665,66		R\$ 12.264,73	
3	R\$ 39.762,68		R\$ 69.693,60	

Tabela 6: Soma VPs (R\$) (Ano 1 a Ano 3); VPL do projeto (R\$); TIR (%); RBC e TP (anos) dos cenários 1 e 2.

Valores Presentes e	Cenário 1	Cenário 2
Indicadores Econômicos		
Soma dos Valores Presentes	R\$ 176.471,54	R\$ 197.061,77
VPL	R\$ 39.762,68	R\$ 69.693,60
TIR	30,39 %	44,26%
RBC	1,29	1,55
TP	2,23	1,81

5. CONCLUSÕES

O uso de iluminação suplementar foi mais eficiente em relação a não suplementação luminosa no parâmetro número de estacas.

A iluminação suplementar reduziu o índice SPAD em relação a não suplementação luminosa.

O Fotoperíodo de 12 horas da iluminação suplementar noturna tipo LED reduziu o índice SPAD de plantas matrizes de crisântemo.

As variáveis número de estacas, número de folhas, diâmetro da base, peso de matéria fresca, peso de matéria seca, área foliar total e área foliar média por folha não foram influenciados pelo Fotoperíodo e Intensidade Luminosa da iluminação suplementar noturna tipo LED.

A iluminação suplementar apresentou viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, J. G.; GROSSI, J. A. S.; BORÉM, A. Crisântemo: do plantio à colheita. Viçosa, MG: UFV, CEAD, 2019.

CARVALHO, H. M. B.; DE ALTO, Diodos Emissores de Luz. Brilho e Alta Potência. **Directlight–Artigo DL-05**, 2007.

CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. 2020. Valores de tarifas e serviços. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/ptbr/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx>. Acesso em: 22 de janeiro. 2023.

GARDE, Gabriel Prado. Suplementação de luz intermitente emitida por LED sobre as características fitotécnicas e anatômicas de crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev). 2013. 40 p. (Dissertação de Mestrado). UFV, Viçosa.

GIL, P.T.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; FERREIRA, F.A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 4, p. 611-615, dezembro 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. **IBRAFLOR News, abril de 2022**. Disponível em: https://www.ibraflor.com.br/files/ugd/b3d028_26c71b8f74b047e09b620db73ca01c99.pdf. Acesso em: 28 fev, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. **IBRAFLOR News, janeiro e fevereiro de 2023**. Disponível em: https://www.ibraflor.com.br/files/ugd/b3d028_3d3f51473b594ebeace847f5f09067d8.pdf. Acesso em: 28 fev, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. **O mercado de flores no Brasil, 2022**. Disponível em: https://www.ibraflor.com.br/files/ugd/b3d028_2ca7dd85f28f4add9c4eda570adc369f.pdf. Acesso em: 28 fev, 2023.

KOBORI, Márcia Maria Rabelo Guimarães. **Suplementação luminosa na fisiologia, na produtividade e qualidade de estacas de Impatiens**. 2020. 86 p. (Tese de Doutorado). USP/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

LIU, HongKai et al. The influence of light-emitting diodes on the phenolic compounds and antioxidant activities in pea sprouts. **Journal of Functional Foods**, v. 25, p. 459-465, 2016.

LOPES, D. C.; NETO, AJ Steidle. Preliminary economic study of biodiesel production from Pequi in Brazil. **Open Access J. Sci**, v. 1, p. 27, 2017.

MANIVANNAN, Abinaya et al. Blue LED light enhances growth, phytochemical contents, and antioxidant enzyme activities of *Rehmannia glutinosa* cultured in vitro. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 56, p. 105-113, 2015.

MARTINS AD; COELHO FS; LEAO AB; SILVA MCC; BRAUN H; FONTES PCR. Relação entre índice SPAD, teores de clorofila extraível e nitrogênio na folha de batata. 2010. *Horticultura Brasileira* 28: S835-S841.

MASSA, Gioia D. et al. Plant productivity in response to LED lighting. **HortScience**, v. 43, n. 7, p. 1951-1956, 2008.

MILANEZ, André Malacarne. Luz intermitente de lâmpadas de diodo emissor de luz “LED” no controle do florescimento em crisântemo (*Dendranthema grandiflorum* T.). 2017. 58 p. (Tese de Doutorado). UFV, Viçosa.

NASCIMENTO, Amanda Lais Alves Almeida. Efeito de diferentes tempos de exposição à luz Led vermelha em compostos bioativos de flores de capuchinha (*Tropaeolum majus* L.). 2019. 55 p. (Tese de Doutorado). UFV, Viçosa.

RANDALL, Wesley C.; LOPEZ, Roberto G. Comparison of bedding plant seedlings grown under sole-source light-emitting diodes (LEDs) and greenhouse supplemental lighting from LEDs and high-pressure sodium lamps. **HortScience**, v. 50, n. 5, p. 705-713, 2015.

R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (2021). (URL <https://www.R-project.org/>).

RIBEIRO, Ricardo Pires. Efeito de um dispositivo led no controle fotoperiódico na produção de mudas e flores do crisântemo (*Dendranthema grandiflorum* T.). 2021. 64 p. (Tese de Doutorado). UFV, Viçosa.

RONCHETI, Elder Felipe Silva. Efeito da radiação solar e da suplementação de luz led na biossíntese de compostos bioativos em flores de capuchinha (*Tropaeolum majus* L.). 2018. 81 p. (Tese de Doutorado). UFV, Viçosa.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TERASHIMA, Ichiro et al. Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: revisiting the enigmatic question of why leaves are green. **Plant and cell physiology**, v. 50, n. 4, p. 684-697, 2009.

USHIMARU, Takefumi. Influência do sombreamento sobre a fisiologia, crescimento e qualidade das mudas de juçara (*Euterpe edulis* Mart.). 2021. 78 p. (Dissertação de Mestrado). UFV, Viçosa.

WOLLAEGER, Heidi Marie; RUNKLE, Erik S. Growth of impatiens, petunia, salvia, and tomato seedlings under blue, green, and red light-emitting diodes. **HortScience**, v. 49, n. 6, p. 734-740, 2014.

ZANOTELLI, Marinaldo Francisco. Avaliação do dispositivo LED no controle do florescimento do crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.) 'Yoko Ono'. 2009. 46 p. (Dissertação de Mestrado). UFV, Viçosa.