

**RICARDO PIRES RIBEIRO**

**EFEITO DE UM DISPOSITIVO LED NO CONTROLE FOTOPERIÓDICO  
NA PRODUÇÃO DE MUDAS E FLORES DO CRISÂNTEMO (*Dendranthema  
grandiflorum* T.)**

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

Orientador: José Antonio Saraiva Grossi

Coorientadores: Lívia Lopes Coelho  
Edgard Augusto de Toledo Picoli  
Ernesto José Resende Rodrigues  
José Geraldo Barbosa  
Luiz Alexandre Peternelli

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2020**

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

T

R484e  
2021  
Ribeiro, Ricardo Pires, 1991-  
Efeito de um dispositivo LED no controle fotoperiódico na  
produção de mudas e flores do crisântemo (*Dendranthema  
grandiflorum* T.) / Ricardo Pires Ribeiro. – Viçosa, MG, 2021.  
64 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: José Antonio Saraiva Grossi.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Flores - Crescimento. 2. Fotoperíodo. 3. Iluminação  
artificial. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 635.9

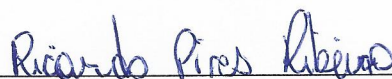
RICARDO PIRES RIBEIRO

**EFEITO DE UM DISPOSITIVO LED NO CONTROLE FOTOPERIÓDICO  
DA PRODUÇÃO DE MUDAS E FLORES DO CRISÂNTEMO (*Dendranthema  
grandiflorum* T.)**

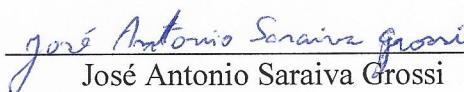
Tese apresentada à Universidade Federal  
de Viçosa, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Fitotecnia, para a obtenção do título de  
*Doctor Scientiae*.

APROVADA: 19 de janeiro de 2021

Assentimento:



\_\_\_\_\_  
Ricardo Pires Ribeiro  
Autor



\_\_\_\_\_  
José Antonio Saraiva Grossi  
Orientador

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia por todo suporte e promover todas as condições necessárias para o desenvolvimento da minha pesquisa. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de financiamento 001, pelo provimento da bolsa de estudo. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento deste trabalho de pesquisa.

Eu gostaria de agradecer ao meu orientador José Antonio S. Grossi e aos meus coorientadores pelo auxílio, em especial, à Lívia Lopes Coelho pelas correções, auxílio e amizade, que mesmo morando na Dinamarca foi sempre rápida em me socorrer, muito obrigado.

À dielétrica, empresa Jr do Departamento de Engenharia Elétrica, pelo aprimoramento e construção da nova versão do protótipo de lâmpada de LED usadas nos experimentos.

Aos meus amigos do setor de floricultura e laboratório de biotecnologia e melhoramento vegetal, em especial ao Toshik, Renata, Alessandra, Milene e Uilian pela amizade e auxílio nos experimentos. Aos meus amigos Cristiano Marcelo, Bruno Wesley, Rúbens e Rodolfo Floresta pela amizade e me aturar nesses anos de convívio. À todos, meu muito obrigado, espero que mantenhamos a amizade mesmo seguindo caminhos diferentes.

Aos meus pais, Elisson José Ribeiro e Luzelene Pires de Deus Ribeiro, minha irmã, Évillen Pablinny Pires Ribeiro, por todo amor, carinho e preocupação.

## RESUMO

RIBEIRO, Ricardo Pires, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2021. **Efeito de um dispositivo LED no controle fotoperiódico na produção de mudas e flores do crisântemo (*Dendranthema grandiflorum* T.)**. Orientador: José Antonio Saraiva Grossi. Coorientadores: Edgard Augusto de Toledo Picoli, Ernesto José Resende Rodrigues, José Geraldo Barbosa, Lívia Lopes Coelho e Luiz Alexandre Peternelli.

O crisântemo é uma das quatro plantas ornamentais mais cultivada no mundo, e seu cultivo engloba as produções de plantas matrizes para obter material vegetativo, estacas enraizadas, flor para corte e planta para vaso. O crisântemo é uma planta de dias curtos com rápida indução floral, exigindo dias longos para o crescimento vegetativo. Lâmpadas incandescentes são o meio mais comum de promover dias longos artificialmente, porém, o consumo elevado de energia elétrica aumenta os custos de produção. Alternativamente, o LED (Light Emiting Diode) possui maior durabilidade, eficiência energética e produção de luz de faixa espectral específica. Portanto, objetivou-se avaliar os efeitos do dispositivo LED (lâmpada LED) desenvolvido pelo Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, Brasil, na produção de estacas enraizadas e flores do crisântemo, em três experimentos: i) produção de estacas enraizadas de duas variedades de crisântemo (Rage e Sunny Reagan) sob noite interrompida (NI) com dispositivo LED, ii) produção de crisântemo para flor de corte sob NI com diferentes tipos de lâmpadas, e iii) viabilidade econômica da substituição do sistema de iluminação com lâmpadas incandescentes 100 W por LED de 18 ou 6 W. O dispositivo LED aumentou o número de folhas, área foliar, comprimento do caule, e peso seco das folhas e caule das estacas enraizadas de ambas variedades, contudo, não afetou o número, comprimento e peso seco das raízes. Os diferentes tipos de lâmpadas utilizados durante os dias longos foram eficientes em inibir o florescimento das plantas de crisântemo, permitindo que as hastes florais atingissem comprimento adequado à comercialização, sem diferenças entre os tratamentos. A substituição do sistema de iluminação com lâmpadas incandescentes por LED 18 ou 6 W tiveram alto custo inicial, porém, ao final de 6 anos de planejamento, tiveram valor presente líquido (VPL) positivo, taxa interna de retorno (TIR) maior que a taxa de atratividade (6,50 %), e período de retorno do investimento inicial (Payback) menor que 39 meses para ambos os cenários estudados (produção de flor para corte e planta em vaso). Portanto, a iluminação NI com o dispositivo LEDs é

eficiente na promoção de dias longos, gerando estacas enraizadas e hastes florais de alta qualidade, e embora com alto custo de implantação, são economicamente viáveis e atrativas.

Palavras-chave: Fotoperíodo. Iluminação artificial. Inibição do florescimento.

## ABSTRACT

RIBEIRO, Ricardo Pires, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2021. **Effect of an LED device on photoperiodic control in the seedlings and flowers chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* T.) production.** Advisor: José Antonio Saraiva Grossi. Co-advisors: Edgard Augusto de Toledo Picoli, Ernesto José Rezende Rodrigues, José Geraldo Barbosa, Lívia Lopes Coelho and Luiz Alexandre Peternelli.

Chrysanthemum is one of the four most cultivated ornamental plants in the worldwide, and its cultivation includes productions of mother stocks to obtain vegetative material, rooted cuttings, cut flower and potted plant. Chrysanthemum is a short-day plant with fast floral induction, requiring long days for vegetative growth. Incandescent lamps are the most common means to promoting long days artificially, however, the high electric energy consumption increases production costs. Alternatively, the LED (Light Emitting Diode) has greater durability, energy efficiency and light production of specific spectral range. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effects of the LED device developed by the Department of Agronomy at the University of Viçosa, Brazil, in the rooted cutting and flowers chrysanthemum production, in three experiments: i) production of rooted cuttings of two varieties of chrysanthemum (Rage and Sunny Reagan) under night interruption (NI) with LED device, ii) chrysanthemum production for cut flower under NI with different types of lamps, and iii) economic feasibility of replacing the 100 W incandescent lamp lighting system with 18 and 6 W LED. The LED device increased the number of leaves, leaf area, stem length, and dry weight of leaves and stem of rooted cuttings of both varieties, however, did not affect the roots number, length and dry weight. The different types of lamps used during the long days were efficient in inhibiting the flowering of the chrysanthemum plants, allowing the floral stems to reach an appropriate length for commercialization, without differences between treatments. The replacement of the incandescent lamps lighting system with 18 or 6 W LED had a high initial cost, however, after 6 years of planning, they had a positive net present value (NPV), an internal rate of return (IRR) greater than the rate of attractiveness (6,50 %), and a payback period (Payback) less than 39 months for both studied scenarios (cut flower and potted plant production). Therefore, NI lighting with LED device is efficient in long days promotion, generating high-quality rooted cuttings and floral stems, and despite the high implementation cost, they are economically viable and attractive.

Keywords: Photoperiod. Artificial lighting. Flowering inhibition.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	10
2. REFERÊNCIAS.....	12
CAPÍTULO 1: USO DO DISPOSITIVO LED DE BAIXA INTENSIDADE NA PRODUÇÃO DE ESTACAS ENRAIZADAS DE CRISÂNTEMO.....	16
RESUMO .....	16
1. INTRODUÇÃO.....	16
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	19
2.1. <i>Material vegetativo e condição do experimento</i> .....	19
2.2. <i>Tratamento luminoso</i> .....	19
2.3. <i>Fatores fitotécnicos</i> .....	20
2.4. <i>Delineamento e análise estatística</i> .....	20
3. RESULTADOS .....	21
4. DISCUSSÃO .....	24
5. CONCLUSÕES .....	26
6. REFERÊNCIAS.....	27
CAPÍTULO 2: USO DE LED DE BAIXA INTENSIDADE NO CULTIVO DE CRISÂNTEMO DE CORTE. ....	34
RESUMO .....	34
1. INTRODUÇÃO.....	34
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	36
2.1. <i>Material vegetativo e condição do experimento</i> .....	36
2.2. <i>Tratamento luminoso</i> .....	36
2.3. <i>Fatores fitotécnicos</i> .....	37
2.4. <i>Taxa de crescimento absoluto (TCA)</i> .....	37
2.5. <i>Trocas gasosas</i> .....	38
2.6. <i>Delineamento e análise estatística</i> .....	38
3. RESULTADOS .....	38
4. DISCUSSÃO .....	42
5. CONCLUSÕES .....	44
6. REFERÊNCIAS.....	45
CAPÍTULO 3: VIABILIDADE ECONÔMICA DE DIFERENTES SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO NA PRODUÇÃO DE CRISÂNTEMO.....	52

RESUMO .....	52
1. INTRODUÇÃO .....	52
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	54
2.1. Cenários (Projetos).....	54
2.2. Análise de viabilidade econômica.....	55
3. RESULTADOS .....	56
4. DISCUSSÃO .....	57
5. CONCLUSÕES .....	59
6. REFERÊNCIAS.....	59
CONCLUSÕES GERAIS .....	64

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

As plantas utilizam a luz como fonte de energia para a fotólise da água e geração de gradiente de prótons necessário para produção de ATP e potencial redox NADPH (Gardeström e Igamberdiev, 2016). Contudo, a importância da luz vai além dos processos fotossintéticos, sendo gatilho para diversos processos fisiológicos, anatômicos, morfológicos e moleculares. A qualidade da luz induz acúmulo de clorofilas, estiolamento do caule, formação e fototropismo das raízes, controle do florescimento, entre outros (Suzuki et al., 2016; Landi et al., 2019; Hamdani et al., 2019). Portanto, a iluminação artificial tem como objetivo manipular as condições da luz ambiente para controlar o crescimento e desenvolvimento das plantas.

A iluminação artificial pode ser utilizada em paralelo com a luz solar para aumentar a luz diária integral (LDI) durante dias com baixa intensidade luminosa, ao final do dia/meio da noite para aumentar o fotoperíodo, ou mesmo o uso exclusivo de luz artificial durante o fotoperíodo (Craig e Runkle, 2016; Bian et al., 2018; Paucek et al., 2020). Os comprimentos de onda vermelho e azul são os mais utilizados na iluminação artificial por corresponderem a 90 % dos comprimentos de ondas absorvidos pelos pigmentos fotossintéticos e pelos fotorreceptores fitocromo e criptocromo, respectivamente, assim, controlando processos fotossintéticos e fotomorfogênicos (Terashima et al., 2009, Chen et al., 2014).

O crisântemo é uma das quatro plantas ornamentais mais cultivadas no mundo, tanto para flor de corte quanto para planta em vaso, e seu cultivo engloba a produção de plantas matrizes, estacas enraizadas ou não, flor para corte e planta para vaso (Junqueira e Peetz 2017; Loyola et al., 2019). O crisântemo é uma planta de dias curtos, ou seja, sob dias longos o crescimento vegetativo é induzido, enquanto que em dias curtos o florescimento é induzido (Nakano et al. 2019). Assim, o controle do fotoperíodo é necessário para obter plantas matrizes, estacas enraizadas, plantas em vaso e hastes florais de qualidade.

O controle fotoperiódico do florescimento é um processo mediado pelo fitocromo e dependem do balanço entre sua forma ativa (Fv) e inativa (Fvd). O fitocromo Fv ao absorver luz vermelha é convertido em Fvd, enquanto que a absorção de luz vermelho distante ou período de escuro converte a forma Fvd em Fv (Thomas e Vince-Prue, 1997; Wang e Wang, 2015). O balanço entre as isoformas Fvd:Fv durante a noite determina a resposta fisiológica ao florescimento e varia com

a qualidade, intensidade e duração da iluminação artificial adotada (Craig e Runkle, 2016). A interrupção da noite somente é efetiva quando a luz aplicada for suficiente para saturar a foto-conversão do Fv em Fvd (Wang e Wang, 2015; Craig and Runkle, 2016). Portanto, lâmpadas que emitem luz com espectro vermelho são eficientes em promover interrupção da noite e controlar o fotoperíodo.

A lâmpada incandescente é uma fonte luminosa barata que emite ampla faixa do espectro luminoso (400–800 nm), por isso é comum em viveiros e casa de vegetação (Craig e Runkle, 2013; Liao et al., 2014). Contudo, a baixa eficiência na conversão luminosa, emissão de calor e baixa vida útil gera altos gastos com energia elétrica e inviabiliza seu uso (Santos et al., 2015). Lâmpadas incandescentes ou HSP (High Pressure Sodium) corresponde de 20–30% dos custos em casas de vegetação (Bessho e Shimizu, 2012; Van Iersel e Gianino, 2017). A política de banimento de lâmpadas incandescentes implementadas no Brasil e em diversos países, iniciou a corrida por fontes de iluminação mais eficientes (CEC, 2009; MME, 2010). A lâmpada LED (Light Emitting Diode) é uma tecnologia com o diferencial de produzir luz com específica intensidade e comprimento de onda, possui alta eficiência, longa durabilidade e baixo consumo de energia elétrica (Carvalho, 2007; AIE, 2010).

Plantas de tomate e alface cultivados com suplementação luminosa LED mantiveram produtividade consumindo apenas 25 % da energia elétrica utilizada por lâmpadas tradicionais (Kacira, 2011; Mitchell et al., 2012). Apesar dos estudos mostrarem a eficiência do LED no crescimento e desenvolvimento de plantas, o elevado custo inicial de implantação das lâmpadas limita a dispersão do LED na agricultura. A queda do custo dos componentes para confecção de lâmpada LED e redução de consumo elétrico são fatores atrativos para implantar essa tecnologia (Singh et al., 2015; Benke e Tomkins, 2017).

A eficiência da luz vermelha em promover o controle fotoperiódico, alterações fotomorfogênicas e a redução do consumo de energia elétrica torna o uso de lâmpadas LED promissor e necessário na agricultura. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o dispositivo LED desenvolvido no Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, Brasil, na produção de estacas enraizadas e flores de crisântemo.

## 2. REFERÊNCIAS

- AIE – AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. 2010. Phase out of incandescent lamps - Implications for international supply and demand for regulatory compliant lamps. Paris. Disponível em: <[https://www.oecd-ilibrary.org/energy/phase-out-of-incandescent-lamps\\_5kmh3nhp62s0-en](https://www.oecd-ilibrary.org/energy/phase-out-of-incandescent-lamps_5kmh3nhp62s0-en)> acessado em 10/08/2020.
- BIAN, Z., CHENG, R., WANG, Y., YANG, Q., LU, C. 2018. Effect of green light on nitrate reduction and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.) under short-term continuous light from red and blue light-emitting diodes. *Environmental and Experimental Botany*, 153, 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.05.010>
- BENKE, K., TOMKINS, B. 2017. Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13(1), 13–26. <https://doi.org/10.1080/15487733.2017.1394054>
- BESSHO, M., SHIMIZU, K. 2012. Latest trends in LED lighting. *Electronics and Communications in Japan*, 95(1), 1–7. <https://doi.org/10.1002/ecj.10394>
- CARVALHO, H. 2007. Diodos de luz de alto brilho e alta potência. (artigo DL-05). São Paulo: Directlight Indústria e Comércio de Produtos Eletrônicos Ltda. 2 p.
- CEC – COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. 2009. Commission Regulation EC N° 244/2009; implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps. *Official Journal of the European Union*, L76, 3e16.
- CHEN, X. L., GUO, W. Z., XUE, X. Z., WANG, L. C., QIAO, X. J. 2014. Growth and quality responses of ‘Green Oak Leaf’ lettuce as affected by monochromic or mixed radiation provided by fluorescent lamp (FL) and light-emitting diode (LED). *Scientia Horticulturae*. 172, 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.04.009>
- CRAIG, D. S., RUNKLE, E. S. 2016. An intermediate phytochrome photoequilibria from night-interruption lighting optimally promotes flowering of several long-day plants. *Environmental and Experimental Botany*, 121, 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.04.004>

- CRAIG, D. S., RUNKLE, E. S. 2013. A moderate to high red to far-red light ratio from light-emitting diodes controls flowering of short-day plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 138(3), 167–172. <https://doi.org/10.21273/JASHS.138.3.167>
- GARDESTRÖM, P., IGAMBERDIEV, A. U. 2016. The origin of cytosolic ATP in photosynthetic cells. *Physiologia Plantarum*, 157(3), 367–379. <https://doi.org/10.1111/ppl.12455>
- HAMDANI, S., KHAN, N., PERVEEN, S., QU, M., JIANG, J., GOVINDJEE, G., ZHU, X. G. 2019. Changes in the photosynthesis properties and photoprotection capacity in rice (*Oryza sativa*) grown under red, blue, or white light. *Photosynthesis Research*, 139(1), 107–121. <https://doi.org/10.1007/s11120-018-0589-6>
- JUNQUEIRA, A. H., PEETZ, M. D. S. 2017. Brazilian consumption of flowers and ornamental plants: habits, practices and trends. *Ornamental Horticulture*, 23(2): 78–184. <https://doi.org/10.14295/oh.v23i2.1070>
- KACIRA, M. 2011. Greenhouse production in US: status, challenges, and opportunities. In CIGR (2011) Conference on Sustainable Bioproduction WEF, 19–23.
- LANDI, M., ZIVCAK, M., SYTAR, O., BRESTIC, M., ALLAKHVERDIEV, S. I. 2020. Plasticity of photosynthetic processes and the accumulation of secondary metabolites in plants in response to monochromatic light environments: A review. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 1861(2), 148131. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2019.148131>
- LIAO, Y., SUZUKI, K., YU, Y., ZHUANG, D., TAKAI, Y., OGASAWARA, R., SHIMAZU, T., FUKUI, H. 2014. Night-break effect of LED light with different wavelengths on shoot elongation of *Chrysanthemum morifolium* Ramat “Jimba” and “Iwa no hakusen”. *Environmental Control in Biology*, 52(1), 51–55. <https://doi.org/10.2525/ecb.52.51>
- LOYOLA, C. E., DOLE, J. M., DUNNING, R. 2019. South and Central America cut flower production and postharvest survey. *HortTechnology*, 29, 898–905. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04484-19>
- MITCHELL, C. A., BOTH, A. J., BOURGET, C. M., BURR, J. F., KUBOTA, C., LOPEZ, R. G., MORROW, R. C. RUNKLE, E. S. 2012. LEDs: The future of greenhouse lighting!. *Chronica Horticulturae*, 52(1), 6–12.

- MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. 2010. Portaria Interministerial nº 1.007, de 31 de dezembro de 2010 - Regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de lâmpadas incandescentes. 2011. nº 4 - Diário Oficial da União.
- NAKANO, Y., TAKASE, T., TAKAHASHI, S., SUMITOMO, K., HIGUCHI, Y., HISAMATSU, T. 2019. Chrysanthemum requires short-day repeats for anthesis: Gradual *CsFTL3* induction through a feedback loop under short-day conditions. *Plant Science*, 283, 247–255. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.01.023>
- PAUCEK, I., PENNISI, G., PISTILLO, A., APPOLLONI, E., CREPALDI, A., CALEGARI, B., SPINELLI, F., CELLINI, A., GABARRELL, X., ORSINI, F., GIANQUINTO, G. 2020. Supplementary LED interlighting improves yield and precocity of greenhouse tomatoes in the Mediterranean. *Agronomy*, 10(7), 1002. <https://doi.org/10.3390/agronomy10071002>
- SANTOS, T. S. D., BATISTA, M. C., POZZA, S. A., ROSSI, L. S. 2015. Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 20(4), 595–602. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020040125106>
- SINGH, D., BASU, C., MEINHARDT-WOLLWEBER, M., ROTH, B. 2015. LEDs for energy efficient greenhouse lighting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.117>
- SUZUKI, H., YOKAWA, K., NAKANO, S., YOSHIDA, Y., FABRISSIN, I., OKAMOTO, T., BALUŠKA, F., KOSHIBA, T. 2016. Root cap-dependent gravitropic U-turn of maize root requires light-induced auxin biosynthesis via the *YUC* pathway in the root apex. *Journal of Experimental Botany*, 67(15), 4581–4591. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw232>
- TERASHIMA, I., FUJITA, T., INOUE, T., CHOW, W. S., OGUCHI, R. 2009. 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*, 50(4), 684–697. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcp034>
- THOMAS, B. VINCE-PRUE, D. 1997. *Photoperiodism in Plants*. Academic Press, London. 415p.
- VAN IERSEL, M. W., GIANINO, D. 2017. An adaptive control approach for light-emitting diode lights can reduce the energy costs of supplemental lighting in

greenhouses. HortScience 52(1), 72–77.  
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI11385-16>

WANG, H., WANG, H. 2015. Phytochrome signaling: time to tighten up the loose ends. Molecular Plant, 8(4), 540–51. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2014.11.021>

## **CAPÍTULO 1: USO DO DISPOSITIVO LED DE BAIXA INTENSIDADE NA PRODUÇÃO DE ESTACAS ENRAIZADAS DE CRISÂNTEMO**

### **RESUMO**

A propagação vegetativa é um dos principais meios de multiplicação de plantas ornamentais. Fatores endógenos e exógenos como temperatura, nutrição, umidade e luz influenciam a qualidade das mudas. A formação de raízes adventícias é um processo crítico e complexo dependente da interação entre a qualidade da luz e dos níveis endógenos de auxina. A produção de estacas enraizadas de crisântemo exige interrupção da noite com luz artificial para o fornecimento de dias longos. Lâmpadas LED permitem obtenção de luz com comprimento de onda específico, redução do consumo de energia e maior vida útil. Nesse trabalho, avaliou-se os efeitos da qualidade luminosa incidente sobre as plantas matrizes e estacas na produção de estacas enraizadas de duas variedades de crisântemo, Rage e Sunny Reagan. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, no esquema de parcelas subdividas. O período de avaliação foi alocado nas parcelas, e as diferentes combinações de tipos de lâmpadas utilizadas no cultivo das plantas matrizes e enraizamento nas subparcelas. A iluminação com o dispositivo LED durante o enraizamento de estacas apicais favoreceu o desenvolvimento das folhas e do caule das var. Rage e Sunny Reagan, independente do tratamento imposto às plantas matrizes. As características relacionadas ao sistema radicular não diferiram entre os tipos de lâmpadas. Portanto, a noite interrompida com o dispositivo LED durante o enraizamento de estacas apicais de crisântemo das variedades Rage e Sunny Reagan, produziu estacas enraizadas de qualidade.

### **1. INTRODUÇÃO**

A propagação vegetativa é um dos principais meios de multiplicação de plantas ornamentais, tendo como benefícios a rapidez, economia, redução do ciclo de cultivo e homogeneidade fenotípica (Daud et al., 2013; Bellinie et al., 2014). A propagação vegetativa requer a formação de raízes adventícias a partir de tecidos não radiculares como o caule e folhas (da Costa et al., 2013; Pacurar et al., 2014). Fatores endógenos e exógenos como temperatura, luz, umidade, nutrição, substrato e níveis hormonais

que incidem em ambos, planta matriz e propágulo, influenciam na qualidade de mudas (Li et al., 2009; da Costa et al., 2013; Otiende et al., 2017). Por exemplo, plantas matrizes de roseiras em estágio reprodutivo e com níveis nutricionais endógenos baixos, geram mudas com menor número de raízes adventícias, o mesmo ocorre com propágulo cultivados em ambientes de baixa umidade e temperatura (Bredmose et al., 2004; Otiende et al., 2017). A formação de raízes adventícias na propagação vegetativa de plantas é um processo crítico e complexo, dependente principalmente da interação dos níveis endógenos de auxina e qualidade da luz (Christiaens et al., 2019).

A luz desempenha papel essencial na biossíntese e transporte de auxina (Ahkami et al., 2013; Cristiaens et al., 2019). Genes e proteínas reguladores do ritmo circadiano como *RVE1*, *YUC*, *PIF* e *PHY* são expressos na presença de luz e induzem a biossíntese de auxina, resultando no aumento do hipocótilo, número de raízes e formação de epinastia (Li et al., 2009; Rawat et al., 2009; Suzuki et al., 2016). Contudo, a melhor qualidade de luz necessária para a formação de raízes adventícias varia de acordo com espécie e intensidade luminosa. A baixa razão entre luz vermelha e vermelho-distante (V:Vd) aumenta o enraizamento em plantas de *Arabidopsis* devido ao acúmulo de auxina no caule durante o processo de evitação da sombra (Halliday et al., 2009; Hornitschek et al., 2012). Luz vermelha e azul foram efetivas em ambas biossíntese e transporte de auxina, resultando em maior produção de raízes adventícias em azaleia, crisântemo e lavanda (Christiaens et al., 2015).

O fitocromo é o fotorreceptor que responde ao comprimento de onda vermelho e vermelho distante (600–800 nm) e integra a sinalização da qualidade da luz e síntese/transporte de auxina por ativação de *PHYTOCHROME-INTERACTING FACTORS 4* e *5* (*PIF4* e *PIF 5*) (Hornitschek et al., 2012). As respostas geradas pelo fitocromo dependem do balanço entre sua forma ativa (Fvd) e inativa (Fv). O fitocromo Fv ao absorver luz vermelha é convertido em Fvd, enquanto que a absorção de luz vermelho distante ou período de escuro converte a forma Fvd em Fv (Wang e Wang, 2015). A razão V:Vd e o estado fotoestacionário do fitocromo são os principais parâmetros de avaliação associado a qualidade de luz pois são fortemente relacionadas ao equilíbrio entre as duas isoformas de fitocromo (Sager et al., 1988). A baixa razão V:Vd leva a um baixo estado fotoestacionário do fitocromo, resultando em uma série de mudanças morfofisiológicas em plantas de tomates e redução no sistema radicular de *Arabidopsis* (van Gelderen et al., 2018; Kalaitzoglou et al., 2019).

A maioria das auxinas endógenas são sintetizadas no meristema apical do caule e folhas jovens. O transporte polar basípeto da auxina para a base do caule ocorre via proteínas *PIN-FORMED (PIN)* e *ATP-Binding Cassette family B (ABCB)* (Vanneste e Friml, 2009). O acúmulo de auxina na base do caule leva a iniciação da formação de raízes adventícias, alongação das raízes primárias e gravitropismo das raízes (Benamins e Scheres 2008, Petricka et al., 2012).

O crisântemo é uma das plantas ornamentais mais cultivadas no mundo (Zhang et al. 2019). Crisântemos são plantas de dias curtos (PDC), ou seja, necessita de noites longas (>11 h de escuro) para indução do florescimento (Nakano et al. 2019). O cultivo comercial de crisântemo é feito a partir de estacas enraizadas. Portanto, é imprescindível que estas apresentem boa qualidade e não estejam induzidas ao florescimento, uma vez que o florescimento precoce gera plantas com hastes curtas, com menor diâmetro e número de flores (Devier e Geneve, 1997). A produção de estacas enraizadas de crisântemo requer dias longos, pois 3 dias curtos são suficientes para induzir o florescimento (Oda et al. 2012).

Os dias longos são fornecidos com o uso de iluminação artificial ao final do dia (dia estendido) ou no meio da noite (interrupção da noite). A iluminação artificial com interrupção da noite com 4 horas de luz é o método mais comum e econômico na promoção de dias longos em plantas de crisântemo (Murakami et al., 2018; Hakuzan e Fukai 2019; Park e Jeong, 2020).

Lâmpadas incandescentes são comumente utilizadas no campo para o controle de iluminação artificial. Apesar de emitir luz com grande variação de comprimento de onda (600–800 nm), possuem baixa eficiência luminosa, o que gera alto gasto de energia elétrica (AIE, 2010; Craig e Runkle, 2013). O LED (Lighting Emitting Diode) é um dispositivo de emissão de luz que tem como vantagem a alta eficiência energética, produção de luz monocromática e menor impacto ambiental (Souza et al. 2019). A possibilidade de produção de estacas enraizadas de crisântemo de qualidade com menor custo energético torna vantajoso o uso do LED. Nesse trabalho, avaliou-se os efeitos da qualidade luminosa incidente sobre as plantas matrizes e estacas na produção de estacas enraizadas de duas variedades de crisântemo, Rage e Sunny Reagan

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. *Material vegetativo e condição do experimento*

Estacas provenientes da região apical do caule de crisântemo das variedades Sunny Reagan (flor de corte) e Rage (planta de vaso) foram coletadas de plantas matrizes cultivadas em fotoperíodo de dias longos (14 horas de luz/10 horas de escuro) por 30 dias com dispositivo LED ou incandescentes. As estacas foram uniformizadas com 4–5 folhas e, 7 e 4 cm de comprimento para as variedades Sunny Reagan e Rage, respectivamente. As estacas foram plantadas, sem o uso de reguladores de crescimento, em bandejas de 128 células contendo palha de arroz carbonizada como substrato, irrigadas duas vezes ao dia para manter a umidade. As estacas foram mantidas por 21 dias em fotoperíodo de dias longos (14 horas de luz/10 horas de escuro) por meio da interrupção da noite com 4 horas de luz (22:00 às 2:00). As bandejas foram dispostas em câmara de nebulização revestida com malha de sombreamento 50 %, no Setor de Floricultura do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, MG, Brasil (latitude 20° 45' S, longitude 42° 52' O e altitude 690 m), durante o mês de setembro de 2020. O clima da região é considerado tropical de altitude. A temperatura na altura da planta foi mínima de 25° C e a máxima de 35° C.

### 2.2. *Tratamento luminoso*

Os tratamentos luminosos durante a interrupção da noite foram compostos pela combinação de lâmpadas utilizadas no cultivo de plantas matrizes e no enraizamento das estacas de crisântemo (Tabela 1). Lâmpadas incandescentes 100 W (Osram) e dispositivo LED (630 nm) 18 W (Protocolo de depósito de patente 4262 Div. Reg. INPI 04/07/2008) foram utilizadas como fonte de luz na interrupção da noite. As intensidades luminosas foram ajustadas por meio da altura da lâmpada em relação às folhas das estacas. A medição da intensidade na altura da folha foi realizada com fotoradiômetro (modelo Quartum 46300, LI-COR Biosciences) e os valores de 2,0 e 1,2  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  foram obtidos para a lâmpada incandescente e LED, respectivamente. A razão luz vermelho e vermelho distante (V:Vd) foi mensurada com comprimentos de ondas de 100 nm e o fotoequilíbrio de fitocromo ( $\phi$ ) foi estimado para cada tratamento multiplicando a irradiância em cada comprimento de onda contra a absorção relativa para cada forma de fitocromo segundo Sager et al. (1988) (Tabela 2).

**Tabela 1:** Combinações dos tratamentos luminosos utilizados na obtenção de estacas enraizadas de crisântemo das variedades Sunny Reagan e Rage

Tratamento	Planta matriz	Enraizamento
LED-LED	LED	LED
INC-LED	INC	LED
LED-INC	LED	INC
INC-INC	INC	INC

LED – Dispositivo LED 18 W (630 nm); INC – lâmpada incandescente 100 W.

**Tabela 2:** Intensidade luminosa incidente sobre as estacas apicais de crisântemo durante a noite interrompida

Lâmpada	DFFF ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	V:Vd	$\phi$
INC 100W	$2,00 \pm 0,01$	0,59	0,64
LED 18W	$1,2 \pm 0,01$	$\infty$	0,89

DFFF – densidade de fluxo de fótons fotossintéticos; V:Vd – razão luz vermelho por vermelho distante;  $\phi$  – fotoequilíbrio do fitocromo; INC – lâmpada incandescente; LED – Dispositivo LED (630 nm).

### 2.3. Fatores fitotécnicos

O comprimento do caule, número de folhas, diâmetro do caule, número e comprimento da raiz, peso fresco e seco do caule, folhas e raízes, área foliar e teores de clorofila foram mensurados 1, 2 e 3 semanas após o plantio. A razão parte aérea-sistema radicular foi determinada pela divisão do peso seco da parte aérea (caule e folhas) pelo peso seco das raízes. A área foliar foi mensurada por integrador foliar modelo LI-COR 3100 (Licor Inc., Lincon, Nebraska, EUA). Os teores de clorofila foram obtidos por aparelho digital ClorofiLOG modelo CFL 1030 e expressos em índice de clorofila Falker (ICF) (Falker, 2008).

### 2.4. Delineamento e análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, no esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. As parcelas correspondem ao tempo de avaliação (semana 1, 2 e 3), e as subparcelas, às diferentes combinações dos tipos de lâmpadas utilizadas na obtenção das estacas enraizadas. A unidade observacional correspondeu a quatro plantas por repetição.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilks ( $P < 0,05$ ), análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade no software R (R Core Team, 2019).

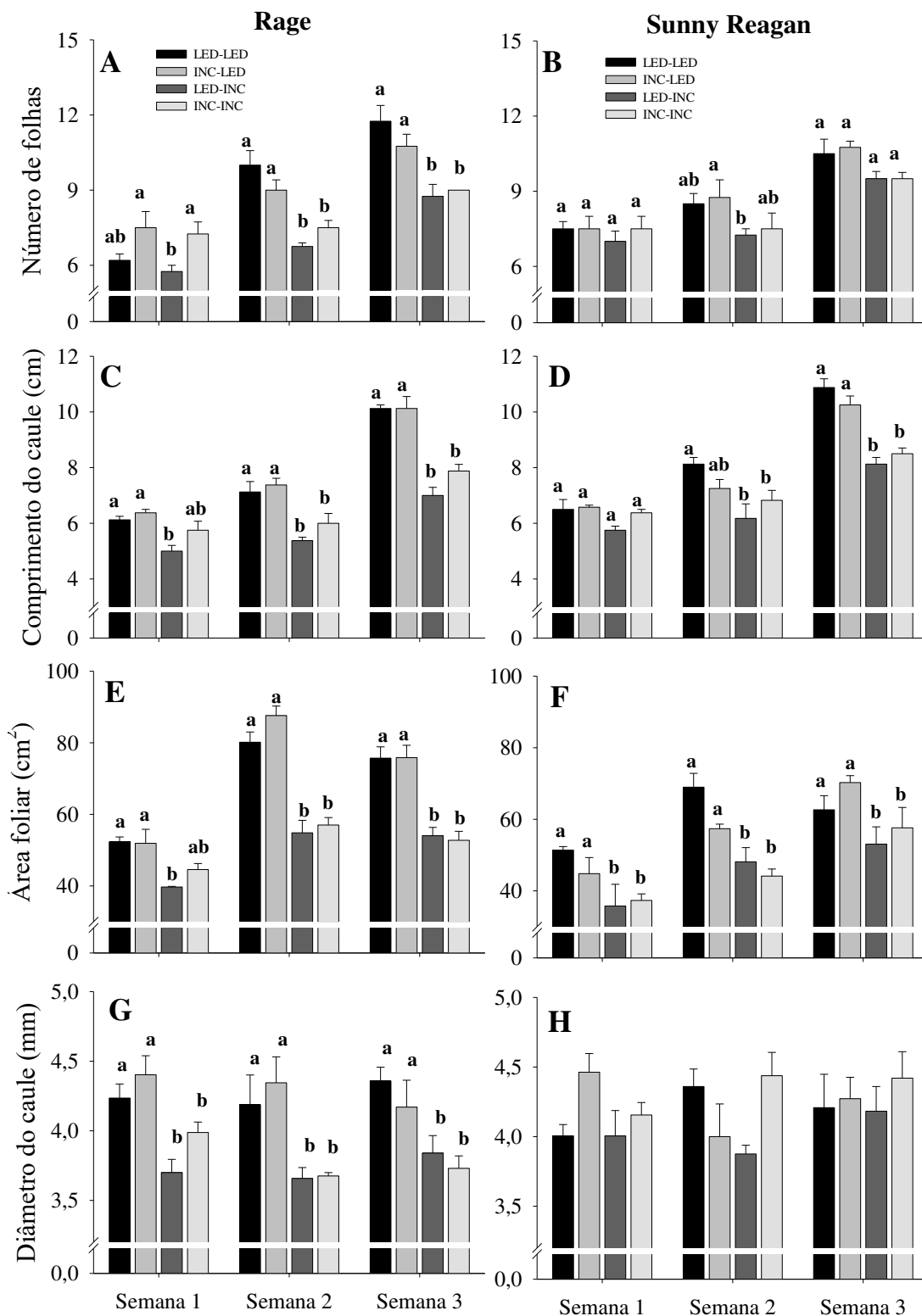
### 3. RESULTADOS

A iluminação com o dispositivo LED durante o enraizamento de estacas de crisântemo aumentou o número de folhas, comprimento do caule, área foliar e diâmetro do caule da variedade Rage desde a primeira semana, independentemente do tipo de iluminação aplicado às plantas matrizes (LED-LED e INC-LED) (Figura 1 A, C, E e G). Contudo, o dispositivo LED teve efeito tardio sobre a cultivar Sunny Reagan, aumentando o número de folhas, comprimento do caule e área foliar nos tratamentos LED-LED e INC-LED na semana 2, e mantendo a diferença significativa apenas para o comprimento do caule e área foliar na semana 3 (Figura 1 B, D e F). O diâmetro do caule não apresentou diferença significativa ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos para a variedade Sunny Reagan (Figura 1 H).

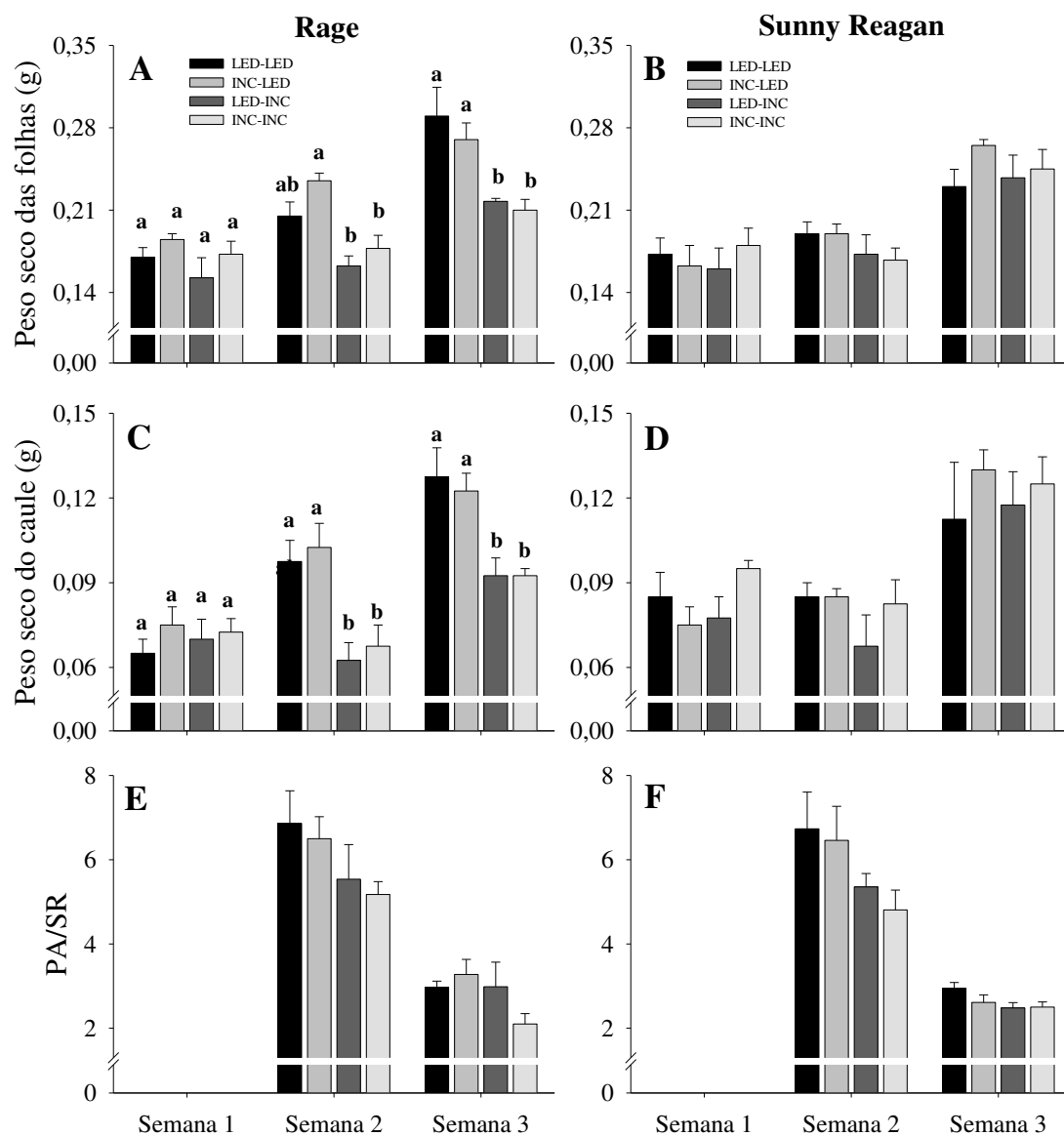
As características relacionadas a qualidade do sistema radicular iniciaram na segunda semana de enraizamento, contudo, não tiveram diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos para ambas as variedades Rage e Sunny Reagan ao longo do período de avaliação. O número, comprimento e peso seco das raízes na semana 3 foram em média 38,87 raízes, 3,47 cm, e 0,13 g para a variedade Rage, e 54,93 raízes, 3,87 cm e 0,14 g para a variedade Sunny Reagan, respectivamente.

A uso do dispositivo LED aumentou em média 25 % o peso seco das folhas (PSF) e do caule (PSC) das estacas da variedade Rage na semana 2 e 3 (Figura 2 A e C). O PSF, PSC e a razão parte aérea-sistema radicular (PA/SR) não tiveram diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos para a variedade “Sunny Reagan” (Figura 2 B, D e F). O valor para PA/SR foi maior na semana 2, diminuindo na terceira semana para ambas variedades (Figura 2 E e F).

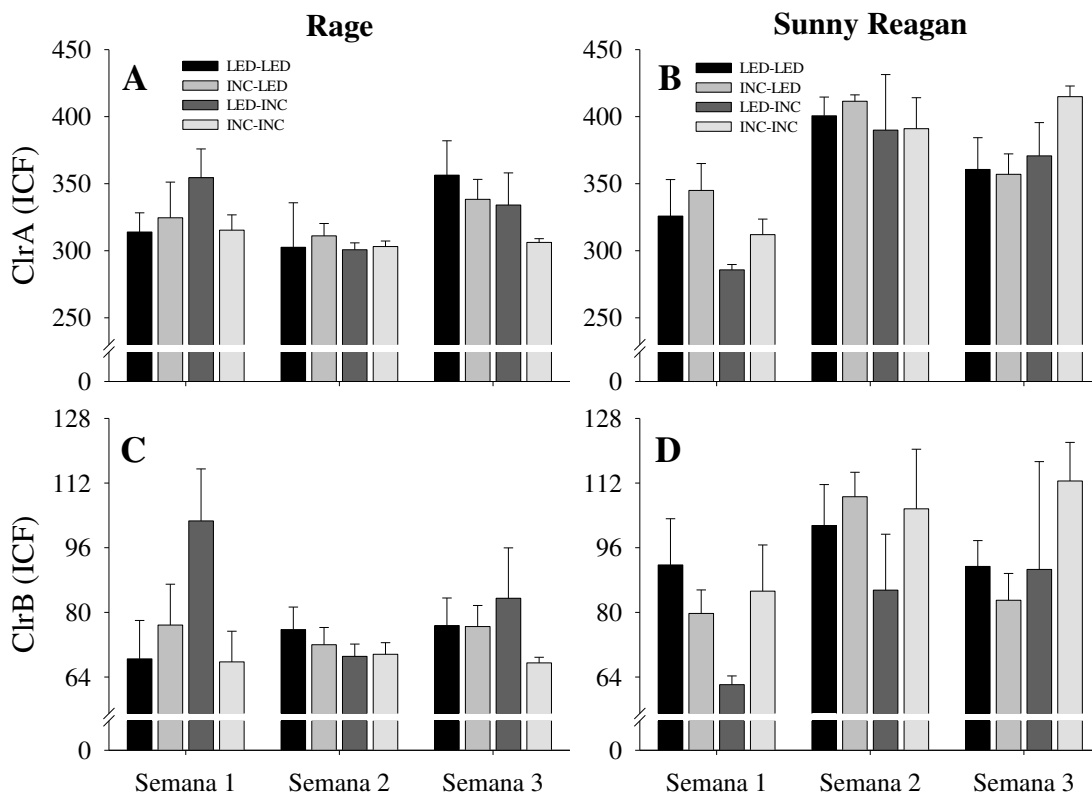
Os teores dos pigmentos fotossintéticos clorofila “a” e “b” (ClrA e ClrB, respectivamente) não diferiram significativamente ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos para ambas variedades (Figura 3 A–C).



**Figura 1:** Número de folhas (A e B), comprimento do caule (C e D), área foliar (E e F) e diâmetro do caule (G e H) de estacas apicais de duas variedades de crisântemo, “Rage” e “Sunny Reagan”, em enraizamento por 3 semanas sob diferentes combinações de fontes de luz (Planta matriz-enraizamento: LED-LED, INC-LED, LED-INC e INC-INC). Médias com letras iguais no mesmo período de avaliação não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de significância. Barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 4).



**Figura 2:** Peso seco das folhas (A e B) e do caule (C e D), e razão parte aérea sistema-radicular (PA/SR) (E e F) de estacas apicais de duas variedades de crisântemo, “Rage” e “Sunny Reagan”, em enraizamento por 3 semanas sob diferentes combinações de fontes de luz (Planta matriz-enraizamento: LED-LED, INC-LED, LED-INC e INC-INC). Médias com letras iguais no mesmo período de avaliação não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de significância. Barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 4).



**Figura 3:** Teor de clorofila A (ClrA) (A e B) e B (ClrB) (C e D) de estacas apicais de duas variedades de crisântemo, “Rage” e “Sunny Reagan”, em enraizamento por 3 semanas sob diferentes combinações de fontes de luz (Planta matriz-enraizamento: LED-LED, INC-LED, LED-INC e INC-INC). As médias não diferiram entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de significância. Barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 4).

#### 4. DISCUSSÃO

A qualidade luminosa influencia a morfogênese das plantas, sendo regulada por fotorreceptores como os fitocromos, criptocromos e fototropinas. Contudo, os efeitos da qualidade da luz na morfogênese diferem entre espécie e genótipo de planta, estágio de desenvolvimento, intensidade e duração da iluminação artificial (Gupta e Jatouh, 2013; Pawłowska et al., 2018).

O maior comprimento do caule das estacas de crisântemo enraizadas em ambiente com dispositivos LED está associado à emissão de luz monocromática vermelha pelos dispositivos, ao maior número de folhas e à biossíntese de fitohormônios que desencadeiam a organogênese do meristema apical do caule (Yoshida et al 2011). Estudos apontam que a luz vermelha promove a alongação foliar e caulinar via estímulo da biossíntese de giberelina, através do controle da mitose e proliferação celular (Manivannan et al., 2015). Por outro lado, o menor comprimento

do caule e número de folhas em estacas enraizadas de crisântemo com lâmpadas incandescentes pode se dar em resposta a evitação ao sombreamento (RES), causada pela baixa razão V:Vd (0,59). A RES pode ser diferente de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta (van Tuinen et al., 1996). Porém, em plantas de tomate, a RES gera paralização temporária do crescimento do primórdio foliar, acompanhada por parada rápida da divisão celular da folha (Carabelli et al. 2007; Yoshida et al 2011). A variedade Rage mostrou maior sensibilidade à qualidade da luz, pois a partir da primeira semana apresentou diferença significativa entre os tratamentos, enquanto que a variedade na Sunny Reagan a diferença ocorreu a partir da segunda semana. Portanto, as respostas à qualidade da luz parece ser uma ação genótipo-dependente, controlando de diferente forma a organogênese do meristema apical do caule via sinalização hormonal.

A qualidade da luz induz a formação de raízes adventícias devido ao estímulo na biossíntese de auxina e em seus transportadores basípetos *PIN-FORMED* (*PIN*) e *AUXIN PERMEASE* (*AUX*) (Christiaens et al., 2019; da Costa et al., 2020). Os dispositivos LED e incandescentes não diferiram quanto a produção de raízes (número, comprimento e peso seco das raízes) em estacas de ambas variedades de crisântemo devido à baixa intensidade e duração da iluminação artificial ( $1,2-2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}/4 \text{ h}$ ). A duração e intensidade luminosa parecem ser os fatores de maior limitação à rizogênese de plantas, pois, apesar da luz vermelho distante favorecer a rizogênese, plantas de *Jatropha curcas* e *Vitis ficifolia* mantidas em fotoperíodo de 16 h e irradiadas com luz vermelha em intensidade de  $\sim 50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  tiveram maior produção de raízes adventícias em comparação a luz vermelho distante (Poudel et al. 2008; Daud et al. 2013). Contudo, plantas de crisântemo enraizada sob diferentes proporções de luz vermelho e vermelho distante, tiveram aumento do número e peso seco das raízes com a adição e aumento da intensidade de luz vermelho distante (V:Vd:1,68–2,86, DFF: 30 – 60  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e 19 h de fotoperíodo) (Christiaens, 2019). Ademais, a baixa fração de luz suplementar limita as modificações morfológicas, anatômicas e fisiológicas, o que levará a efeitos baixos sobre o enraizamento e crescimento da planta (Christiaens et al., 2014).

O maior peso seco das folhas e caule das estacas da variedade Rage enraizadas com dispositivos LED, se deve a maior expansão e número de folhas regulados pela ação de fitohormônios como a giberelina, auxina e citocinina (Luo e Shi et al., 2019; Ren et al., 2019). A luz vermelha favorece o acúmulo de biomassa no caule em plantas

de tomate, enquanto que a adição de outro comprimento de onda, principalmente o azul, à luz vermelha reduziu o acúmulo de biomassa em plantas de tomate, salvia e petunia (Wollaeger e Runkle, 2014; Izzo et al., 2020). Semelhantemente, o aumento de luz vermelho de 50 para 70 % aumentou o peso seco do caule em plantas de *Vanilla planifolia* e *Lippia alba* (Bello-Bello et al., 2016). A não diferença significativa para o peso seco das folhas e caule entre os tratamentos para variedade Sunny Reagan, apesar do maior número de folhas, área foliar e comprimento do caule no tratamento com dispositivo LED, indica uma menor espessura das folhas e acúmulo de biomassa no caule, além de evidenciar que a ação da qualidade da luz sobre as características morfológicas das plantas é genótipo-dependente. A não significância para a razão PA/SR se deve a produção proporcional de folhas e caule em relação ao sistema radicular, indicando que não houve priorização de alocação dos fotoassimilados para um órgão específico (Zafar et al., 2020). A produção de raiz foi dependente da produção de folhas, pois a produção de auxina, principal hormônio responsável pelo enraizamento, ocorre nas folhas novas e ápice caulinar (Ahkami et al., 2013). Assim, reduções na produção de folhas inibem a produção de raiz, como visto em *Chrysanthemum* e *Dianthus caryophyllus* (Cano et al., 2018; Christiaens et al., 2019).

A produção de pigmentos fotossintéticos é regulada por fotorreceptores como o fitocromo e criptocromo (Kubica et al., 2020). A não significância dos teores dos pigmentos fotossintéticos entre os tratamentos foram devido à baixa intensidade e duração da iluminação artificial, pois a intensidade luminosa limita algumas respostas morfofisiológicas das plantas (Li et al., 2014; Zheng e Labeke, 2018). A inibição do florescimento é efetiva em baixa intensidade de luz ( $\sim 2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), enquanto que modificações no aparato fotossintético ocorrem em altas intensidade luminosas ( $> 40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e fotoperíodo exclusivo com luz artificial (Runkle, 2015; Zheng e Labeke, 2018).

## 5. CONCLUSÕES

O manejo de noite interrompida com dispositivos LED em baixa intensidade ( $1,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) durante o enraizamento de estacas apicais aumenta o número de folhas, área foliar, comprimento do caule e, peso seco das folhas e caule das estacas enraizadas de crisântemo da variedade Rage, e comprimento do caule e área foliar da variedade Sunny Reagan. Contudo, os tipos de lâmpadas não alteraram o padrão de

rizogênese das estacas. Portanto, os dispositivos LED são eficientes na produção de estacas enraizadas de crisântemo, sendo uma alternativa para substituir as lâmpadas incandescentes.

## 6. REFERÊNCIAS

- AHKAMI, A. H., MELZER, M., GHAFARI, M. R., POLLMANN, S., JAVID, M. G., SHAHINNIA, F., HAJIREZAEI, M. R., DRUEGE, U. 2013. Distribution of indole-3-acetic acid in *Petunia hybrida* shoot tip cuttings and relationship between auxin transport, carbohydrate metabolism and adventitious root formation. *Planta*, 238, 499–517. <https://doi.org/10.1007/s00425-013-1907-z>
- AIE – AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. 2010. Phase out of incandescent lamps - Implications for international supply and demand for regulatory compliant lamps. Paris. Disponível em: <[https://www.oecd-ilibrary.org/energy/phase-out-of-incandescent-lamps\\_5kmh3nhp62s0-en](https://www.oecd-ilibrary.org/energy/phase-out-of-incandescent-lamps_5kmh3nhp62s0-en)> acessado em 10/08/2020.
- BELLINI, C., PACURAR, D. I., PERRONE, I. 2014. Adventitious roots and lateral roots: similarities and differences. *Annual Review of Plant Biology*, 65, 639–666. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-035645>
- BELLO-BELLO, J. J., MARTÍNEZ-ESTRADA, E., CAAMAL-VELÁZQUEZ, J. H., MORALES-RAMOS, V. 2016. Effect of LED light quality on in vitro shoot proliferation and growth of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews). *African Journal of Biotechnology*, 15(8), 272–277. <https://doi.org/10.5897/AJB2015.14662>
- BENJAMINS, R., SCHERES, B. 2008. Auxin: the looping star in plant development. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 443–465. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.58.032806.103805>
- BREDMOSE, N., KRISTIANSEN, K., NIELSEN, B. 2004. Propagation temperature, PPF, auxin treatment, cutting size and cutting position affect root formation, axillary bud growth and shoot development in miniature rose (*Rosa hybrida* L.) plants and alter homogeneity. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79(3), 458–465. <https://doi.org/10.1080/14620316.2004.11511790>
- CANO, A., SÁNCHEZ-GARCÍA, A. B., ALBACETE, A., GONZÁLEZ-BAYÓN, R., JUSTAMANTE, M. S., IBÁÑEZ, S., ACOSTA, M., PÉREZ-PÉREZ, J. M.

2018. Enhanced conjugation of auxin by GH3 enzymes leads to poor adventitious rooting in carnation stem cuttings. *Frontiers in Plant Science*, 9, 566. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00566>
- CAO, K., YAN, F., XU, D., AI, K., YU, J., BAO, E., ZOU, Z. 2018. Phytochrome B1-dependent control of *SP5G* transcription is the basis of the night break and red to far-red light ratio effects in tomato flowering. *BMC Plant Biology*, 18(1), 158. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1380-8>
- CARABELLI, M., POSSENTI, M., SESSA, G., CIOLFI, A., SASSI, M., MORELLI, G., RUBERTI, I. 2007. Canopy shade causes a rapid and transient arrest in leaf development through auxin-induced cytokinin oxidase activity. *Genes & Development*, 21(15), 1863–1868. <http://www.genesdev.org/cgi/doi/10.1101/gad.432607>
- CHRISTIAENS, A., GOBIN, B., VAN HUYLENBROECK, J., VAN LABEKE, M. C. 2019. Adventitious rooting of *Chrysanthemum* is stimulated by a low red: far-red ratio. *Journal of Plant Physiology*, 236, 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2019.03.008>
- CHRISTIAENS, A., GOBIN, B., VAN LABEKE, M. C. 2016. Light quality and adventitious rooting: a mini-review. *Acta Horticulturae*, 1134, 385–394.
- CHRISTIAENS, A., VAN LABEKE, M. C., GOBIN, B., VAN HUYLENBROECK, J. 2014. Rooting of ornamental cuttings affected by spectral light quality. *Acta Horticulturae*, 1104, 219–224. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1104.33>
- CRAIG, D. S., RUNKLE, E. S. 2013. A moderate to high red to far-red light ratio from light-emitting diodes controls flowering of short-day plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 138(3), 167–172. <https://doi.org/10.21273/JASHS.138.3.167>
- DA COSTA, C. T., OFFRINGA, R., FETT-NETO, A. G. 2020. The role of auxin transporters and receptors in adventitious rooting of *Arabidopsis thaliana* pre-etiolated flooded seedlings. *Plant Science*, 290, 110294. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110294>
- DA COSTA, C. T., DE ALMEIDA, M. R., RUEDELL, C. M., SCHWAMBACH, J., MARASCHIN, F. D. S., FETT-NETO, A. G. 2013. When stress and development go hand in hand: main hormonal controls of adventitious rooting in cuttings. *Frontiers in Plant Science*, 4, 133. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00133>

- DAUD, N., A. FAIZAL, D. GEELLEN. 2013. Adventitious rooting of *Jatropha curcas* L. is stimulated by phloroglucinol and by red LED light. In *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 49(2):183–190. <https://doi.org/10.1007/s11627-012-9486-4>
- DEVIER, C. L., GENEVE, R. L. 1997. Flowering influences adventitious root formation in chrysanthemum cuttings. *Scientia Horticulturae*, 70(4), 309–318. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(97\)00072-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(97)00072-1)
- FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA LTDA. 2008. Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030). Porto Alegre: 33p.
- GUPTA, S. D., JATOTHU, B. 2013. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in in vitro plant growth and morphogenesis. *Plant Biotechnology Reports*, 7(3), 211–220. <https://doi.org/10.1007/s11816-013-0277-0>
- HAKUZAN, R., FUKAI, S. 2019. Recent progress in night-break lighting technique based on photoperiodism of chrysanthemum. *Acta Horticulturae*, 1237, 129–136. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2019.1237.17>
- HALLIDAY, K. J., MARTÍNEZ-GARCÍA, J. F., JOSSE, E. M. 2009. Integration of light and auxin signaling. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 1 (6), a001586. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a001586>
- HORNITSCHKE, P., KOHNEN, M.V., LORRAIN, S., ROUGEMONT, J., LJUNG, K., LÓPEZ-VIDRIERO, I., FRANCO-ZORRILLA, J. M., SOLANO, R., TREVISAN, M., PRADERVAND, S., XENARIOS, I., FANKHAUSER, C. 2012. Phytochrome interacting factors 4 and 5 control seedling growth in changing light conditions by directly controlling auxin signaling. *The Plant Journal*, 71, 699–711. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2012.05033.x>
- IZZO, L. G., MELE, B. H., VITALE, L., VITALE, E., ARENA, C. 2020. The role of monochromatic red and blue light in tomato early photomorphogenesis and photosynthetic traits. *Environmental and Experimental Botany*, 179, 104195. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104195>
- KALAITZOGLOU, P., VAN IEPEREN, W., HARBINSON, J., VAN DER MEER, M., MARTINAKOS, S., WEERHEIM, K., NICOLE, C. S. S., MARCELIS, L. F. 2019. Effects of continuous or end-of-day far-red light on tomato plant growth, morphology, light absorption, and fruit production. *Frontiers in Plant Science*, 10, 322. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00322>

- KUBICA, P., SZOPA, A., PROKOPIUK, B., KOMSTA, Ł., PAWŁOWSKA, B., EKIERT, H. 2020. The influence of light quality on the production of bioactive metabolites—verbascoside, isoverbascoside and phenolic acids and the content of photosynthetic pigments in biomass of *Verbena officinalis* L. cultured in vitro. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 203, 111768. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.111768>
- LI, L., LJUNG, K., BRETON, G., SCHMITZ, R. J., PRUNEDA-PAZ, J., COWING-ZITRON, C., COLE, B. J., IVANS, L. J. PEDMALE, U. V., JUNG, H. S., ECKER, J. R., KAY, S. A., CHORY, J. 2012. Linking photoreceptor excitation to changes in plant architecture. *Genes & Development*, 26(8), 785–790.
- LI, S. W., XUE, L., XU, S., FENG, H., AN, L. 2009. Mediators, genes and signaling in adventitious rooting. *The Botanical Review*, 75(2), 230–247. <https://doi.org/10.1007/s12229-009-9029-9>
- LI, T., LIU, L. N., JIANG, C. D., LIU, Y. J., SHI, L. 2014. Effects of mutual shading on the regulation of photosynthesis in field-grown sorghum. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 137, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.04.022>
- LUO, Y., SHI, H. 2019. Direct regulation of phytohormone actions by photoreceptors. *Trends in Plant Science*, 24(2), 105–108. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.002>
- MANIVANNAN, A., SOUNDARARAJAN, P., HALIMAH, N., KO, C. H. 2015. Blue LED light enhances growth, phytochemical contents, and antioxidant enzyme activities of *Rehmannia glutinosa* cultured in vitro. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 56(1), 105–113. <https://doi.org/10.1007/s13580-015-0114-1>
- Murakami, S., Fujimoto, Y., Hayashi, Y., Fuchikami, H., Hattori, T. 2018. Energy cost minimization in plant factories considering weather factors using additive Bayesian networks. *Journal of International Council on Electrical Engineering*, 8(1), 128–135. <https://doi.org/10.1080/22348972.2018.1477093>
- NAKANO, Y., TAKASE, T., TAKAHASHI, S., SUMITOMO, K., HIGUCHI, Y., HISAMATSU, T. 2019. Chrysanthemum requires short-day repeats for anthesis: Gradual *CsFTL3* induction through a feedback loop under short-day conditions. *Plant Science*, 283, 247–255. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.01.023>
- ODA, A., NARUMI, T., LI, T., KANDO, T., HIGUCHI, Y., SUMITOMO, K., FUKAI, S. HISAMATSU, T. 2012. *CsFTL3*, a chrysanthemum FLOWERING

- LOCUS T-like gene, is a key regulator of photoperiodic flowering in chrysanthemums. *Journal of Experimental Botany*, 63(3), 1461–1477. <https://doi.org/10.1093/jxb/err387>
- OTIENDE, M. A., NYABUNDI, J. O., NGAMAU, K., OPALA, P. 2017. Effects of cutting position of rose rootstock cultivars on rooting and its relationship with mineral nutrient content and endogenous carbohydrates. *Scientia Horticulturae*, 225, 204–212. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.009>
- PARK, Y. G., JEONG, B. R. 2019. Both the quality and positioning of the night interruption light are important for flowering and plant extension growth. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39, 583–593. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-10002-5>
- PACURAR, D. I., PERRONE, I., BELLINI, C. 2014. Auxin is a central player in the hormone cross-talks that control adventitious rooting. *Physiologia Plantarum*, 151(1), 83–96. <https://doi.org/10.1111/ppl.12171>
- PAWŁOWSKA, B., ŻUPNIK, M., SZEWCZYK-TARANIEK, B., CIOĆ, M. 2018. Impact of LED light sources on morphogenesis and levels of photosynthetic pigments in *Gerbera jamesonii* grown in vitro. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 59(1), 115–123. <https://doi.org/10.1007/s13580-018-0012-4>
- PETRICKA, J. J., WINTER, C. M., BENFEY, P. N. 2012. Control of arabidopsis root development. *Annual Review of Plant Biology*, 63, 563-590. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105501>
- POUDEL, P.R., KATAOKA, I. MOCHIOKA, R. 2008. Effect of red- and blue-light-emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes. *Plant, Cell, Tissue and Organ Culture*, 92, 147–153. <https://doi.org/10.1007/s11240-007-9317-1>
- R CORE TEAM. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- RAWAT, R., SCHWARTZ, J., JONES, M. A., SAIRANEN, I., CHENG, Y., ANDERSSON, C. R., ZHAO, Y., LJUNG, K., HARMER, S. L. 2009. *REVEILLE1*, a Myb-like transcription factor, integrates the circadian clock and auxin pathways. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(39), 16883–16888. <https://doi.org/10.1073/pnas.0813035106>
- REN, H., HU, H., LUO, X., ZHANG, C., LI, X., LI, P., LI, W., KHAWAR, A., SUN, X., REN, Z., SHEN, C. 2019. Dynamic changes of phytohormone signaling in the

- base of *Taxus media* stem cuttings during adventitious root formation. *Scientia Horticulturae*, 246, 338–346. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.014>
- RUNKLE, E. S. 2015. Photoperiodic vs. photosynthetic lighting. *Greenhouse Product News*, 25(9), 74.
- SAGER, J. C., SMITH, W. O., EDWARDS, J. L., CYR, K. L. 1988. Photosynthetic efficiency and phytochrome photoequilibria determination using spectral data. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 31(6), 1882–1889. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.30952>
- SØRENSEN, H. K., FANOURLAKIS, D., TSANIKLIDIS, G., BOURANIS, D., NEJAD, A. R., OTTOSEN, C. O. 2020. Using artificial lighting based on electricity price without a negative impact on growth, visual quality or stomatal closing response in *Passiflora*. *Scientia Horticulturae*, 267, 109354. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109354>
- SOUZA, D. F., DA SILVA, P. P. F., FONTENELE, L. F. A., BARBOSA, G. D., DE OLIVEIRA JESUS, M. 2019. Efficiency, quality, and environmental impacts: a comparative study of residential artificial lighting. *Energy Reports*, 5, 409–424.
- SUZUKI, H., YOKAWA, K., NAKANO, S., YOSHIDA, Y., FABRISSIN, I., OKAMOTO, T., BALUŠKA, F., KOSHIBA, T. 2016. Root cap-dependent gravitropic U-turn of maize root requires light-induced auxin biosynthesis via the *YUC* pathway in the root apex. *Journal of Experimental Botany*, 67(15), 4581–4591. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw232>
- VAN GELDEREN, K., KANG, C., PAALMAN, R., KEUSKAMP, D., HAYES, S., PIERIK, R. 2018. Far-red light detection in the shoot regulates lateral root development through the *HY5* transcription factor. *The Plant Cell*, 30(1), 101–116. <https://doi.org/10.1105/tpc.17.00771>
- VAN TUINEN, A., HANHART, C. J., KERCKHOFFS, L. H. J., NAGATANI, A., BOYLAN, M. T., QUAIL, P. H., KENDRICK, R. E., KOORNNEEF, M. 1996. Analysis of phytochrome-deficient yellow-green-2 and aurea mutants of tomato. *The Plant Journal*, 9(2), 173–182. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1996.09020173.x>
- VANNESTE, S., AND FRIML, J. 2009. Auxin: a trigger for change in plant development. *Cell*, 136, 1005–1016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cell.2009.03.001>
- WANG, H., WANG, H. 2015. Phytochrome signaling: time to tighten up the loose ends. *Molecular Plant*, 8(4), 540–551. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2014.11.021>

- WOLLAEGER, H. M., RUNKLE, E. S. 2014. Growth of impatiens, petunia, salvia, and tomato seedlings under blue, green, and red light-emitting diodes. *HortScience*, 49(6), 734–740. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.6.734>
- YOSHIDA, S., MANDEL, T., KUHLEMEIER, C. 2011. Stem cell activation by light guides plant organogenesis. *Genes & Development*, 25(13), 1439–1450. <http://www.genesdev.org/cgi/doi/10.1101/gad.631211>.
- ZAFAR, Z., RASHEED, F., DELAGRANGE, S., ABDULLAH, M., RUFFNER, C. 2020. Acclimatization of *Terminalia Arjuna* saplings to salt stress: characterization of growth, biomass and photosynthetic parameters. *Journal of Sustainable Forestry*, 39(1), 76–91. <https://doi.org/10.1080/10549811.2019.1614067>
- ZHANG, N., HE, Z., HE, S., JING, P. 2019. Insights into the importance of dietary chrysanthemum flower (*Chrysanthemum morifolium* cv. Hangju)-wolfberry (*Lycium barbarum* fruit) combination in antioxidant and anti-inflammatory properties. *Food Research International*, 116, 810–818. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.015>
- ZHENG, L., VAN LABEKE, M. C. 2018. Effects of different irradiation levels of light quality on *Chrysanthemum*. *Scientia horticulturae*, 233, 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.033>

## **CAPÍTULO 2: USO DE LED DE BAIXA INTENSIDADE NO CULTIVO DE CRISÂNTEMO DE CORTE.**

### **RESUMO**

A iluminação artificial é muito utilizada no setor hortícola e de plantas ornamentais por controlar os padrões de crescimento e desenvolvimento das plantas. A interrupção da noite com iluminação artificial inibe o florescimento em plantas de dias curtos como o crisântemo. Contudo, alterações na qualidade e intensidade da luz podem alterar as respostas fisiológicas e do florescimento. Nesse trabalho, avaliou-se o crescimento, trocas gasosas e produção de crisântemo de corte cultivados em noite interrompida com diferentes fontes de luz. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, no esquema fatorial duplo com 4 repetições. Os tratamentos foram noite interrompida com três fontes de luz (lâmpada incandescente 100 W, LED 18 e 6 W, em intensidade luminosa fixa de  $0,23 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), e dois períodos de avaliação (vegetativo e reprodutivo). Os parâmetros fitotécnicos, taxa de crescimento absoluto e trocas gasosas foram semelhantes entre os diferentes tipos de lâmpadas, independente do período de avaliação. O comprimento das hastes florais do crisântemo foi superior a 110,0 cm e o número e peso seco das flores foram semelhantes entre os tipos de lâmpadas. Portanto, os diferentes tipos de lâmpadas são eficientes na inibição do florescimento e produção de hastes florais de crisântemo de corte de alta qualidade.

### **1. INTRODUÇÃO**

Iluminação artificial é, geralmente, utilizada na agricultura para incrementar as taxas fotossintéticas e conseqüentemente o crescimento de plantas (Nguyen et al., 2019; Wei et al., 2019). Na floricultura a iluminação artificial é requerida principalmente em plantas com o controle fotoperiódico do florescimento, sendo assim, obrigatório seu uso em pelo menos uma parte do ciclo da cultura (Park et al., 2017; Kang et al., 2019).

As plantas percebem a qualidade e a quantidade de radiação luminosa por uma complexa, porém eficiente, rede de sinalização que começa nas folhas com os fotorreceptores (fitocromos, criptocromos e fototropinas) e influencia características morfológicas, fisiológicas e moleculares (Casal, 2000; Landi et al., 2019; Hamdani et

al., 2019). A luz na região do espectro do vermelho e azul além de absorvidas pelos fitocromos e criptocromos, respectivamente, correspondem a 90 % dos comprimentos de ondas absorvidos pelos pigmentos fotossintéticos, afetando significativamente a taxa fotossintética, fisiologia, crescimento e desenvolvimento de plantas (Terashima et al., 2009, Chen et al., 2014). Como por exemplo, a luz vermelha incrementou o crescimento de *Camptotheca acuminata* por reduzir o acúmulo de espécies reativas de oxigênio e ativando processos fotossintéticos, enquanto que a luz azul aumentou o acúmulo de biomassa em *Cistanche deserticola* (Yu et al., 2017).

Dias longos são fornecidos por meio da interrupção da noite com iluminação artificial, e necessários para inibir o florescimento em plantas de dias curtos como o crisântemo (Park et al., 2015). Baixa intensidade luminosa ( $\sim 2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) é necessária para o controle do florescimento com iluminação noite interrompida (NI), contudo, sua ação nas taxas fotossintéticas e de crescimento de plantas não está esclarecida (Blanchard e Runkel 2009; Park et al., 2017). Por exemplo, NI com LED de baixa intensidade parece afetar a rede fotossintética e promover o crescimento em plantas de tomates (planta de dias curtos – PDC) e *Cymbidium* (planta de dias longos – PDL), já em *Geranium* (planta de dias natural – PDN), baixas intensidade luminosas não alteraram o crescimento (Adams et al., 2008; Kim et al., 2011; Park et al., 2017).

Produtores comerciais de crisântemo tradicionalmente utilizam 4 horas de iluminação noturna com lâmpadas incandescentes para promover a inibição do florescimento (Craig e Runkle, 2016). Contudo as lâmpadas incandescentes têm baixa eficiência energética, sendo apenas 10 % da energia elétrica consumida transformada em energia luminosa (Gupta e Agarwal, 2017). Outras lâmpadas como as HPS (high-pressure sodium lamp), alógenas e fluorescentes têm maior eficiência energética que as incandescentes, mas possuem restrições como baixa proporção de luz vermelha, alta temperatura além dos impactos ambientais (Runkle et al., 2012).

Lâmpadas de LED (Light Emitting Diode) possuem maior vida útil, menor consumo elétrico, menor emissão de calor e especificidade do comprimento de onda (Massa et al., 2008). O custo anualizado do uso de lâmpadas de LED por 5 horas diárias são 21,13 e 1,10 % menor que as lâmpadas incandescentes e fluorescentes, respectivamente (Souza et al., 2019). As características superiores das lâmpadas de LED em relação às tradicionais a torna um grande potencial no uso agrícola. Nesse trabalho, objetivou-se avaliar o crescimento, trocas gasosas e produção de crisântemo de corte cultivados em noite interrompida com diferentes fontes de luz.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Material vegetativo e condição do experimento

O cultivo foi conduzido em casa de vegetação, no Setor de Floricultura do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, MG, Brasil (latitude 20° 45' S, longitude 42° 52' O e altitude 690 m), no período de março a junho de 2019. O clima da região é considerado tropical de altitude, com temperaturas máximas e mínimas de 33 e 22° C no verão, e 28 e 2° C no inverno.

A luz diária integral (LDI) foi mensurada com barra contendo 10 sensores quânticos (Apogee Instruments, Inc., Logan, UT, USA) posicionados ao longo da casa de vegetação na altura da planta e tempo entre leitura de 5 min. A média da LDI foi de  $15,05 \pm 0,94 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ .

Estacas enraizadas de crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev.) da variedade “Sunny Reagan” foram obtidas pela TerraViva (Holambra – SP) e transplantadas em canteiro no espaçamento entre plantas de 14 x 15 cm e população de 48 plantas  $\text{m}^{-2}$ . O substrato do canteiro foi composto pela mistura de solo, areia e esterco na proporção de 3:1:0,5, acrescido de adubação de correção aplicando 1 g de super simples e cloreto de potássio (KCl) na proporção de 3:2 por litro de substrato.

As plantas de crisântemo foram submetidas a 40 dias longos (14 horas de luz/10 horas de escuro), a fim de promover o crescimento vegetativo e altura recomendada (35–50 cm), para que o comprimento final da haste atinja padrão de mercado (Hisamatsu et al., 2008). A seguir foram cobertas durante 29 dias com lonas preta entre 17:00 e 06:00, para proporcionar fotoperíodo de dias curtos (10/14 h), período em que o botão floral estava com diâmetro de 8 mm. Encerrado os dias curtos, as plantas permaneceram em dias naturais (13/11 h) para o desenvolvimento da flor.

A fertirrigação com solução nutritiva contendo 1,5 g  $\text{L}^{-1}$  de Peters® (20-20-20) foram aplicados no volume de 10 L  $\text{m}^{-2}$  três vezes na semana, alternados à irrigação. A temperatura e umidade relativa do ar durante o cultivo tiveram valores máximos e mínimos de 39 e 13° C, e 55 e 96 %, respectivamente, registrados com auxílio de um dataLogger modelo HT500 (Instrutherm, São Paulo).

### 2.2. Tratamento luminoso

Os dias longos foram fornecidos por iluminação em noite interrompida (NI) de 4 horas (22:00 às 2:00) com lâmpadas incandescentes 100 W (Osran), dispositivo LED

(630 nm) 18 W (Protocolo de depósito de patente 4262 Div. Reg. INPI 04/07/2008) e lâmpada LED de 6 W (Ourolux). A intensidade luminosa de  $0,23 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  na altura da folha foi ajustada por meio da distância entre a lâmpada e a copa da planta e padronizada com foto-radiômetro (modelo Quartum 46300, LI-COR Biosciences). A razão luz vermelho e vermelho distante (V:Vd) foi estimado para cada tratamento multiplicando a irradiância em cada comprimento de onda contra a absorção relativa para cada forma de fitocromo segundo Sager et al. (1988) (Tabela 1).

**Tabela 1:** Intensidade luminosa incidente sobre as plantas de crisântemo durante a noite interrompida

Lâmpada	DFFF ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	V:Vd	$\phi$
INC 100W	$0,23 \pm 0,01$	0,59	0,64
LED 18W	$0,23 \pm 0,01$	$\infty$	0,89
LED 6 W	$0,23 \pm 0,01$	$\infty$	0,89

DFFF – densidade de fluxo de fótons total; V:Vd – razão vermelho por vermelho distante,  $\phi$  – fotoequilíbrio do fitocromo; INC – lâmpada incandescente; LED – lâmpada LED (630 nm).

### 2.3. Fatores fitotécnicos

A altura da planta (AP), número de folhas (NF), comprimento do terceiro entrenó basal (EN), diâmetro basal do caule (DC), número de flores (Flor), diâmetro externo e interno da flor (DEF e DIF, respectivamente), peso fresco (PF) e seco (PS) do caule (C), folhas (F) e flores (Flor) e índice SPAD foram mensurados no período vegetativo (dias longos) e reprodutivo (dias curtos + dias naturais) das plantas de crisântemo. O índice SPAD foi determinado por clorofilômetro (SPAD – 502, Konica Minolta Inc., Osaka, Japan).

### 2.4. Taxa de crescimento absoluto (TCA)

A taxa de crescimento absoluto da altura da planta ( $TCA_{AP}$ ), número de folhas ( $TCA_{NF}$ ), comprimento do terceiro entrenó basal ( $TCA_{EN}$ ), diâmetro basal do caule ( $TCA_{DC}$ ) e índice SPAD ( $TCA_{SPAD}$ ) foram calculadas para o período vegetativo e reprodutivo pela equação  $TCA = (M2 - M1) / (T2 - T1)$ , onde M1, M2, T1 e T2 correspondem às medições e números de dias entre o período avaliado (inicial e final, respectivamente) (Benincasa, 2003).

## 2.5. Trocas gasosas

A Taxa assimilatória de CO<sub>2</sub> (*A*), condutância estomática ao vapor de água (*gs*), transpiração (*E*), concentração de CO<sub>2</sub> interno (*C<sub>i</sub>*) e respiração no escuro (*R<sub>d</sub>*) foram avaliados no período de 8 às 11 horas com o medidor de trocas gasosas (IRGA – Infrared Gas Analyser – modelo LCpro da ADC BioScientific Ltda) com densidade de fluxo de fótons da radiação fotossinteticamente ativa (*RFA*), concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico (*C<sub>a</sub>*) e fluxo de ar fixados para, 800 μmol fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 400 μmol mol<sup>-1</sup> e 300 mL min<sup>-1</sup>, respectivamente.

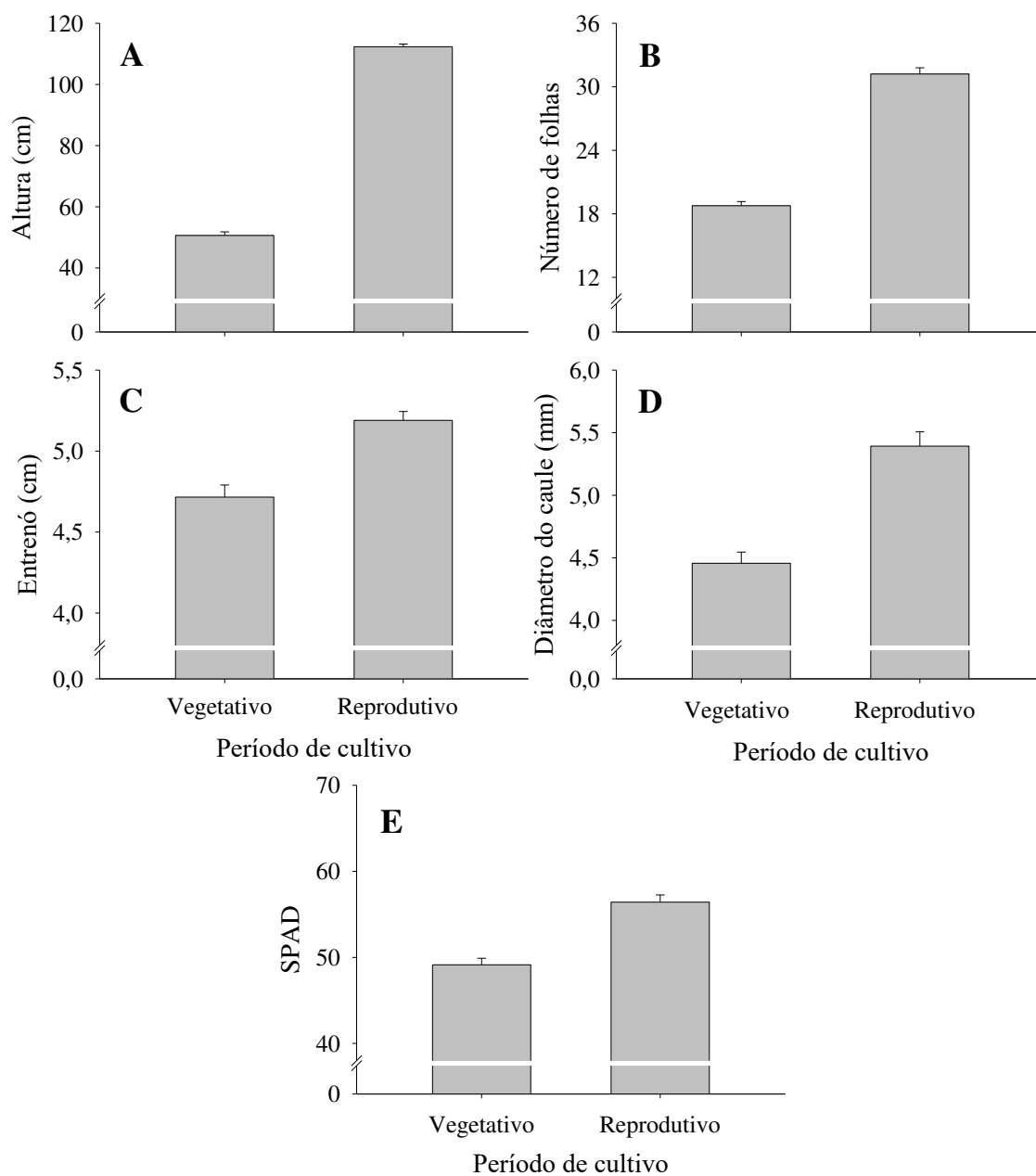
## 2.6. Delineamento e análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, no esquema fatorial duplo com 4 repetições. Os tratamentos foram compostos de três tipos de lâmpadas (lâmpada incandescente 100 W, dispositivo LED 18 e lâmpada LED 6 W), e dois períodos de avaliação (vegetativo e reprodutivo). A unidade experimental correspondente a uma área de 2 m<sup>2</sup> iluminadas com uma lâmpada, e a unidade observacional a quatro plantas por repetição. Uma parcela foi cultivada exclusivamente sob fotoperíodo de dias curtos, 10 horas de luz natural, a fim de avaliar o efeito da iluminação artificial na produção.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilks ( $P < 0,05$ ), análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade no software R (R Core Team, 2019).

## 3. RESULTADOS

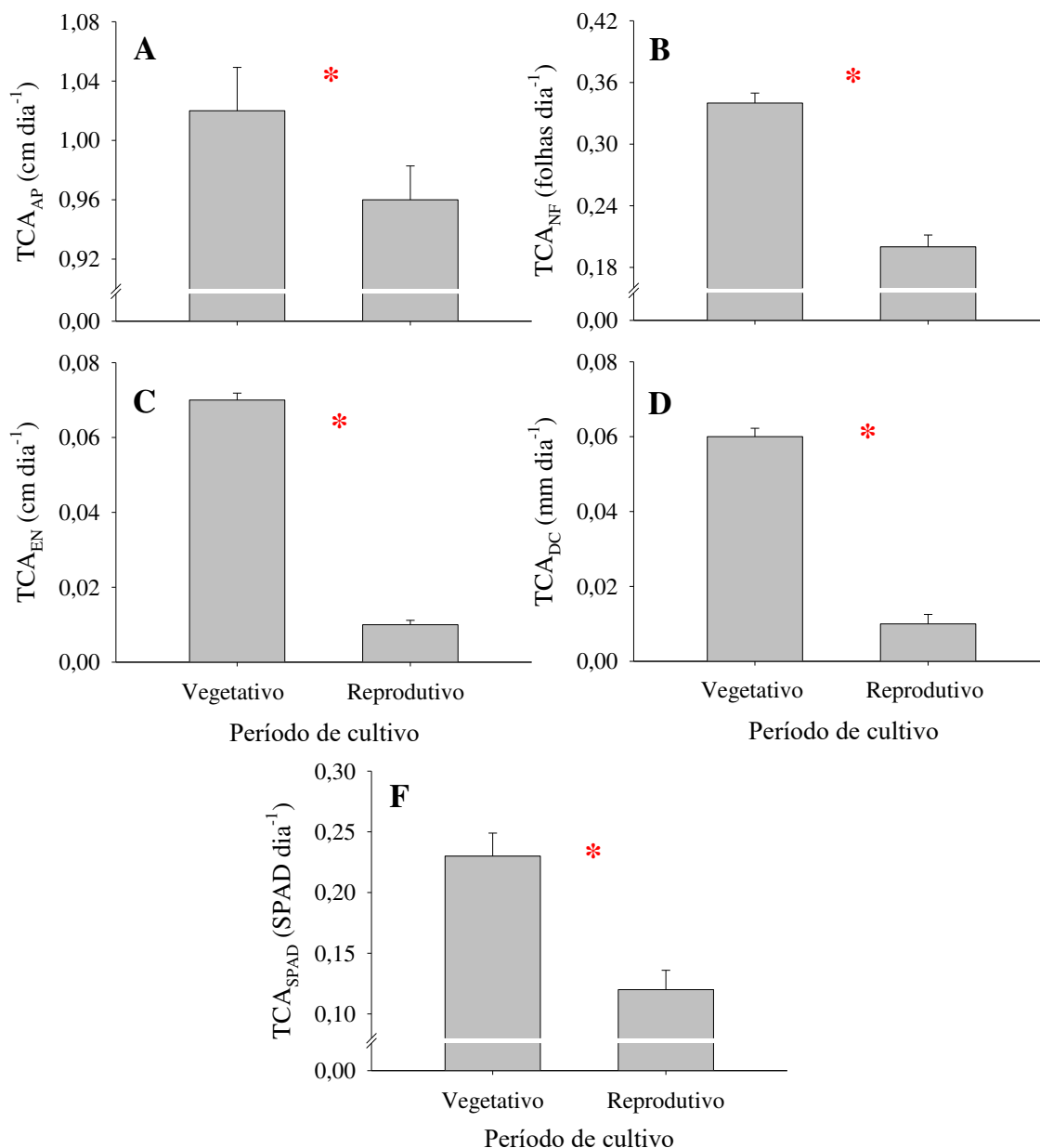
A altura da planta, número de folhas, comprimento do terceiro entrenó basal, diâmetro basal do caule e índice SPAD foram semelhantes ( $P > 0,05$ ) entre os diferentes tipos de lâmpadas utilizadas no fornecimento da noite interrompida (NI) independente do período de avaliação (Figura 1).



**Figura 1:** (A) Altura da planta (Altura), (B) número de folhas, (C) comprimento do terceiro entrenó basal (Entrenó), (D) diâmetro basal do caule (Diâmetro do caule) e (E) índice SPAD (SPAD) de plantas de crisântemo sob iluminação noite interrompida com diferentes tipos de lâmpadas durante os períodos vegetativo e reprodutivo. As médias dos diferentes tipos de lâmpadas não diferiram entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. Barras representam indicam o erro padrão (n = 4).

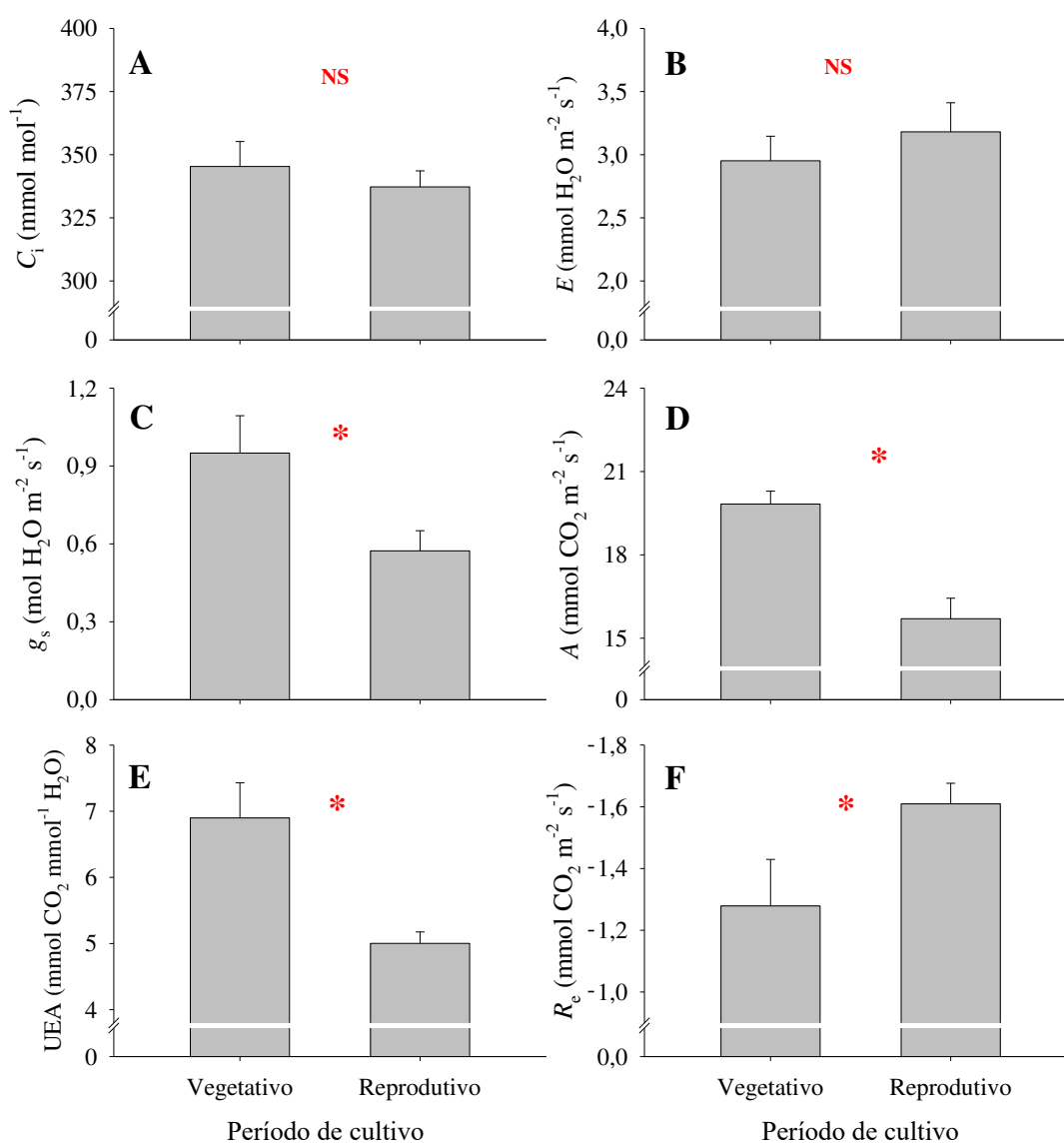
As taxas de crescimento absoluto da altura da planta ( $TCA_{AP}$ ), número de folhas ( $TCA_{NF}$ ), comprimento do terceiro entrenó basal ( $TCA_{EN}$ ), diâmetro basal do caule ( $TCA_{DC}$ ) e índice SPAD ( $TCA_{SPAD}$ ) foram semelhantes ( $P > 0,05$ ) entre os tipos

de lâmpadas no período vegetativo e no reprodutivo, e com redução na TCA do período vegetativo para o reprodutivo ( $P < 0,05$ ) (Figura 2).



**Figura 2:** (A) Taxas de crescimento absoluto da altura da planta ( $TCA_{AP}$ ), (B) número de folhas ( $TCA_{NF}$ ), (C) comprimento do terceiro entrenó basal ( $TCA_{EN}$ ), (D) diâmetro basal do caule ( $TCA_{DC}$ ) e (E) índice SPAD ( $TCA_{SPAD}$ ) de plantas de crisântemo sob iluminação noite interrompida com diferentes tipos de lâmpadas durante os períodos vegetativo e reprodutivo. As médias dos diferentes tipos de lâmpadas não diferiram entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. \* indica diferença significativa entre os períodos de cultivo pelo teste t ao nível de 5 % de probabilidade. Barras verticais representam o erro padrão ( $n = 4$ ).

A concentração de carbono interno ( $C_i$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), taxa assimilatória líquida de carbono ( $A$ ), transpiração ( $E$ ), uso eficiente de água (UEA) e respiração no escuro ( $R_e$ ) de plantas de crisântemo foram semelhantes ( $P > 0,05$ ) entre os tipos de lâmpadas no período vegetativo e no reprodutivo, e com redução de  $A$  e  $g_s$  do período vegetativo para o reprodutivo ( $P < 0,05$ ) (Figura 3).



**Figura 3:** (A) Concentração de carbono interno ( $C_i$ ), (B) transpiração ( $E$ ), (C) condutância estomática ( $g_s$ ), (D) taxa assimilatória líquida de carbono ( $A$ ), (E) uso eficiente de água (UEA) e (F) respiração no escuro ( $R_e$ ) de plantas de crisântemo sob iluminação noite interrompida com diferentes tipos de lâmpadas durante os períodos vegetativo e reprodutivo. As médias dos diferentes tipos de lâmpadas não diferiram entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. **NS** e **\*** indicam semelhança e diferença significativa, respectivamente, entre os períodos de cultivo pelo teste t ao nível de 5 % de probabilidade. Barras verticais representam o erro padrão ( $n = 4$ ).

O comprimento das hastes florais de crisântemo foi maior que 111,00 cm, e o número e diâmetro externo da flor, peso seco e fresco do caule, folhas e flor foram semelhantes ( $P > 0,05$ ) entre os tipos de lâmpadas (Tabela 2).

**Tabela 2** – Variáveis de colheita de plantas de crisântemo cultivadas com iluminação noite interrompida com diferentes tipos de lâmpadas

Variável	Valores
Comprimento de haste floral (cm)	112,31 ± 0,88
Diâmetro de haste (mm)	5,38 ± 0,10
Número de folhas	31,44 ± 0,59
Número de flores	13,10 ± 0,80
Diâmetro externo da flor (cm)	8,25 ± 0,24
Peso fresco do caule (g)	26,35 ± 0,97
Peso fresco das folhas (g)	24,45 ± 0,55
Peso fresco das flores (g)	13,76 ± 0,62
Peso seco do caule (g)	8,13 ± 0,27
Peso seco das folhas (g)	5,51 ± 0,09
Peso seco das flores (g)	4,66 ± 0,11

Médias ( $n = 4 \pm$  erro padrão) dos diferentes tipos de lâmpadas não diferiram entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

#### 4. DISCUSSÃO

A semelhança no crescimento das plantas de crisântemo no período vegetativo e reprodutivo entre os diferentes tipos de lâmpadas foram devidos à baixa intensidade luminosa ( $0,23 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e emissão de luz vermelha. Pois, intensidade luminosa menor que o ponto de compensação luminoso (PCL) não é suficiente para gerar ganhos fotossintéticos, porém associada à luz vermelha, é eficiente na inibição do florescimento de plantas de dias curtos (Jeong et al., 2014; Nissim-Levi et al., 2019; Craig e Runkle, 2013). O PCL de plantas de crisântemo é de 20–26  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  enquanto que a inibição do florescimento ocorre em intensidade luminosa de 1,3–1,7  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , assim, ganhos fotossintéticos e alteração nos padrões de crescimento só são possíveis aumentando a intensidade luminosa da iluminação NI acima do PCL (Meng e Runkle, 2015; Park et al., 2017; Leonardos et al., 2019). A suplementação luminosa de 60–90  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  mantém estáveis as taxas fotossintéticas de plantas de crisântemo quando a incidência solar é menor que 185  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Meng e Runkle, 2015). Ademais, o crescimento e florescimento de crisântemo em casa de vegetação são semelhantes entre lâmpadas incandescente e LED vermelho (Choi et al., 2018).

A semelhança na  $TCA_{AP}$ ,  $TCA_{NF}$ ,  $TCA_{EN}$ ,  $TCA_{DC}$  e  $TCA_{SPAD}$  entre os tipos de lâmpadas utilizadas na iluminação NI foram devidos a intensidade luminosa e duração

da NI. A baixa intensidade luminosa ( $1,3 - 2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) durante 4 horas de NI é efetiva na inibição do florescimento em várias plantas de dias curtos, porém, limita ganhos fotossintéticos e conseqüentemente diferenças nas taxas de crescimento das plantas (Ho et al., 2012; Meng e Runkle, 2015; Leonardos et al., 2019; Walters et al., 2019). Por outro lado, prolongamento da duração da NI mitiga os efeitos da baixa intensidade luminosa, pois, aumenta significativamente a luz diária integral do ambiente (Thakur e Grewal, 2018, 2019). A redução na TCA do período vegetativo para o reprodutivo se deve ao vigoroso crescimento inicial associado às taxas fotossintéticas. Uma vez que, a fase vegetativa envolve principalmente o crescimento de folhas e haste enquanto o reprodutivo o desenvolvimento dos órgãos de reprodução (Choon e Ding, 2016; Daubresse et al., 2010). Portanto, a formação de novos órgãos fotossintéticos aumentou a fotossíntese total por planta, resultando em maior disponibilidade de fotoassimilados para o crescimento vegetativo da planta.

Os valores semelhantes de  $C_i$ ,  $g_s$ ,  $A$ ,  $UEA$  e  $R_e$  entre os diferentes tipos de lâmpadas foram devidos ao curto período da noite interrompida (4h) e baixa intensidade luminosa ( $0,23 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Alterações nos padrões fotossintéticos ocorrem em plantas cultivadas exclusivamente com iluminação artificial e/ou com alta intensidade luminosa (>PCL) (Park et al., 2013; Leonardos et al., 2019). Assim, a qualidade da luz associada ao aumento do LDI induz mudanças morfogênicas e anatômicas que alteram os padrões fotossintéticos (Chen et al., 2014; Schroeter-Zakrzewska et al., 2017; Leonardos et al., 2019). A iluminação NI não tem efeito sobre a fotossíntese e acúmulo de biomassa de *Dianthus*, enquanto que plantas cultivadas exclusivamente em regime luminoso por lâmpadas de LED têm alterações nos padrões fotossintéticos (Park et al., 2013; Leonardos et al., 2019). A redução das trocas gasosas do período vegetativo para o reprodutivo se deve à sua relação com as taxas de crescimento, pois a alta demanda por fotoassimilados necessário para a manutenção do crescimento vegetativo induz o aumento fotossintético por folha. Porém, o fato de o crisântemo possuir na fase reprodutiva apenas a flor e fruto tipo aquênio, tornam-se um dreno fraco quando comparado a frutos carnosos, explicando as menores taxas fotossintéticas observadas nesse período de cultivo (Singh et al., 2017; Sha et al., 2020). Portanto, a amplitude da força dreno é responsável pela capacidade fotossintética adaptativa das folhas (DaMatta et al., 2008; Petridis et al., 2020).

O comprimento de haste florais superior a 111,00 cm se deve ao número de dias longos utilizados para inibir o florescimento e ao período de verão, pois ambos

alteram processos fisiológicos, bioquímicos e morfoanatômicos que favorecem o crescimento das hastes florais de crisântemo (Nissim-Levi et al., 2019; Ouyang et al., 2019). A adição de 15 dias longos no cultivo de crisântemo aumenta 36,66 % o comprimento das hastes florais (Kumar et al., 2017). O comprimento de hastes é um parâmetro de qualidade e influencia o preço final do produto (Nissim-Levi et al., 2019). Hastes florais de crisântemo com 75–80 cm é o melhor padrão de qualidade no mercado (Veiling Holambra, 2020). Assim, as plantas de crisântemo atingiram padrão de qualidade comercial independentemente do tipo de lâmpada utilizada na NI.

A semelhança no número, diâmetro externo, peso seco e peso fresco da flor entre os tipos de lâmpada foi devido à semelhança das taxas fotossintéticas, pois a quantidade e qualidade de flores dependem das reservas de fotoassimilados destinados à sua formação (Han et al., 2017; Petridis et al., 2018). Estudos observaram menor número de flores em plantas de crisântemo com limitação fotossintética (Runkle e Heins, 2006). A semelhança do peso seco e fresco do caule, e número de folhas entre os tipos de lâmpadas foram devidos as semelhanças da altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, taxa fotossintética e eficiência das lâmpadas em inibir o florescimento em plantas de crisântemo, pois o peso fresco e seco de um órgão vegetal é dependente do número e tamanho do mesmo (Kumar et al., 2017). A fotossíntese e fotoassimilados produzidos nas folhas ao longo do ciclo de cultivo são acumulados no caule e nas próprias folhas e utilizados no crescimento e desenvolvimento das plantas (Petridis et al., 2018; Ailbhe e Diarmuid, 2019). Assim, plantas de crisântemo com mesmo número de folhas, taxa fotossintética e altura tendem a ter peso fresco e seco semelhante.

## **5. CONCLUSÕES**

Os diferentes tipos de lâmpadas tiveram efeitos semelhantes no crescimento e trocas gasosas independente do período de cultivo, indicando que a intensidade luminosa e a duração da noite interrompida são fatores limitantes nos processos fisiológicos do crisântemo. Os diferentes tipos de lâmpadas foram eficientes na promoção de noite interrompida no cultivo de crisântemo, gerando hastes florais com alta qualidade comercial.

## 6. REFERÊNCIAS

- ADAMS, S. R., VALDES, V. M., LANGTON, F. A. 2008. Why does low intensity, long-day lighting promote growth in *Petunia*, *Impatiens*, and tomato?. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 83(5), 609–615. <https://doi.org/10.1080/14620316.2008.11512431>
- BRAZEL, A. J., Ó'MAOILÉIDIGH, D. S. 2019. Photosynthetic activity of reproductive organs. Journal of Experimental Botany, 70(6), 1737–1754. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz033>
- BENINCASA, M. M. P. 2003. Departamento de biologia aplicada à agropecuária. Análise de crescimento de plantas (noções básicas). FCAV-UNESP: Jaboticabal, 02-06
- BLANCHARD, M. G., RUNKLE, E. S. 2009. Use of a cyclic high-pressure sodium lamp to inhibit flowering of chrysanthemum and velvet sage. Scientia Horticulturae, 122(3), 448–454. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.06.016>
- CASAL, J. J. 2000. Phytochromes, cryptochromes, phototropin: photoreceptor interactions in plants. Photochemistry and Photobiology, 71(1), 1–11. [https://doi.org/10.1562/0031-8655\(2000\)0710001PCPPII2.0.CO2](https://doi.org/10.1562/0031-8655(2000)0710001PCPPII2.0.CO2)
- CHEN, X. L., GUO, W. Z., XUE, X. Z., WANG, L. C., QIAO, X. J. 2014. Growth and quality responses of 'Green Oak Leaf' lettuce as affected by monochromic or mixed radiation provided by fluorescent lamp (FL) and light-emitting diode (LED). Scientia Horticulturae. 172, 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.04.009>
- CHOI, K. C., JEONG, D. U., BYEON, J. Y., GU, M., HAN, T. H., KOH, G. C., HWANG, I. T., KIM, H. K., KIM, B. S., JUNG, S. K. 2018. Growth and flowering of cut chrysanthemum as affected by source and time of light-emitting diodes. Philippine Agricultural Scientist, 101(1), 28–35
- CHOON, S. Y., DING, P. 2016. Growth stages of torch ginger (*Etilingera elatior*) plant. Sains Malaysiana, 45(4), 507–515.
- CRAIG, D. S., RUNKLE, E. S. 2016. An intermediate phytochrome photoequilibria from night-interruption lighting optimally promotes flowering of several long-day plants. Environmental and Experimental Botany, 121, 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.04.004>

- CRAIG, D. S., RUNKLE, E. S. 2013. A moderate to high red to far-red light ratio from light-emitting diodes controls flowering of short-day plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 138(3), 167–172. <https://doi.org/10.21273/JASHS.138.3.167>
- DAMATTA, F.M., CUNHA, R.L., ANTUNES, W.C., MARTINS, S.C.V., ARAUJO, W.L., FERNIE, A., MORAES, G. A. B. K. 2008. In field-grown coffee trees source-sink manipulation alters photosynthetic rates, independently of carbon metabolism, via alterations in stomatal function. *New Phytologist* Trust, 178(2), 348–357. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02367.x>
- GUPTA, S. D., AGARWAL, A. 2017. *Light emitting diodes for Agriculture*. Singapore: Springer. pp. 273-303. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5807-3>.
- HAMDANI, S., KHAN, N., PERVEEN, S., QU, M., JIANG, J., GOVINDJEE, G., ZHU, X. G. 2019. Changes in the photosynthesis properties and photoprotection capacity in rice (*Oryza sativa*) grown under red, blue, or white light. *Photosynthesis Research*, 139(1), 107–121. <https://doi.org/10.1007/s11120-018-0589-6>
- HAN, S., CHEN, S. M., SONG, A. P., LIU, R. X., LI, H. Y., JIANG, J. F., CHEN, F. D. 2017. Photosynthetic responses of *Chrysanthemum morifolium* to growth irradiance: morphology, anatomy and chloroplast ultrastructure. *Photosynthetica*, 55(1), 184–192. <https://doi.org/10.1007/s11099-016-0219-5>
- HISAMATSU, T., SUMITOMO, K., SHIMIZU, H. 2008. End-of-day far-red treatment enhances responsiveness to gibberellins and promotes stem extension in chrysanthemum. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 83(6), 695–700. <https://doi.org/10.1080/14620316.2008.11512446>
- KIM, Y. J., LEE, H. J., KIM, K. S. 2011. Night interruption promotes vegetative growth and flowering of *Cymbidium*. *Scientia horticulturae*, 130(4), 887–893. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.08.031>
- HO, C., YANG, C., HSIAO, C. 2012. Effects of nighttime lighting with specific wavebands on flowering and flower quality of *Chrysanthemum*. *Crop, Environment e Bioinformatics*, 9(4), 265–277.
- JEONG, S. W., HOGEWONING, S. W., VAN IEPEREN, W. 2014. Responses of supplemental blue light on flowering and stem extension growth of cut chrysanthemum. *Scientia Horticulturae*, 165, 69–74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.11.006>

- KANG, D. I., JEONG, H. K., PARK, Y. G., JEONG, B. R. 2019. Flowering and morphogenesis of kalanchoe in response to quality and intensity of night interruption light. *Plants*, 8(4), 90. <https://doi.org/10.3390/plants8040090>
- KUMAR, S., SINGH, M. C., YADAV, S., SHARMA, D. K. 2017. Effect of photosynthetically active radiation (PAR) from LEDs on growth and development of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. cv. Zembla. *International Journal Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(9), 458–465. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.609.055>
- LANDI, M., ZIVCAK, M., SYTAR, O., BRESTIC, M., ALLAKHVERDIEV, S. I. 2020. Plasticity of photosynthetic processes and the accumulation of secondary metabolites in plants in response to monochromatic light environments: A review. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 1861(2), 148131. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2019.148131>
- LEONARDOS, E. D., MA, X., LANOUE, J., GRODZINSKI, B. 2019. Leaf and whole-plant gas exchange and water-use efficiency of chrysanthemums under HPS and LEDs during the vegetative and flower-induction stages. *Canadian Journal of Plant Science*, 99(5), 639–653. <https://doi.org/10.1139/cjps-2018-0245>
- MASCLAUX-DAUBRESSE C, DANIEL-VEDELE F, DECHORGNAT J, CHARDON F, GAUFICHON L, SUZUKI A. 2010. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Annals of Botany*, 105, 1141–1157.
- MASSA, G. D., KIM, H. H., WHEELER, R. M., MITCHELL, C. A. 2008. Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience*, 43(7), 1951–1956. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951>
- MENG, Q., RUNKLE, E. S. 2015. Low-intensity blue light in night-interruption lighting does not influence flowering of herbaceous ornamentals. *Scientia Horticulturae*, 186, 230–238. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.01.038>
- NGUYEN, T. P. D., TRAN, T. T. H., NGUYEN, Q. T. 2019. Effects of light intensity on the growth, photosynthesis and leaf microstructure of hydroponic cultivated spinach (*Spinacia oleracea* L.) under a combination of red and blue LEDs in house. *International Journal of Agriculture Technology*, 15(1), 75–90
- NISSIM-LEVI, A., KITRON, M., NISHRI, Y., OVADIA, R., FORER, I., OREN-SHAMIR, M. 2019. Effects of blue and red LED lights on growth and flowering

- of *Chrysanthemum morifolium*. *Scientia Horticulturae*, 254, 77–83.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.080>
- PARK, Y. G., JEONG, B. R. 2019. Night interruption light quality changes morphogenesis, flowering, and gene expression in *Dendranthema grandiflorum*. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 60(2), 167–173.  
<https://doi.org/10.1007/s13580-018-0114-z>
- PARK Y. G., MUNEER, S., JEONG, B. R. 2015. Morphogenesis, flowering, and gene expression of *Dendranthema grandiflorum* in response to shift in light quality of night interruption. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(7), 16497–16513. <https://doi.org/10.3390/ijms160716497>
- PARK, Y. G., MUNEER, S., SOUNDARARAJAN, P., MANIVNNAN, A., JEONG, B. R. 2017. Light quality during night interruption affects morphogenesis and flowering in geranium. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 58(3), 212–217. <https://doi.org/10.1007/s13580-017-0246-6>
- PARK, Y. J., KIM, Y. J., KIM, K. S. 2013. Vegetative growth and flowering of *Dianthus*, *Zinnia*, and *Pelargonium* as affected by night interruption at different timings. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 54(3), 236–242.  
<https://doi.org/10.1007/s13580-013-0012-3>
- PETRIDIS, A., VAN DER KAAJ, J., SUNGURTAS, J., VERRALL, S. R., MCCALLUM, S., GRAHAM, J., HANCOCK, R. D. 2020. Photosynthetic plasticity allows blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) plants to compensate for yield loss under conditions of high sink demand. *Environmental and Experimental Botany*, 174, 104031. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104031>
- PETRIDIS, A., VAN DER KAAJ, J., CHRYSANTHOU, E., MCCALLUM, S., GRAHAM, J., HANCOCK, R. D. 2018. Photosynthetic limitation as a factor influencing yield in highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum*) grown in a northern European environment. *Journal of Experimental Botany*, 69(12), 3069–3080. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery118>
- OUYANG, Z., TIAN, J., YAN, X., SHEN, H. 2020. Effects of different concentrations of dissolved oxygen or temperatures on the growth, photosynthesis, yield and quality of lettuce. *Agricultural Water Management*, 228, 105896.  
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105896>

- R CORE TEAM. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- RUNKLE, E. S., PADHYE, S.R., OH, W., GETTER, K. 2012. Replacing incandescent lamps with compact fluorescent lamps may delay flowering. *Scientia Horticulturae*, 143(1): 56–61. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.05.028>
- RUNKLE, E. S., HEINS, R. D. 2006. Manipulating the light environment to control flowering and morphogenesis of herbaceous plants. *Acta Horticulturae*, 711, 51–60. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.711.4>
- RUNKLE, E. S., HEINS, R. D., CAMERON, A. C., CARLSON, W. H. 1998. Flowering of herbaceous perennials under various night interruption and cyclic lighting treatments. *HortScience*, 33(4), 672–677. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.33.4.672>
- SCHROETER-ZAKRZEWSKA, A., KLEIBER, T., ZAKRZEWSKI, P. 2017. The response of chrysanthemum (*Chrysanthemum x grandiflorum* Ramat./Kitam) cv. Covington to a different range of fluorescent and LED light. *Journal of Elementology*, 22(3), 1015–1026. <https://10.5601/jelem.2017.22.1.1252>
- SAGER, J. C., SMITH, W. O., EDWARDS, J. L., CYR, K. L. 1988. Photosynthetic efficiency and phytochrome photoequilibria determination using spectral data. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 31(6), 1882–1889. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.30952>
- SHA, J., WANG, F., XU, X., CHEN, Q., ZHU, Z., JIANG, Y., GE, S. 2020. Studies on the translocation characteristics of <sup>13</sup>C-photoassimilates to fruit during the fruit development stage in ‘Fuji’ apple. *Plant Physiology and Biochemistry*, 154, 636–645. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.06.044>
- SINGH, S. K., NATH, V., MARBOH, E. S., SHARMA, S. 2017. Source-sink relationship in litchi verses mango: A concept. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(3), 500–509.
- SOUZA, D. F., DA SILVA, P. P. F., FONTENELE, L. F. A., BARBOSA, G. D., DE OLIVEIRA JESUS, M. 2019. Efficiency, quality, and environmental impacts: a comparative study of residential artificial lighting. *Energy Reports*, 5, 409–424. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.03.009>
- SULPICE, R., PYL, E. T., ISHIHARA, H., TRENKAMP, S., STEINFATH, M., WITUCKA-WALL, H., GIBON Y., USADEL, B., POREE, F., PIQUES, M.

- C., VON KORFF, M., STEINHAUSER, M. C., KEURENTJES, J. J. B., GUENTHER, M., HOEHNE, M., SELBIG, J., FERNIE, A. R., ALTMANN, T., STITT, M. 2009. Starch as a major integrator in the regulation of plant growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(25), 10348–10353. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903478106>
- THAKUR, T., GREWAL, H. S. 2019. Growth regulation and off-season flowering through night breaks in *Chrysanthemum morifolium* Ramat cv. Anmol. *Bangladesh Journal of Botany*, 48(2), 373–378.
- THAKUR, T., GREWAL, H. S. 2018. Influence of photoperiodic night interruption on sustainable potted flower production of *Chrysanthemum* cv. Snowball. *International Journal Current Microbiology and Applied Science*, 7(2), 1282–1287. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.156>
- TERASHIMA, I., FUJITA, T., INOUE, T., CHOW, W. S., OGUCHI, R. 2009. 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*, 50: 684–697. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcp034>
- VEILING HOLAMBRA. 2020. Flores e plantas ornamentais. Critério de classificação de produtos: crisântemo de corte. Disponível em [http://www.veiling.com.br/uploads/padrao\\_qualidade/criterios/crisantemo-fc.pdf](http://www.veiling.com.br/uploads/padrao_qualidade/criterios/crisantemo-fc.pdf). Acessado dia 20 de janeiro, 2020.
- WALTERS, K. J., HURT, A. A., LOPEZ, R. G. 2019. Flowering, stem extension growth, and cutting yield of foliage annuals in response to photoperiod. *HortScience*, 54(4), 661–666. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13789-18>
- WEI, H., ZHAO, J., HU, J., JEONG, B. R. 2019. Effect of supplementary light intensity on quality of grafted tomato seedlings and expression of two photosynthetic genes and proteins. *Agronomy*, 9(6), 339. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060339>
- WHITMAN, C. M., HEINS, R. D., CAMERON, A. C., CARLSON, W. H. 1998. Lamp type and irradiance level for daylength extensions influence flowering of *Campanula carpatica* ‘Blue Clips’, *Coreopsis grandiflora* ‘Early Sunrise’, and *Coreopsis verticillate* ‘Moonbeam’. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(5), 802–807. <https://doi.org/10.21273/JASHS.123.5.802>

ZHANG, M., RUNKLE, E. S. 2019. Regulating flowering and extension growth of poinsettia using red and far-red light-emitting diodes for end-of-day lighting. *HortScience*, 54(2), 323–327. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13630-18>

### **CAPÍTULO 3: VIABILIDADE ECONÔMICA DE DIFERENTES SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO NA PRODUÇÃO DE CRISÂNTEMO**

#### **RESUMO**

A crescente demanda por energia elétrica juntamente com a crise energética mundial levaram diversos países a adotarem políticas públicas de banimento de tecnologias pouco eficientes como as lâmpadas incandescentes. Lâmpadas de LED (Light Emitting Diode) ao contrário das lâmpadas incandescentes possuem alta eficiência na conversão de energia elétrica em luminosa (~ 90 %), alta durabilidade e redução nos impactos ambientais. Porém, o alto custo inicial de sistemas de iluminação com lâmpadas LED limita sua adesão por parte dos produtores rurais. Portanto, o objetivo desse trabalho foi analisar a viabilidade econômica da substituição de um sistema de iluminação agrícola tradicional (incandescente 100 W) por lâmpadas LED 18 (dispositivo LED) ou 6 W em diferentes cultivos de crisântemo (cenário 1 e 2). O custo de implantação dos sistemas de iluminação com lâmpadas LEDs é mais caro, porém, consomem anualmente em média 81 e 71 % menos energia elétrica em relação ao sistema com lâmpadas incandescentes no cenário 1 e 2, respectivamente. O cenário 1 teve valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e período de retorno do investimento inicial (Payback) de US\$ 62399,07, 70,71 % e 17,67 meses para o dispositivo LED 18 W. O cenário 2 teve VPL, TIR e Payback de US\$ 34895,63, 29,88 % e 33,66 meses para o LED vermelho 6 W. Portanto, embora com alto custo de implantação, os sistemas de iluminação com lâmpadas LED 6 W e dispositivo LED 18 W no cultivo de crisântemo são economicamente viáveis e atrativos.

#### **1. INTRODUÇÃO**

A crise energética mundial é resultado do crescimento demográfico, aumento do consumo de energia e incapacidade das usinas elétricas em suprir tamanha demanda (WEC, 2010; Borges et al. 2016). As usinas hidrelétricas foram responsáveis por 64,70 % da produção de energia elétrica no Brasil em 2018, e embora considerada como uma energia limpa, causa enormes impactos ambientais por necessitar de grandes áreas inundadas para mover as turbinas (Athayde et al. 2019; EPE, 2020; Santos et al. 2020).

Diversas medidas visando a economia de energia elétrica foram criadas como desenvolvimento de produtos de alta eficiência energética (Fossati et al., 2016). Políticas públicas de banimento de lâmpadas incandescentes foram implementadas em diversos países incluindo o Brasil (CEC, 2009; MME, 2010). Visto isso, tornou importante a busca de fontes de luz mais eficiente.

As lâmpadas incandescentes continuam sendo a principal fonte de iluminação artificial no meio agrícola, principalmente pelo seu baixo custo, no entanto, possuem baixa vida útil, alto consumo de energia por ser pouco eficiente na conversão de energia elétrica em luminosa (~ 8–10 %), além de ter grande variedade em comprimento de onda onde poucas são eficientes no desenvolvimento e crescimento de plantas (Runkle et al., 2012; Gupta e Agarwal, 2017; INEE, 2019). Em contrapartida, o LED (Light Emitting Diode) possui baixo consumo de energia, alta vida útil, baixa emissão de calor e seleção de comprimento de onda específico, podendo ser um grande aliado para a inserção de novas tecnologias na produção agrícola (Massa et al., 2005).

O uso do LED no cultivo de plantas é estudado há algum tempo e sua eficiência é igual ou superior à lâmpada incandescente (Zhang et al., 2017; Gómez e Izzo, 2018). Contudo, a dificuldade em propor métodos eficientes e economicamente viáveis são fatores que limitam a dispersão dessas novas tecnologias na agricultura. Todavia, com os recentes avanços tecnológicos e redução dos preços de peças, novos métodos tem se tornado economicamente mais viáveis e ambientalmente mais sustentáveis (Benke e Tomkins, 2017; Bambara e Athienitis, 2019).

A decisão de investir na substituição de equipamentos é um processo crítico para o produtor rural, devendo passar pelo processo de planejamento e análise econômica, pois é irreversível por compromete o capital de giro (Casarotto Filho e Kopittke, 2010). Os principais motivos para o investimento em infraestrutura ou novas tecnologias são os lucros acumulados, sendo o projeto rentável somente quando suas receitas forem maiores que o capital e as despesas investidas (Marquezan, 2006). Este conceito pode ser aplicado a projetos de substituição do sistema de iluminação, sendo necessárias análises econômicas considerando os riscos envolvidos e buscando estratégias que minimizem falhas de investimento (Valente et al., 2011; Mugabi e Driscroll, 2016).

O objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade econômica da substituição de um sistema de iluminação agrícola tradicional (lâmpada incandescente 100 W) por lâmpadas LED 18 (dispositivo LED) ou 6 W em diferentes cultivos de crisântemo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Cenários (Projetos)

Dois cenários de substituição do sistema de iluminação com lâmpadas incandescentes por LED 18 ou 6 W no cultivo de crisântemo foram utilizados para análise econômica (Tabela 1). Cenário 1, produção de crisântemo para flor de corte (Sunny Reagan) em área de 10000 m<sup>2</sup> (1 hectare). Cenário 2, produção de crisântemo para planta em vaso (Rage) em área de 10000 m<sup>2</sup>.

Os espaçamentos entre lâmpadas para os sistemas de iluminação com o dispositivo LED 18 e e lâmpada LED 6 W foram definidos a partir de experimentos anteriores, no qual as intensidades luminosas sobre as plantas de 0,14 e 0, 35  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para as variedades Sunny Reagan e Rage, respectivamente, foram eficientes na produção de flores de qualidade (Milanez, 2017). O sistema de iluminação com lâmpadas incandescentes utilizou o espaçamento entre lâmpadas padrão de 2,0 x 3,5 m (Barbosa et al., 2019). O número de lâmpadas por área foi calculado a partir do espaçamento entre lâmpadas (Tabela 2).

A imposição de dias longos com a interrupção da noite por 4 horas (22:00 às 02:00) são necessárias para uma produção de qualidade e foram utilizadas para calcular o consumo de energia elétrica dos diferentes sistemas de iluminação.

**Tabela 1.** Características técnicas dos diferentes tipos de lâmpadas

Características*	LED 6 W	LED 18 W	INC100 W
Ângulo de abertura	30°	90°	360°
Vida útil	15000 h	30000 h	1000 h
Consumo energético	6 W h <sup>-1</sup>	18 W h <sup>-1</sup>	100 W h <sup>-1</sup>

\*Ficha técnica segundo fabricantes: INC 100 W – lâmpada incandescente Osram; LED 6 W – lâmpada LED PAR20 (630nm) Ourolux; LED 18 W – dispositivo LED (630 nm), protocolo de depósito de patente 4262 Div. Reg. INPI 04/07/2008.

**Tabela 2:** Espaçamentos e número de lâmpadas utilizados nos diferentes cenários de cultivo de crisântemo das variedades Sunny Reagan e Rage

Cenários	Lâmpadas	Espaçamentos entre lâmpadas (m x m)	L ha <sup>-1</sup>
C1	LED 18 W	2,4 x 3,2	1302
	LED 6 W	1,2 x 1,6	5208
	INC 100 W	2,0 x 3,5	1429
C2	LED 18 W	2,0 x 2,0	2500
	LED 6 W	1,0 x 1,6	6250
	INC 100 W	2,0 x 3,5	1429

L ha<sup>-1</sup> – lâmpadas por hectare; LED – lâmpada LED (630 nm); INC – lâmpada incandescente.

## 2.2. Análise de viabilidade econômica

O modelo aplicado a análise econômica foi o fluxo de caixa ao longo de 6 anos. O custo de energia elétrica de R\$ 0,51 kWh<sup>-1</sup> foi baseado na tarifa para o mês de julho de 2020 (Cemig, 2020). A conversão do real (R\$) para US dólar (\$) de R\$ 5,43 e taxa mínima de atratividade de 6,50 % foram utilizadas (BCB, 2019; BCB, 2020).

O ano zero do fluxo de caixa considera o investimento inicial como despesa e desconsidera as receitas. O investimento inicial dos cenários consiste na subtração do valor das lâmpadas incandescentes substituídas pelo valor total de lâmpadas LED por área. A economia no consumo de energia, considerando a inflação de 3 % sobre o preço do kWh, foi considerado como receita nos demais anos (BB, 2019).

Os índices econômicos valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), razão benefício-custo (RBC) e período para retorno do investimento inicial (PayBack) foram calculados de acordo com as equações 1, 2 e 3 e utilizadas para avaliar o fluxo de caixa (Santana et al., 2019).

$$VPL = V_0 + \sum_{i=1}^N \left[ (|F_L)_i \left( 1 + \frac{j}{100} \right)^{-i} \right] \quad (1)$$

$$RBC = \left| \frac{VPL - |V_0|}{|V_0|} \right| \quad (2)$$

$$(V_P)_i = (V_P)_{i-1} + \frac{(F_L)_i}{\left( 1 + \frac{j}{100} \right)^{-i}} \quad (3)$$

Onde  $V_0$  é o capital de investimento (R\$),  $i$  o ano considerado no fluxo de caixa (dimensional),  $N$  é o tempo de vida do projeto (dimensional),  $F_L$  o fluxo de caixa (R\$),

$j$  a taxa de inflação (%) e  $V_P$  o valor anual recuperado (R\$). A TIR é calculada pela interpolação de Langrage em um processo interativo que pesquisa a taxa na qual o projeto retorna VPL de zero (Lopes e Neto, 2017). O projeto será viável se o VPL for maior que zero, RBC for maior que um, o Payback for menor que o tempo de vida útil do projeto e o TIR maior que a taxa de atratividade.

### 3. RESULTADOS

Os custos de implantação dos sistemas de iluminação com lâmpadas LED foram em média 28 e 41 vezes maior comparada a lâmpada incandescentes para o cenário 1 e 2, respectivamente. O valor unitário do dispositivo LED 18 W é maior que a de 6 W, mas comparando o número de lâmpadas  $ha^{-1}$ , o sistema de iluminação com o dispositivo LED 18 W foi US\$ 10550,28 mais barato que com lâmpadas LED 6 W no cenário 1, enquanto que no cenário 2, o sistema de iluminação lâmpadas LED 6 W foi US\$ 4604,05 mais barato que com o dispositivo LED 18 W (Tabela 3).

O uso de lâmpadas LED reduz o consumo de energia elétrica independentemente dos cenários simulados. Porém, no cenário 1, o sistema de iluminação com o dispositivo LED 18 W teve o menor consumo de energia elétrica, com 16,40 % do consumo do sistema de iluminação com lâmpadas incandescentes (Tabela 4). No cenário 2, o consumo anual de energia elétrica foi menor no sistema de iluminação com lâmpadas LED 6 W, com 26,24 % do consumo do sistema de iluminação com lâmpadas incandescentes (Tabela 4).

Ambos cenários 1 e 2, tiveram VPL positivo, TIR maior que a taxa Selic (6,5), RBC maior que 1 e paybak menor que o período de planejamento (Tabela 5). O sistema de iluminação com o dispositivo LED 18 W teve melhores índices econômicos no cenário 1 com VPL, TIR e payback de US\$ 62399,07, 70,71 % e 17,67 meses, respectivamente. Em contrapartida, o sistema de iluminação com lâmpadas LED 6 W teve melhores valores no cenário 2, com VPL, TIR e paybak de US\$ 34895,63, 29,88 % e 33,66 meses, respectivamente (Tabela 5).

**Tabela 3.** Custos de implantação de sistemas de iluminação em 1 hectare de crisântemo das variedades Sunny Reagan e Rage

Cenários	Lâmpadas	EL	L ha <sup>-1</sup>	Valor unitário	Custo total
		m x m		US\$	
C1	LED 18 W	2,4 x 3,2	1302	18,42	23977,9
	LED 6 W	1,2 x 1,6	5208	6,63	34528,18
	INC 100 W	2,0 x 3,5	1429	0,74	1052,67
C2	LED 18 W	2,0 x 2,0	2500	18,42	46040,52
	LED 6 W	1,0 x 1,6	6250	6,63	41436,46
	INC 100 W	2,0 x 3,5	1429	0,74	1052,67

EL – Espaçamento entre lâmpadas; L ha<sup>-1</sup> – Lâmpadas ha<sup>-1</sup>; LED – lâmpada LED (630 nm); INC – lâmpada incandescente.

**Tabela 4.** Consumo de energia de sistemas de iluminação em 1 hectare de crisântemo das variedades Sunny Reagan e Rage

Cenários	Lâmpadas	L ha <sup>-1</sup>	CE 4h dia <sup>-1</sup>	CE anual*	Valor anual	CE
			kWh	kWh	US\$	%
C1	LED 18 W	1302	93,74	33747,84	3169,69	16,40
	LED 6 W	5208	124,99	44997,12	4226,25	21,87
	INC 100 W	1429	571,60	205776,00	19327,03	100,00
C2	LED 18 W	2500	180,00	64800,00	6086,19	31,49
	LED 6 W	6250	150,00	54000,00	5071,82	26,24
	INC 100 W	1429	571,60	205776,00	19327,03	100,00

L ha<sup>-1</sup> – lâmpadas ha<sup>-1</sup>; CE – consumo de energia elétrica; LED – lâmpada LED (630 nm); INC – lâmpada incandescente. \* Uso diário de 4 horas ao longo de 365 dias (1 ano).

**Tabela 5.** Índices econômicos da substituição do sistema de iluminação com lâmpadas incandescentes por lâmpadas LEDs em 1 hectare de cultivo de crisântemo das variedades Sunny Reagan e Rage

Cenários	Lâmpadas	VPL	TIR	RBC	Payback
		US\$	%		mês
C1	LED 18 W	62399,07	70,71	3,72	17,67
	LED 6 W	46269,26	42,01	2,11	26,95
C2	LED 18 W	24934,88	22,11	1,55	39,01
	LED 6 W	34895,63	29,88	1,86	33,66

VPL – Valor presente líquido; TIR – Taxa interna de retorno; RBC – Razão benefício-custo; Payback – período para retorno do investimento inicial. LED – lâmpada LED (630 nm); INC – lâmpada incandescente. Índices econômicos gerados ao longo de 6 anos de planejamento.

#### 4. DISCUSSÃO

A iluminação artificial é um manejo comum na produção de plantas hortícolas e ornamentais e tem como objetivo controlar o crescimento e desenvolvimento das plantas (Cao et al., 2018; Wei et al., 2019). A luz vermelha é o comprimento de onda mais eficiente na promoção do controle do fotoperíodo em plantas de dias curtos como

o crisântemo, assim, lâmpadas que emitem esse comprimento de onda específico são uma melhor opção para o manejo de iluminação (Craig e Runkle, 2013).

O maior custo de implantação dos sistemas de iluminação com lâmpadas LEDs foi devido ao maior custo unitário, e a maior quantidade de lâmpadas por área associada ao espaçamento necessário para manter a intensidade luminosa mínima para o controle do florescimento das plantas de crisântemo. A intensidade luminosa incidente sobre um objeto depende da distância da fonte de luz e do ângulo de projeção (Spunei et al., 2018). O dispositivo LED 18 e a lâmpada LED 6 W possuem menor ângulo de projeção de luz que as lâmpadas incandescentes (90°, 30° e 360°, respectivamente) (Tabela 1). Portanto, quanto menor for a intensidade luminosa necessária para o controle do florescimento e maior projeção de luz da lâmpada, maior será o espaçamento entre lâmpadas. Ademais, lâmpadas LED são mais caras devido ao custo tecnológico (Rosa et al., 2017; Montoya et al., 2017; Enongene et al., 2017). O dispositivo LED 18 W é mais cara que a lâmpada LED 6 W por ser um protótipo com produção artesanal, gerando altos custo, no entanto, em escala comercial esse custo pode reduzir.

O menor consumo de energia elétrica com os sistemas de iluminação com o dispositivo LED 18 e a lâmpada LED 6 W se deve a maior eficiência energética do LED (Zhang et al., 2017; Tapia-Tlatelpa et al., 2020). Lâmpadas LEDs convertem em média 90 % da energia elétrica consumida em energia luminosa, em contrapartida, mais de 95 % da energia elétrica consumida pelas lâmpadas incandescentes é perdida na forma de calor (Cheng e Cheng, 2006; Montoya et al., 2017). Assim, redução do custo de energia depende do desenvolvimento de lâmpadas mais eficientes (Jordan e Tavares, 2005). O sistema de iluminação com lâmpadas LED em casa de vegetação economiza aproximadamente 82,6 % e 54,2 % o consumo de energia quando comparado a lâmpada fluorescente e incandescente, respectivamente (He et al., 2018). O consumo total de kWh por área depende da potência e do número de lâmpadas utilizadas (Kralikova et al., 2015; Li et al., 2016). Portanto, o menor consumo anual de energia elétrica no cenário 1 com o dispositivo LED 18 W foi devido ao efeito compensatório do menor número de lâmpadas por hectare sobre o consumo total de kWh do sistema de iluminação. Contudo, esse efeito compensatório não foi suficiente para favorecer o sistema de iluminação com o dispositivo LED 18 W sobre a lâmpada LED 6 W no cenário 2.

Os valores dos índices econômicos indicaram que o investimento é economicamente atrativo e lucrativo, pois tiveram VPL positivo, TIR maior que a taxa Selic, RBC maior que 1, e payback menor que o período de planejamento (Lopes e Steidle Neto, 2017, Santana et al., 2019). Confirmando que a substituição do sistema de iluminação com lâmpadas incandescente pelo dispositivo LED 18 ou lâmpada LED 6 W gera maior economia de energia (Zhang et al., 2017). Em ambos cenários 1 e 2, o sistema de iluminação com maior rendimento e viabilidade foram os que tiveram menor consumo de energia elétrica anual (18 e 6 W, respectivamente), pois geraram maior VPL e menor payback (Lopes e Steidle Neto, 2017).

## 5. CONCLUSÕES

A substituição do tradicional sistema de iluminação com lâmpadas incandescentes pelo dispositivo LED 18 ou lâmpada LED 6 W é economicamente viável e atrativa. O custo de implantação da nova tecnologia é pago pela economia de energia em 39 meses, no cenário menos favorável. O dispositivo LED 18 W e a lâmpada LED 6 W são mais rentáveis na produção de crisântemo das variedades Sunny Reagan e Rage, respectivamente.

## 6. REFERÊNCIAS

- ATHAYDE, S., MATHEWS, M., BOHLMAN, S., BRASIL, W., DORIA, C. R. C., DUTKA-GIANELLI, J., FEARNSIDE, P. M., LOISELLE, B., MARQUES, E. E., MELIS, T. S., MILLIKAN, B., MORETTO, E. M., OLIVER-SMITH, A., ROSSETE, A., VACCA, R., KAPLAN, D. 2019. Mapping research on hydropower and sustainability in the Brazilian Amazon: Advances, gaps in knowledge and future directions. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 37: 50–69. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.06.004>.
- BARBOSA, J. G., GROSSI, J. A. S., BORÉM, A. 2019. *Crisântemo: do plantio à colheita*. Editora UFV, Viçosa-Brasil. 136 p.
- BAMBARA, J., ATHIENITIS, A. K. 2019. Energy and economic analysis for the design of greenhouses with semi-transparent photovoltaic cladding. *Renewable Energy*, 131, 1274 –1287. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.020>.

- BANCO CENTRAL DO BRASIL – BCB. 2020. Cotações e boletins. Disponível em: <<https://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpeq.asp?frame=1>>. Acesso em: 13 julho. 2020.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL – BCB. 2019. Dados diários. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/htms/SELIC/SELICdiarios.asp?frame=1>>. Acesso em: 13 julho. 2020.
- BANCO DO BRASIL – BB. 2019. Perspectivas 2020+21: entusiasmo não é páreo para preparação. Disponível em: <<https://www.bb.com.br/docs/portal/uci/TopBB2020.pdf>>. Acessado em: 14 julho. 2020.
- BENKE, K., TOMKINS, B. 2017. Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13(1), 13–26. <https://doi.org/10.1080/15487733.2017.1394054>.
- BORGES, A. C. P., SILVA, M. S., ALVES, C. T., TORRES, E. A. 2016. Energias Renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de energia. *Rede - Revista Eletrônica do Prodema*, 10(2), 23–36. <https://doi.org/10.22411/rede2016.1002.02>.
- CAO, K., YAN, F., XU, D., AI, K., YU, J., BAO, E., ZOU, Z. 2018. Phytochrome B1-dependent control of *SP5G* transcription is the basis of the night break and red to far-red light ratio effects in tomato flowering. *BMC Plant Biology*, 18(1), 158. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1380-8>
- CASAROTTO FILHO, N; KOPITTKE, B. H. 2010. Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 11. ed. São Paulo: Atlas.
- CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. 2020. Valores de tarifas e serviços. Disponível em: <[http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores\\_de\\_tarifa\\_e\\_servicos.aspx](http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx)>. Acesso em: 13 julho. 2020.
- CHENG, Y. K., CHENG, K. W. E. 2006. General study for using LED to replace traditional lighting devices. 2nd International Conference on Power Electronics Systems and Applications, 173–177. <https://doi.org/10.1109/PESA.2006.343093>.
- CRAIG, D. S., RUNKLE, E. S. 2013. A moderate to high red to far-red light ratio from light-emitting diodes controls flowering of short-day plants. *Journal of the*

- American Society for Horticultural Science, 138(3), 167–172.  
<https://doi.org/10.21273/JASHS.138.3.167>
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. 2009. Commission Regulation EC No 244/2009; implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps. Official Journal of the European Union, L76, 3e16.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. 2020. Matriz energética nacional 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/>. Acesso em: 20 de jun. 2020.
- FOSSATI, M., SCALCO, V. A., LINCZUK, V. C. C., LAMBERTS, R. 2016. Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 1216–1231. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.048>.
- ENONGENE, K. E., MURRAY, P., HOLLAND, J., ABANDA, F. H. 2017. Energy savings and economic benefits of transition towards efficient lighting in residential buildings in Cameroon. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 731–742. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.068>
- GOMÉZ, C., IZZO, L. G. 2018. Increasing efficiency of crop production with LEDs. *AIMS Agriculture and Food*, 3(2), 135–153. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2018.2.135>.
- GUPTA, S. D., AGARWAL, A. 2017. Light emitting diodes for Agriculture. Singapore: Springer. pp. 273–303. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5807-3>.
- HE, F., ZENG, L., LI, D., REN, Z. 2019. Study of LED array fill light based on parallel particle swarm optimization in greenhouse planting. *Information Processing in Agriculture*, 6(1), 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.08.006>
- INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - INEE. 2019. O que é eficiência energética? Por que se desperdiça energia?. Disponível em: <[www.inee.org.br/eficiencia\\_o\\_que\\_eh.asp?Cat=eficiencia](http://www.inee.org.br/eficiencia_o_que_eh.asp?Cat=eficiencia)>. Acesso em: 16 de ago. 2019.
- JOHNSON, B. 2012. Lamp drivers enable future residential LED lighting. Disponível em: <[http://www.fairchildsemi.com/collateral/technical-articles/AEP2437\\_Eng\\_Elec\\_Prods.pdf](http://www.fairchildsemi.com/collateral/technical-articles/AEP2437_Eng_Elec_Prods.pdf)>. Acesso em: 10 maio. 2019.

- KRALIKOVA, R., ANDREJIOVA, M., WESSELY, E. 2015. Energy saving techniques and strategies for illumination in industry. *Procedia Engineering*, 100, 187–195. <https://10.1016/j.proeng.2015.01.357>
- LI, J., BIN, H., LIN, J., CHEN, F., MIAO, X. 2016. Effects of light-emitting diodes under capped daily energy consumption with combinations of electric power and photoperiod on cultivation of *Chlorella pyrenoidosa*. *Bioresource Technology*, 205, 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.041>
- LOPES, D. C., NETO, A. J. S. 2017. Preliminary economic study of biodiesel production from pequi in Brazil. *Open Access Journal of Science*, 1(5): 139–143. <https://doi.org/10.15406/oajs.2017.01.00027>.
- MARQUEZAN, L. H. F. 2006. Análise de investimentos. Vol. 3. Vir Electro Engineering Pvt. Ltd., Maharashtra, India, pp. 1–10.
- MASSA, G. D., KIM, H. H., WHEELER, R. M., MITCHELL, C. A. 2008. Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience*, 43(7), 1951–1956. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951>.
- MILANEZ, A. M. 2017. Luz intermitente de lâmpadas de diodo emissor de luz" LED" no controle do florescimento em crisântemo (*Dendranthema grandiflorum* T.). Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 58p.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. 2010. Portaria Interministerial nº 1.007, de 31 de dezembro de 2010 - Regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energéticas de lâmpadas incandescentes. 2011. nº 4 - Diário Oficial da União.
- MONTOYA, F. G., PEÑA-GARCÍA, A., JUAIDI, A., MANZANO-AGUGLIARO, F. 2017. Indoor lighting techniques: An overview of evolution and new trends for energy saving. *Energy and Buildings*, 140, 50–60. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.028>.
- MUGABI, R., DRISCOLL, R. 2016. Study of maize drying in Uganda using an in-store dryer weather data simulation software. *International Journal of Food Processing Technology*, 3(1), 18–26.
- ROSA, C. D., GARCIA, R. G., COSTA, J. D., NÄÄS, I. D. A., LIMA, N. D. S. 2017. Economic analysis of the implementation of an LED lighting system in a dark house: A case study. *Custol e Agronegocio*, 13, 1–19.

- RUNKLE, E. S., PADHYE, S. R., OH, W., GETTER, K. 2012. Replacing incandescent lamps with compact fluorescent lamps may delay flowering. *Scientia Horticulturae*, 143, 56–61. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.05.028>.
- SANTANA, P. A., DE CARVALHO LOPES, D., NETO, A. J. S. 2019. Economic analysis of low-temperature grain drying. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 31(12), 930–936. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i12.2040>
- SANTOS, R. E., PINTO-COELHO, R. M., DRUMOND, M. A. FONSECA, R. ZANCHI, F. B. 2020. Damming Amazon rivers: environmental impacts of hydroelectric dams on Brazil's Madeira river according to local fishers' perception. *Ambio* (2020). <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01316-w>.
- TAPIA-TLATELPA, T., BUSCIO, V., TRULL, J., SALA, V. 2020. Performance analysis and methodology for replacing conventional lamps by optimized LED arrays for photocatalytic processes. *Chemical Engineering Research and Design*, 156, 456–468. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.02.023>
- VALENTE, D. S., QUEIROZ, D. M. D., CORRÊA, P. C., SILVA, L. C. D., DO VALE, S. M. 2011. A decision support system for cost determination in grain storage facility operations. *Engenharia Agrícola*, 31(4), 735–744.
- WEI, H., ZHAO, J., HU, J., JEONG, B. R. 2019. Effect of supplementary light intensity on quality of grafted tomato seedlings and expression of two photosynthetic genes and proteins. *Agronomy*, 9(6), 339. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060339>
- WORLD ENERGY COUNCIL – WEC. 2010. *Energy and Urban Innovation*. United Kingdom. Disponível em: <https://www.worldenergy.org/>. Acesso em: 5 jun. 2019.
- ZHANG, H., BURR, J., ZHAO, F. 2017. A comparative life cycle assessment (LCA) of lighting technologies for greenhouse crop production. *Journal of Cleaner Production*, 140(2), 705–713. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.014>

## CONCLUSÕES GERAIS

LED vermelho 18 W de baixa intensidade ( $1,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em noite interrompida é eficiente na produção de estacas enraizadas de crisântemo da variedade “Rage” (planta em vaso) e “Sunny Reagan” (flor de corte). A luz monocromática vermelha aumenta o número de folhas, comprimento do caule, área foliar, peso seco do caule e das folhas. Porém, o número, comprimento e peso seco das raízes não foram afetadas pela qualidade da luz, assim como os pigmentos fotossintéticos C<sub>lr</sub>A e C<sub>lr</sub>B.

A promoção de dias longos com a interrupção da noite por 4 h sob diferentes fonte de luz (LED vermelho 18 W e 6 W, e incandescente 100 W) e intensidade luminosa de  $0,23 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  são eficientes em inibir o florescimento em crisântemo variedade “Sunny Reagan”, permitindo as hastes florais atingissem comprimento adequado à comercialização. O fator qualidade luminosa não é suficiente para alterar os padrões de crescimento e trocas gasosas das plantas de crisântemo, sugerindo que a intensidade luminosa e duração da iluminação noturna são fatores limitantes nas alterações fisiológicas.

Os diferentes tipos de lâmpadas utilizados durante os dias longos foram eficientes em inibir o florescimento das plantas de crisântemo, permitindo que as hastes florais atingissem comprimento adequada à comercialização, sem diferenças entre os tratamentos

A substituição de sistema de iluminação com lâmpadas incandescentes 100 W por lâmpadas LED vermelho 18 ou 6 W embora com custo de implantação alto é economicamente viável e atrativo, tendo payback (retorno de capital do investimento inicial) em menos de 39 meses apenas com a economia de energia.

O protótipo de lâmpada de LED (LED vermelho 18 W) desenvolvido pelo Departamento de Agronomia é uma tecnologia eficaz na promoção de iluminação artificial nos sistemas de cultivo do crisântemo, gerando estacas enraizadas, hastes florais e plantas em vasos de qualidade com redução dos gastos com energia e consequentemente custo de produção.