Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Suplementação luminosa na fisiologia, na produtividade e qualidade de estacas de Impatiens

Márcia Maria Rabelo Guimarães Kobori

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2020

Márcia Maria Rabelo Guimarães Kobori
Engenheira Agrônoma

Suplementação luminosa na fisiologia, na produtividade e qualidade de estacas de Impatiens

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientadora:
Profa. Dra. **SIMONE DA COSTA MELLO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Kobori, Márcia Maria Rabelo Guimarães

Suplementação luminosa na fisiologia, na produtividade e qualidade de estacas de Impatiens / Márcia Maria Rabelo Guimarães Kobori. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2020.

86 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Ambiente protegido 2. Sunpatiens 3. Plantas matrizes 4. LED I. Título

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais Pedro e Cândida pelo exemplo,

aos meus filhos Murilo e Guilherme pelo nosso convívio harmonioso e

ao meu esposo Rômulo pelas nossas bodas de prata.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela dádiva da vida, pela minha saúde, prosperidade e por iluminar sempre o meu caminho.

Ao meu pai, Pedro Machado Guimarães, que ascendeu para outra dimensão, tão repentinamente, em 29 de agosto de 2019, minha grande admiração. À minha mãe Cândida Rabelo Guimarães (Doquinha) pela minha formação.

Aos meu irmãos Romeu, Gilmar, Vera, Paulo e Fausto e seus familiares por cuidarem tão bem de minha mãe e pela forte ligação que temos, apesar da grande distância física que nos separa, obrigada pelas vibrações positivas e pela torcida.

Aos meus filhos Murilo e Guilherme e ao meu marido Romulo por suportarem minha ausência em muitos momentos neste período de minha intensa dedicação e foco ao meu curso de doutorado e ao meu trabalho.

À minha orientadora, Simone da Costa Mello, por toda sua dedicação, tantos ensinamentos e pela amizade.

Ao Engenheiro Agrônomo, Olimar Nunes do Amaral, sócio proprietário do Viveiro Bio Plugs em Atibaia SP, pela parceria para condução dos experimentos de minha tese. Agradecimentos extensivos a toda a sua equipe pela ajuda, pela dedicação, pela transmissão de tantos conhecimentos práticos e por terem me acolhido com tanto carinho.

À empresa Penzel, na pessoa de Lu Cheng, pela doação das lâmpadas LEDs e pelo apoio para realização dos experimentos.

Ao Prof. Dr. Marcelo Corrêa Alves pelas análises estatísticas dos dados e por tantas explicações tão detalhadas.

Ao Prof. Dr. Ângelo Pedro Jacomino e ao Prof. Dr. Ricardo Antunes de Azevedo pela disponibilização dos laboratórios de Pós-Colheita e de Genética para realização das análises e também aos técnicos responsáveis Marcus José Trevisan e Salete Gaziola por todo suporte.

Ao doutorando Deyvid pelos ensinamentos para as análises bioquímicas do Laboratório de Genética, aos pós-graduandos Alan, Bruna Isadora e Natália do Laboratório de Fisiologia e Bioquímica Pós-Colheita do Prof. Dr. Ricardo Alfredo Kluge e também aos mestrandos Fernanda Ferreira Pazin e Rolando Caballero do Laboratório Pós-Colheita pelos ensinamentos para análise dos pigmentos.

À minha amiga da pós graduação Rachel Tonhati pela ajuda em tantos momentos, especialmente na confecção de gráficos, nos ensinamentos para uso do medidor de área foliar, informações sobre uso N líquido, entrega de documentos e na preparação da apresentação oral da qualificação.

Aos colegas do Gepol (Grupo de Estudos e Práticas e Olericultura) Gustavo Quesada, Alessandro Sabino, Fernando, Vivyan Justi, Antônio Neto e Rafael Gómez por toda ajuda, ideias e apoio em muitos momentos. D e forma especial agradeço ao Fernando pela parceria na contagem dos tricomas e estômatos e ao Rafael pela análise estatística.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) pela oportunidade de realizar o curso de doutorado e a todos os professores pela transmissão do conhecimento e o apoio que recebi dos funcionários, especialmente agradeço a Beth do Departamento de Fitotecnia.

Aos funcionários da Biblioteca, de forma especial a Sílvia pelo pronto atendimento após submissão da tese e as funcionárias da Seção de Pós-Graduação Luciane e Ângela por toda atenção.

Aos membros das bancas de minha qualificação e defesa pelas correções e sugestões de melhoria tão valiosas.

Ao CNPQ, pelo auxílio financeiro com a concessão da bolsa de estudos para realização desta pesquisa.

À Gisele, doutoranda da UNESP Rio Claro, pelas aferições com o Irga e ao seu Orientador Dr. Gustavo Habernann pela permissão do uso.

Ao Prof. Dr. Paulo César Sentelhas pelo empréstimo de uma das estações meteorológicas, ao Prof. Dr. Gustavo Beruski pela montagem e programação da mesma e também a Doutoranda Silvane pela ajuda para baixar os dados.

À Eng. Agrônoma Dra. Nilce Kobori pela revisão do Abstract, agradeço a disponibilidade, a dedicação e a prontidão em me ajudar.

Aos Professores da UNESP Botucatu Dr. Norberto da Silva e à Dra. Rumy Goto pela amizade e pelo envio da carta de recomendação.

Ao Departamento de Suporte Técnico da Sakata pela análise clínica das plantas do meu experimento, empréstimo do furador bolhas e pelos dados climáticos externos.

As minhas amigas de Atibaia Laura e Valquíria e seus familiares por entenderem meu afastamento ao longo desta jornada de 3 anos e 8 meses.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste projeto, muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO **8**

ABSTRACT **9**

LISTA DE FIGURAS **10**

LISTA DE TABELAS **11**

1. INTRODUÇÃO **13**

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **17**

2.1. LED E SUA IMPORTÂNCIA NA PRODUÇÃO DE PLANTAS 17
2.2. LED NA FLORICULTURA 20
2.2.1. Na suplementação luminosa 20
2.2.2. No aumento do fotoperíodo 21
2.2.3. Na produção de Impatiens 22

3. MATERIAL E MÉTODOS **27**

3.1. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL 27
3.2. MICROCLIMA DA ESTUFA AGRÍCOLA 27
3.3. MATERIAIS GENÉTICOS 28
3.4. TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 29
3.8. AVALIAÇÃO DAS MUDAS EM BANDEJAS 37
3.9. PARÂMETROS BIOMÉTRICOS 37
3.10. PARÂMETROS FOTOSSINTÉTICOS 38
3.11. ANÁLISES BIOQUÍMICAS 39
3.11.1. Extração de proteínas solúveis 40
3.11.2. Quantificação de proteínas solúveis 40
3.11.3. Catalase – CAT (EC 1.11.1.6) 40
3.11.4. Ascorbato peroxidase – APX (EC 1.11.1.11) 41
3.11.5. Superóxido dismutase – SOD (EC 1.15.1.1) 41
3.11.6. Peroxidação lipídica - MDA 41
3.11.7. Conteúdo de peróxido de hidrogênio 42
3.12. ANÁLISES DOS PIGMENTOS 42
3.12.1. Determinação de clorofilas e carotenoides totais 42
3.12.2. Quantificação de antocianina e quercetina 42
3.13. CARACTERÍSTICA ANATÔMICA - TRICOMAS 43
3.14. ANÁLISE ESTATÍSTICA 44

4. RESULTADOS **45**

4.1. ESTACAS 45
4.2. PLANTAS MATRIZES 50
4.3. MUDAS 54

5. DISCUSSÃO **57**

5.1. ESTACAS 57
5.1.1. Parâmetros biométricos 57
5.2. PLANTAS MATRIZES 59
5.2.1. Parâmetros biométricos 59
5.2.2. Parâmetros fotossintéticos 60
5.2.3. Pigmentos 61
5.2.3.1. Antocianinas 61
5.2.3.2. Clorofila a, b e Carotenoides 62
5.2.3.3. Quercetina 63
5.2.4. Enzimas antioxidantes e indicadores de estresse 64
5.2.5. Característica anatômica - Tricomas 66
5.3. MUDAS 67
5.3.1. Parâmetros biométricos 67

6. CONCLUSÕES **71**

REFERÊNCIAS **72**

RESUMO

Suplementação luminosa na fisiologia, na produtividade e qualidade de estacas de Impatiens

A produtividade de muitas espécies de flores e plantas ornamentais diminui de forma acentuada nas épocas de outono e inverno em função da diminuição da incidência da radiação solar e da temperatura do ar. O objetivo deste estudo foi verificar a resposta de dois cultivares de *Impatiens hybrid hort* (Sunpatiens Compact Royal Magenta e Sunpatiens Compact White) à suplementação luminosa com o uso de luz LED (diodo emissor de luz) em diferentes proporções de vermelho e azul (83:17; 75:25; 67:33 e 50:25:25). A condução das plantas foi feita num viveiro em Atibaia – SP, sob estufa agrícola do tipo arco metálico, com a cobertura com filme difusor e telas de sombreamento instaladas internamente. A temperatura noturna do ar foi mantida por volta de 21ºC, usando aquecedor quando necessário e a temperatura diurna do ar foi controlada em torno de 28ºC. As plantas matrizes foram cultivadas em caixas plásticas (36 cm de largura x 56 cm de comprimento x 14 cm de altura) sobre bancadas metálicas. A capacidade de cada caixa era de 12 mudas de Impatiens, no espaçamento 12 x 14 cm, preenchidas com um substrato composto pela mistura de 50% vermiculita e 50% perlita. As lâmpadas foram dispostas a 1,0 m da base das plantas, emitindo radiação com intensidade de 150 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$, com um pico de comprimento de onda no azul de 460-470 nm e dois picos no vermelho 620-630 nm e 640-660 nm. A suplementação luminosa foi iniciada no mês de fevereiro de 2018, no dia do transplante das mudas, e foi mantida por um período de 7 meses, até ao final do experimento, num total diário de 12 horas de luz artificial (6h – 18h). Foram avaliadas a produtividade e a qualidade tanto das plantas matrizes, como também das estacas coletadas destas plantas e o enraizamento das estacas em bandejas, por meio de características biométricas, da atividade fotossintética, da contagem dos tricomas, de análises bioquímicas de pigmentos, de enzimas antioxidantes e de indicadores de estresse. Foi observado que a resposta das plantas matrizes de *Impatiens* variou em função da época de cultivo, sendo que aos 202 DAT (dias após transplante), na época do inverno, o conjunto de LED composto por 83R:17B aumentou o número de estacas por planta em 35,4% comparando-se com o controle. O comportamento do cultivar Royal Magenta, que apresenta folhas avermelhadas diferiu do cultivar White, que apresenta folhas verdes quanto à resposta ao uso de iluminação artificial, principalmente pela maior concentração de antocianina no cultivar Royal Magenta. O efeito da iluminação durante a produção de estacas prolongou-se na fase final de produção de mudas, num período de três semanas, pela maior compactação das mudas proveniente do tratamento 83R:17B no cultivar White. A suplementação luminosa nas diferentes proporções espectrais não causou estresse oxidativo das plantas matrizes de Impatiens, mantendo sua qualidade.

Palavras-chave: Estufa agrícola, Sunpatiens, Plantas matrizes, LED

ABSTRACT

Impatiens cuttings in the physiology, yield and quality with supplemental light

The yield of the many ornamental species decreases sharply in the fall and winter seasons due to the decrease in solar radiation and temperature. The goal of this study was to verify the response of two *Impatiens hybrid hort* cultivars Sunpatiens Compact Royal Magenta and Sunpatiens Compact White to supplemental light with the use of LEDs (light emitting diodes) light in differents proportions of red and blue (83:17; 75:25; 67:33 and 50:25:25). Plants were grown at nursery greenhouse in Atibaia – SP, with diffuser film in the coverage and shade screens installed internally in the greenhouse. The night air temperature was controlled at 21ºC, using a heater when necessary and the daytime temperature was controlled around 28ºC. The mothers plants were grown in plastic boxes (36 cm wide x 56 cm long x 14 cm height) on metal benches. The capacity of each box was 12 plugs, spaced 12 x 14 cm and filled with a media composed of 50% vermiculite and 50% perlite. Lights were placed at 1,0 m distance from the plants base, emitting radiation with intensity of 150 µmol m^{-2} s^{-1} with wavelength peak in the blue 460-470 nm and two red peaks 620-630 nm and 640-660 nm. The supplemental light began on February at 2018 in the plugs transplant day and was maintained for seven months until end of the experiment, with 12 hours of artificial light (6:00 am – 6:00 pm). The yield and quality of both mother plants, as well as of the cuttings collected from these plants and the cuttings rooting in trays were evaluated by biometrics characteristics, pigments biochemical analysis, antioxydants enzymes, stress indicators, photosynthetic activity and trichomes counting. It was observed that the Impatiens response varied according to the growing season. In the winter season, 202 DAT (days after transplant), the LED array 83R: 17B increased the number of cuttings per plant in 35.4% compared to the control. The performance of Royal Magenta cultivar, which has reddish leaves, differed from the cultivar White, which has green leaves in response to the use of artificial lighting, mainly due to the higher concentration of anthocyanin of the cultivar Royal Magenta. The illumination effect during the cuttings production continued in the final phase of the plugs production, in a three-week period due to more compact to plug production from 83R:17B treatment with the White cultivar. The light supplemention in different spectral proportions did not cause oxidative stress of the Impatiens mothers plants, maintaining its quality.

Keywords: Greenhouse, Sunpatiens, Mothers plants, LED

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Temperatura mínima (T mín), temperatura máxima (T máx) em ºC, % umidade relativa do ar (URar) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA/PAR) em mol m^{-2} dia^{-1}, registradas durante a condução do experimento (DAT = dias após transplante) 28
Figura 2 - Sunpatiens Compact Royal Magenta (esq.) e Sunpatiens Compact White (dir.) 29
Figura 3 - Lâmpadas LED (%) 83:17 (A), 75:25 (B), 67:33 (C) e 50:25:25 (D) 29
Figura 4 - Croqui da área experimental 29
Figura 5 - Fase inicial e final do ensaio, mostrando o foco da radiação 30
Figura 6 - Transplante manual das mudas das plantas matrizes 30
Figura 7 - Vista geral do ensaio, mostrando a proteção contra umidade das lâmpadas e uma das telas de sombreamento 31
Figura 8 - Vista geral das estufas agrícolas em Atibaia - SP, mostrando o local de produção das plantas elite, das plantas matrizes e das mudas em bandejas 32
Figura 9 - Etapas da produção de plantas de Impatiens 32
Figura 10 - Distribuição do substrato, os furos e a colocação das fitas gotejadoras nas caixas plásticas 33
Figura 11 - Vista detalhada das plantas matrizes do cv. Royal Magenta, mostrando o espaçamento e altura das plantas 33
A fertirrigação foi realizada por gotejamento, na mesma frequência da irrigação, utilizando-se uma solução com condutividade elétrica de 0,8 dS/m. Os fertilizantes aplicados para 1.000 L de água foram: 405 g de nitrato de cálcio (15,5N 19Ca), 15 g de fosfato monopotássico - MKP (52P 34K), 202,5 g de nitrato de potássio (13N 36,5K), 205 g de sulfato de magnésio (9Mg 11SO4) e Brexil Top (2B 5Mn 0,5Mo 6,0Zn 10S 1,5Mg). 33
Figura 12 - Mini estação meteorológica 34
Figura 13 - Coleta e acondicionamento das estacas do cv. Royal Magenta em pano úmido para evitar desidratação 35
Figura 14 - Estacas padrões do cv. Royal Magenta (4 folhas abertas e 3-4 cm de comprimento) 35
Figura 15 – Colocação das estacas do cv. White em bandejas com substrato para enraizamento 36
Figura 16 - Enraizamento das estacas em bandejas e mudas prontas para transplante (dir. cv. Royal Magenta) 36
Figura 17 - Mudas enraizadas em bandejas, antes da lavagem das raízes do cv. Royal Magenta (esq.) e após lavagem do cv. White (dir.) 37
Figura 18 - Preparação e acondicionamento das estacas do cv. White para transporte a ESALQ 38
Figura 19 - Medição dos parâmetros fotossintéticos com o IRGA 39
Figura 20 - Transporte das folhas em sacos plásticos no N líquido 39
Figura 21 - Preparação e leitura no espectrofotômetro 40
Figura 22 - Preparo para determinação de antocianina e quercetina no cv. White (dir.) e cv. Royal Magenta (esq.) 43
Figura 23 - Plantas matrizes do cv. White, antes e após lavagem de raízes 52
Figura 24 - Plantas matrizes do cv. Royal Magenta, após lavagem das raízes, controle (dir.) e 67R:33B (esq.) 52
Figura 25 - Plantas matrizes do cv. Royal Magenta, mostrando as folhas retiradas dos caules no tratamento 75R:25B 52
Figura 26 - Contagem do número de tricomas cv. Royal Magenta (esquerda: 67R:33B, direita: controle) 53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de estacas por planta aos 27, 54, 83, 139 e 202 DAT e número total de estacas por planta (NT), sob influência de iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens ... 45
Tabela 2 - Número de estacas por planta, sob influência da interação entre iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens aos 27, 54 e 83 DAT ... 46
Tabela 3 - Comprimento (Comp.), número de folhas (NF), área foliar (AF), massa seca (MS) e diâmetro do caule (DC) das estacas coletadas das plantas matrizes, aos 202 DAT, sob influência de iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens ... 47
Tabela 4 - Número de folhas (NF) das estacas coletadas das plantas matrizes, aos 202 DAT, sob influência da interação entre iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens ... 47
Tabela 5 - Taxa de fotossíntese líquida, condutância estomática, concentração interna de carbono, taxa de transpiração, eficiência do uso da água sob influência de iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens ... 48
Tabela 6 - Taxa de fotossíntese líquida, concentração interna de carbono, taxa de transpiração, eficiência do uso da água sob influência da interação entre iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens ... 49
Tabela 7 - Atividade das enzimas antioxidantes catalase, superóxido dismutase e ascorbato peroxidase, quantidade de indicadores de estresse peróxido de hidrogênio e malonaldeído em folhas coletadas aos 131 DAT sob influência de iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens ... 49
Tabela 8 - Teores de clorofila e carotenoides (Clor a, Clor b e Carot. - mg/g de folha fresca), antocianina total e quercetina (Ant. e Querc. - mg/100g fração da amostra), sob influência de iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens ... 50
Tabela 9 - Concentração de quercetina (Querc. - mg/100g fração da amostra), sob influência da interação entre iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens ... 50
Tabela 10 - Altura, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, massa seca das folhas, dos caules, das raízes e número de caules das plantas matrizes, sob influência de iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens, no final do período de cultivo ... 51
Tabela 11 - Número de tricomas aos 250 DAT e espessura das folhas aos 111 DAT das plantas matrizes, sob influência de iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens ... 53
Tabela 12 - Espessura das folhas das plantas matrizes aos 111 DAT, sob influência da interação entre iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens ... 54

Tabela 13 - Altura, número de folhas, área foliar, massa seca parte aérea e massa seca da raiz das mudas produzidas à partir de estacas colhidas aos 77 DAT sob influência das cultivares de Sunpatiens e da iluminação artificial, usada anteriormente nas plantas matrizes..... 55
Tabela 14 - Altura das mudas produzidas à partir de estacas colhidas aos 77 DAT e avaliadas após 3 semanas em bandejas de 200 células, sob influência da interação entre cultivares de Sunpatiens e da iluminação artificial, usada anteriormente nas plantas matrizes..... 55

1. INTRODUÇÃO

O setor de flores e plantas ornamentais obteve faturamento no varejo de R$ 6,9 bilhões no ano de 2017, representando um crescimento de 6% em relação ao ano anterior, mostrando a sua importância na economia nacional (JUNQUEIRA; PEETZ, 2018). Este dado inclui os três segmentos deste mercado, que são as plantas de corte, de vaso e para paisagismo, que correspondem a 34, 24 e 42%, respectivamente. A área total plantada foi de 13.468 ha, sendo os principais polos de produção as regiões de Atibaia e Holambra, SP. O número de produtores de flores e plantas ornamentais no Brasil, no levantamento feito ano de 2016, foi de 7.800. O Estado de São Paulo foi responsável por 39% do faturamento, 48,9% da área e 28% do número de produtores (JUNQUEIRA; PEETZ, 2014, 2015, 2017).

O bom desempenho da cadeia de produção de flores e plantas ornamentais é, em grande parte, devido à incorporação constante de novas tecnologias (JUNQUEIRA; PEETZ, 2017), como o uso de iluminação artificial. Estima-se que as empresas de equipamentos de iluminação em flores faturaram aproximadamente R$ 6 milhões no Brasil (NEVES; PINTO, 2015).

Dentre as flores de destaque neste mercado crescente estão as pertencentes à espécie *Impatiens hybrida hort*, que tem diversificação de cores das flores e são conhecidas no mercado de paisagismo por Sunpatiens, por apresentarem tolerância às condições de pleno sol. A cadeia produtiva desta espécie se inicia com a formação e manutenção de plantas matrizes, com a produção de mudas em viveiros especializados, a partir de estacas adquiridas de empresas detentoras do material genético.

A intensidade e a qualidade da luz estão entre os principais fatores que afetam a produtividade e a qualidade das estacas. Esta cultura exige uma intensidade luminosa entre 296,3 a 407,4 µmol m^{-2} s^{-1}, desde o início do enraizamento em bandejas até o 10º dia. Após o surgimento das primeiras raízes até produção final de mudas este valor aumenta para uma faixa entre 592,6 a 703,7 µmol m^{-2} s^{-1} (SAKATA, 2015). Para Ugoletti et al. (2011), a taxa líquida de fotossíntese da espécie *Impatiens parviflora* foi bastante estável sob níveis de luz acima de 500 mmol m^{-2} s^{-1}. As recomendações de luz diária integral (DLI), que é a quantidade total de luz que a cultura recebe num períodod de 24 horas, são 12-24 mol m^{-2} d^{-1} para *Impatiens walleriana* (WEAVER; VAN IERSEL, 2018).

Quanto à qualidade da luz, os fótons entre 400 e 700 nm (radiação fotossinteticamente ativa) são eficientes no processo fotossintético, porém nem todos os fótons são igualmente eficazes na produção de fotoassimilados, com dois picos distintos, um no azul (400-500 nm) e

outro no vermelho (600-700 nm) (MCCREE, 1972). Desta forma, a variação na eficiência quântica relativa no espectro de luz pode afetar o acúmulo de biomassa.

A incidência da radiação solar na produção de estacas coletadas das plantas matrizes de *Impatiens hybrida hort* tem sido um fator limitante para o cultivo no outono/inverno, pois a redução da intensidade luminosa tem originado estacas com quantidade e qualidade reduzidas. Além disso, a elevada densidade de plantas (50 plantas/m^2), gera auto sombreamento, resultando em desuniformidade no porte delas em função da competição por luz. Estacas muito vigorosas exigem maior consumo de mão de obra com o corte de uma porção do caule e/ou folhas com o objetivo de padronizar o seu tamanho.

Para garantir maior produtividade de estacas padronizadas (3 a 4 cm, com 4 folhas abertas) por planta matriz, a iluminação artificial tem sido uma tecnologia utilizada por viveiristas de outros países, especialmente os de regiões temperadas. Dentre as fontes de iluminação artificial, a luz LED (*light-emitting diode*), que são diodos emissores de luz, podem emitir comprimentos de onda entre 250 a 1.000 nm ou mais, podendo selecionar espectros de interesse para o crescimento e desenvolvimento das plantas, incluindo o azul, o vermelho e o vermelho distante, com eficiência luminosa de 38% (vermelho) a 50% (azul), que é a conversão da energia luminosa em energia química, além de apresentar uma vida estimada de 50.000 horas de luz (BOURGET, 2008).

O interesse no uso de lâmpadas LED vem aumentando na produção comercial de plantas, mesmo que o conhecimento do seu uso como fonte de suplementação luminosa na propagação e produção de flores e plantas ornamentais ainda não esteja suficientemente claro, considerando as inúmeras espécies desse segmento (CURREY; LOPES, 2013a).

Em mudas de Impatiens da cultivar Super Elfin XP blue pearl (*Impatiens walleriana*) cultivadas em ambiente protegido com 185 µmol m^{-2} s^{-1} e 16 h de fotoperíodo, utilizando lâmpadas LED, nas proporções (%) 87:13 ou 70:30 de vermelho (664nm) e azul (446nm) resultou em maior índice de qualidade das mudas (RANDALL; LOPEZ, 2015) em comparação com luz ambiente ou com lâmpadas de alta pressão de sódio (HPS).

Wollaeger e Runkle (2014) verificaram menor altura de mudas de Impatiens (cultivar Super Elfin XP red), usando LED como iluminação artificial emitindo 160 µmol m^{-2} s^{-1} e 18 h de fotoperíodo, composta por 50% de lâmpadas azuis e 50% de lâmpadas vermelhas em relação ao tratamento usando somente luz vermelha. Estes dados mostram a importância das diferentes proporções entre as cores azul e vermelho para obter a altura desejável das mudas.

As pesquisas realizadas sobre o uso de iluminação artificial com lâmpadas LED, descritas anteriormente, foram feitas com espécies de Impatiens destinadas ao cultivo em

sombra ou meia sombra. Assim, não há estudos realizados com a *Impatiens hybrid hort*, que foram desenvolvidas para produção a pleno sol, como também pesquisas em plantas matrizes, elucidando se o efeito da iluminação prolonga em estágios fenológicos subsequentes, se a presença de pigmentos nas folhas altera a resposta nas plantas e por fim, se as plantas manifestarão algum tipo de estresse, alterando sua qualidade. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta de cultivares de Impatiens à suplementação luminosa com luz LED em diferentes proporções (%) de vermelho e azul, focando na produtividade e na qualidade de estacas coletadas de plantas matrizes ao longo de um período de 7 meses.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. LED e sua importância na produção de plantas

A tecnologia do diodo emissor de luz (LED) avançou rapidamente nos últimos anos e tem sido mais difundida em cultivos sob ambiente protegido. Os LEDs foram as primeiras fontes de luz com possibilidade do controle da composição espectral mais apropriado para melhorar o rendimento das culturas, o conteúdo fitoquímico, o valor nutricional, o controle da floração, o sucesso do transplante das mudas, a qualidade do produto na pré e pós-colheita e a produção de material de regeneração *in vitro* (BANTIS et al., 2018; MORROW, 2008). Sendo assim, o LED permite que os comprimentos de onda sejam adaptados aos fotorreceptores de plantas, com possibilidade de atingir a otimização do sistema, proporcionando melhora na eficiência fotossintética (MORROW, 2008).

A qualidade, a quantidade e a duração da luz são variáveis relevantes que afetam a performance das plantas. A quantidade ou intensidade de luz afeta a fotossíntese, que são as reações fotoquímicas que ocorrem dentro dos cloroplastos, presentes nas células das plantas. A duração da luz, denominada de fotoperíodo, é o número de horas de luz ao longo do dia, o qual afeta principalmente a época do florescimento de algumas espécies de plantas sensíveis, que pode ser controlada pela regulação do fotoperíodo. A qualidade da luz refere-se à distribuição espectral da radiação ou que porção da emissão corresponde a faixa do azul, do verde, do vermelho ou de outra região do espectro do visível ou invisível. A distribuição espectral da luz também tem um efeito no formato, desenvolvimento e florescimento da planta (fotomorfogênese) (NISHIO, 2000; MORROW, 2008; MITCHELL et al., 2012; KOZAI et al., 2016).

As plantas não absorvem todos os comprimentos de ondas da radiação solar, elas selecionam o comprimento de onda de acordo com seus requerimentos. A parte mais importante do espectro da radiação solar é 400 a 700 nm, a qual é conhecida como radiação fotossinteticamente ativa (RFA), que corresponde praticamente ao espectro visível do olho humano. Na faixa de luz visível entre 610 a 720 nm, que contém a banda do vermelho, uma grande quantidade de luz é absorvida pelas plantas, afetando fortemente o crescimento vegetativo, fotossíntese, florescimento e brotação. A faixa 400 a 520 nm contém as bandas violeta, azul e verde, que corresponde ao pico de absorção das clorofilas, tendo também uma forte influência no crescimento vegetativo e na fotossíntese. Clorofilas a e b são os pigmentos mais importantes para a fotossíntese, mas existem outros pigmentos, tais como: carotenoides,

zeaxantina, licopeno e luteína, etc, que participam da absorção de energia radiante (SAEBO et al., 1995; SENGER, 1982).

A luz vermelha (600-700 nm) geralmente leva a um ganho na massa seca, alongamento do caule e expansão da área foliar de muitas espécies de plantas, além de melhorar a eficiência fotossintética. O fitocromo é o fotorreceptor responsável pela absorção desses espectros. As plantas podem crescer e completar seu ciclo de vida apenas com luz LED vermelha, no entanto, o crescimento e o desenvolvimento das plantas melhoram significativamente quando é adicionado baixas proporções de luz azul. A luz vermelho-distante (710 - 850 nm) também exerce forte influência na fotomorfogênese (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A luz azul (400 - 500 nm) promove alterações no crescimento e desenvolvimento, que levam as plantas a se adaptar às mudanças nas condições ambientais. A absorção da luz azul pelas clorofilas promove um estado energético maior do que em relação à luz vermelha, devido à maior energia existente na luz azul. Essa energia de excitação das moléculas de clorofila pode ser utilizada na etapa fotoquímica da fotossíntese, ser perdida na forma de calor ou até mesmo gerar danos ao aparato fotossintético, como a formação de radicais livres (TAIZ; ZEIGER, 2013). Sendo assim, a quantidade de luz azul ou a quantidade ótima exigida pelas diferentes espécies de plantas é uma constante pergunta feita pelos pesquisadores. A luz azul é também importante para a síntese de clorofila, desenvolvimento de cloroplastos, abertura estomatal e fotomorfogênese (SAEBO et al., 1995; SENGER, 1982).

A absorção de energia dos comprimentos de onda na faixa do azul e do vermelho pelas folhas das plantas é de aproximadamente 90%, o que mostra a forte influência destes dois espectros luminosos sobre o desenvolvimento e a fisiologia das plantas (TERASHIMA et al., 2009).

A luz vermelha e azul são básicas nos espectros de iluminação para a maioria das culturas, sendo que, para algumas hortaliças como folhosas, tomate, pepino e pimentão, a luz vermelha distante foi importante para os processos fotomorfogênicos e também na promoção do crescimento. No entanto, composições espectrais, como verde ou amarelo, também mostraram efeitos fisiológicos significativos nessas plantas (OLLE; VIRSILÉ, 2013).

A luz verde (500 – 580 nm) foi por muito tempo desconsiderada no crescimento de plantas pelo fato dos pigmentos em sua maioria refletirem esse comprimento de onda, porém, alguns estudos utilizando LEDs vermelho e azul isolados ou em combinação verificaram que o crescimento das plantas era melhor no LED branco. A partir destes estudos, foi verificado que essa melhoria no crescimento estava relacionada à presença de espectro de luz verde no LED branco. Wang e Folta (2013) acrescentaram que o espectro verde pode penetrar mais

eficientemente nas folhas e aumentar a fixação de carbono, principalmente em ambientes sombreados. Kim et al. (2004) trabalhando com alface (*Lactuca sativa*), demostraram que as plantas cultivadas com luz vermelha, azul e no máximo 24% de luz verde, apresentaram maior massa seca e maior área foliar do que as cultivadas com 51% de incidência de luz verde, ou somente vermelho e azul.

As pesquisas com LED evidenciam que as plantas necessitam de amplo espectro luminoso para otimizar os processos fotossintéticos, e essa necessidade varia com a espécie vegetal. A luz LED branca (460 – 560 nm) apresenta em seu espectro uma maior proporção de luz azul e verde, uma menor proporção de ultravioleta (UV) e uma menor relação vermelho e vermelho distante em comparação às lâmpadas fluorescentes (FRASZCZAK et al., 2014).

Moe et al. (2005) ressaltaram que, para estabelecer uma produção bem sucedida ao longo do ano, é necessário levar em consideração que a alta taxa de fotossíntese, crescimento e desenvolvimento é baseada em uma interação muito complexa entre luz e vários outros fatores de crescimento como temperatura, umidade do ar e disponibilidade de CO_2 e de nutrientes. Neste contexto, Schroeter-Zakrzewska et al. (2014) afirmaram que é possível obter um maior número de plantas por unidade de área com o uso de iluminação artificial e, então reduzir os custos com aquecimento e investimento com expansão de área para cultivo de plantas em estufas agrícolas.

A capacidade da lâmpada LED focar a radiação próxima aos dosséis das plantas faz com que seja necessário menos energia para o fluxo de fótons atingir o alvo, comparando-se com outros tipos de lâmpadas que precisam ser instaladas a grandes distâncias das plantas, devido à alta emissão de calor.

Como o calor geral da LED é dissipado longe de onde emitem os feixes de luz, estas lâmpadas podem ser colocadas próximas às plantas sem superaquecê-las ou causar fitotoxidade (GOMÉZ; IZZO, 2018), sendo também possível alterar o espectro usando fitas adesivas específicas, que resistem ao calor, sem necessidade de trocar as luzes de LED, em função da mudança fisiológica da cultura, isto porque há diferenças entre espectros apropriadas para a fase de crescimento vegetativo e reprodutivo (VAN IERSEL; GIANINO, 2017).

Outra versatilidade da luz de LED é a possibilidade de uso da tecnologia *dimmer*, na qual é possível variar a quantidade de radiação emitida em função da necessidade da cultura ou das condições ambientais (VAN IERSEL; GIANINO, 2017). Isto é feito usando ciclos de ativação e desativação da luz LED ou através do controle da frequência. Este recurso ainda está sendo subutilizado, mas Pinho et al. (2012) fizeram um estudo usando este recurso de iluminação dinâmica, com o desenvolvimento de um sistema que fez uma compensação

automática da radiação solar, mantendo o mesmo fluxo de fótons que atingiu o dossel das plantas, onde se mantiveram sensores, e as LED eram ativadas apenas quando necessário.

2.2. LED na floricultura

2.2.1. Na suplementação luminosa

A luz artificial pode ser usada como suplementação luminosa para aumentar a produtividade, diminuir o ciclo e obter maior qualidade. Ouzounis et al. (2014) estudaram o efeito de lâmpadas LED, dispostas no topo de plantas de *Rosa*, fornecendo cerca de 200 µmol m^{-2} s^{-1} com 16 h de fotoperíodo. Foram testados quatro tratamentos com luz: Azul 40% / Vermelho 60%, Azul 20% / Vermelho 80%, Vermelho 100% e Branco 100% (Controle). A altura da planta foi menor no tratamento 40% azul / Vermelho 60%, enquanto a biomassa foi menor no controle. As folhas ficaram enrugadas e apresentaram outras anormalidades morfológicas no Vermelho 100%. O aumento da proporção entre azul e vermelho aumentou a condutância estomática, embora a fotossíntese líquida não tenha sido afetada. Com maior proporção de luz azul todos os ácidos fenólicos e flavonóides aumentaram.

Terfa et al. (2013) conduziram um estudo com *Rosa* × *hybrida* comparando lâmpadas LED (80% vermelho e 20% de azul) e lâmpadas de alta pressão de sódio (HPS, 5% de luz azul). Houve um forte efeito morfológico e no desenvolvimento das plantas em função das fontes de luz, mas não houve diferença na produção de matéria seca total (folhas + caules) e na floração (tempo para abertura da flor). As plantas cultivadas com HPS apresentaram área foliar e altura da planta maior, porém uma maior proporção de massa seca das folhas foi observado nas plantas sob LED. Com LED as plantas apresentaram um incremento na capacidade fotossintética de 20%, aumento nos níveis de carboidratos solúveis, maior condutância estomática, maior troca de CO_2, conteúdo mais elevado de clorofila total por área e maior relação clorofila a/b. A anatomia das folhas sob LED foi alterada, com maior número de células paliçádicas mais alongadas e uma maior quantidade de estômatos.

Bergstrand e Schussler (2013) observaram que a suplementação luminosa com LED composto por 88,9 % de luz vermelha e 11,1% de luz azul, na intensidade de 100 µmol m^{-2} s^{-1} por 16 horas, nas primeiras 5 semanas e, posteriormente, 8 horas de luz diária, teve alto impacto na qualidade das plantas de Petúnia durante a primavera, comparado com o cultivo no outono. As plantas de Petúnia ficaram estioladas quando cultivadas sem luz suplementar.

As plantas terrestres evoluíram sob um largo espectro proveniente da luz natural, muitas pesquisas já foram desenvolvidas para selecionar melhor espectro sob condições de laboratório,

situação onde praticamente não há incidência da luz natural. LEDs vermelhas podem ser utilizadas sozinhas ou combinadas com outros comprimentos de onda para suportarem um crescimento e desenvolvimento normal de plantas (BROWN et al., 1995). Foi observado aumento do crescimento e maior eficiência na regeneração de explantes de orquídea (*Oncidium spp*) cultivadas *in vitro* sob luz monocromática vermelha, sendo observado nas plântulas um aumento significativo da expansão foliar, do número de folhas e raízes, massa seca e conteúdo de clorofila (CHUNG et al., 2010).

Plantas de Lisianthus Voyage 2 pink (*Eustoma grandiflorum*) cultivadas in vitro e, posteriomente, mantidas em câmaras de crescimento com 85 a 125 µmol m^{-2} s^{-1} e 16 h fotoperíodo, sob LEDs azuis (420-550 nm) apresentaram folhas mais espessas, maior teor de clorofila, maior taxa fotosintética líquida, maior condutância estomática e taxa de transpiração do que aquelas cultivadas sob os LEDs vermelho (580-670 nm) e branco (420-750 nm). As folhas ficaram mais espessas devido à maior espessura da camada epidérmica abaxial e maior comprimento e largura das células palisádicas. Em resposta ao LED azul, as células palisádicas desenvolveram uma forma mais cilíndrica e também mostraram maior comprimento, largura e área das células guarda, e maior densidade estomática em relação ao LED branco e vermelho (RONI et al., 2017).

Para a espécie de orquídea *Vanilla planifolia*, a luz LED azul aumentou o alongamento da plântula *in vitro* (BELLO-BELLO et al. 2016), mas inibiu o crescimento de plântulas de crisântemo também *in vitro* (KURILČIK et al., 2008). Portanto, a influência da luz é específica da espécie.

2.2.2. No aumento do fotoperíodo

A produção de mudas de crisântemos são feitas por meio de estacas herbáceas apicais, retiradas de plantas matrizes, cultivadas ao longo do ano sob iluminação artificial. Durante o período de enraizamento das estacas (10-14 dias) e após o transplante no local definitivo (35-45 dias) é também usada iluminação artificial, com o objetivo principal de manter as gemas no estádio vegetativo. Neste caso, a intensidade luminosa recomendada é bem baixa (2,0 µmol m^{-2} s^{-1}), pois não tem o objetivo principal de promover o crescimento nem a fotossíntese, mas atuar sobre o controle fotoperiódico da planta. O fotoperíodo se baseia no número de horas de luz dentro de um ciclo de 24 h. O crisântemo é classificado como uma planta de dias curtos (PDC), sendo assim, o seu florescimento é evitado com a interrupção da noite usando iluminação artificial (BARBOSA et al., 2012). No geral, as cultivares de crisântemo exigem 16 horas de luz, e a diferença em relação ao número de horas de luz natural é dada por meio de luz

contínua ou por luz cíclica (pulsos/ciclos de 10 minutos de luz e 20 minutos de escuro) durante qualquer horário noturno até completar o fotoperíodo desejado.

MILANEZ et al. (2017) testaram LED vermelha em crisântemo de vaso cv. Rage e em Crisântemo de corte cv. Sunny Reagan com o objetivo de aumentar o fotoperíodo para quatorze horas. Os resultados demonstraram que o uso de luz LED na intensidade luminosa de 0,6 µmol m^{-2} s^{-1} foi viável, produzindo flores com padrão comercial e com menor consumo de energia elétrica em comparação com os controles sem iluminação suplementar (10 horas de luz) e com lâmpadas incandescentes de 100 W.

Kwon et al. (2013) fizeram um estudo com dois cultivares de crisântemo de corte ("Baekma" e "Jinba") utilizando LED vermelho (660 nm, 0,8-1,02 µmol m^{-2} s^{-1}), com 3, 4 e 5 h de interrupção da noite. Analisaram algumas caracteristicas biométricas como, o comprimento da haste floral, o diâmetro do caule e da flor e relataram que com apenas 3 h de iluminação obtiveram um produto comerciável, como também com luz fluorescente (1,39-1,59 µmol m^{-2} s^{-1}), que foi usada como controle.

Pesquisando alternativas para inibidores de crescimento em crisântemos, Shimizu et al. (2005) observaram que a utilização de LED azul (1,7 µmol m^{-2} s^{-1}) em comparação às lâmpadas fluorescentes (150 µmol m^{-2} s^{-1}), as quais possuem distribuição de luz espectral na faixa do visível (380 a 780 nm), promoveram a inibição do elongamento dos entrenós em 60%, podendo, assim, reduzir a aplicação de produtos químicos para diminuir o crescimento vegetal. A redução no porte pela luz azul continuou mesmo após a suspensão de seu fornecimento.

Gypsophila (*Gypsophyla paniculata*) são plantas de dias longos (PDL), com fotoperíodo mínimo de 13 a 14 horas para indução ao florescimento. É recomendado o uso de iluminação artificial, especialmente no outono/inverno, iniciando-se 3 a 5 semanas após transplante das mudas até ao início do florescimento (MUNIZ et al., 2012). Outras flores que usam iluminação artificial para manipular a duração do dia são campânula, áster, tango, kalanchoe, calandiva, poinsetia, entre outras.

2.2.3. Na produção de Impatiens

Impatiens é conhecida como planta ornamental florífera, também denominada como planta de forração, muito usada em paisagismo. Pertence à família *Balsaminaceae* e é composta pelas espécies *Impatiens walleriana, Impatiens balsamina, Impatiens hawkeri, Impatiens parviflora,* entre outras, são classificadas como plantas de sombra ou meia-sombra.

São consideradas plantas de dia neutro, pois não sofrem interferência da duração do dia (fotoperíodo) para indução ao florescimento, podendo ser cultivadas ao longo do ano, nos locais

onde não há geadas. São plantas herbáceas, com hábito de crescimento ereto, com florescimento exuberante. As folhas são simples e as flores são grandes, circulares com diversificação de cores. Estas plantas são conhecidas popularmente como beijo-pintado, beijinho (PAIVA, 2008; LORENZI; SOUZA, 2001).

O híbrido *Impatiens hybrida hort.*, conhecido comercialmente como Sunpatiens, tolera também condições de pleno sol e calor, mas a faixa de temperatura ótima para a fase de produção de mudas em bandejas varia de 20 a 24º C. Estão disponibilizados no mercado mundial nove cultivares, sendo que a principal diferença entre eles é a coloração das flores. No Brasil, foi feito o lançamento desta espécie no final de 2011 e o mercado encontra-se em franco crescimento até os dias atuais. O programa de melhoramento genético do Sunpatiens foi conduzido em parceria com a Agência de Pesquisa e Desenvolvimento da Agricultura (IAARD) na Indonésia, situada na Ásia Tropical, onde fica o centro de origem da maioria das espécies de Impatiens (SAKATA, 2018).

A propagação da planta Sunpatiens é assexuada e multiplica-se por meio do enraizamento de estacas herbáceas apicais, com 4 folhas abertas e cerca de 3 a 4 cm de comprimento, que são retiradas de plantas matrizes. As cultivares desta espécie são protegidas no Brasil e em outros países, por isso, existe controle da sua multiplicação e comercialização, sendo que os produtores pagam *royalties* ao adquirir as mudas já prontas.

Randall e Lopez (2015) compararam a produção de mudas de *Impatiens walleriana* desenvolvidas sob estufas em três sistemas: sob luz ambiente (com baixa disponibilidade de luz), com luz suplementar (LEDs 87% vermelha 13% azul ou 70% vermelha 30% azul) e com uma fonte exclusiva de luz HPS, todas com 70 µmol m^{-2} s^{-1} por 16 h de iluminamento. O índice de qualidade das mudas (calculado por meio de uma fórmula contendo a massa seca da parte aérea e raiz, diâmetro e comprimento do caule) foi menor no ambiente com luz ambiente, comparado com os outros com suplementação luminosa.

Currey e Lopez (2013b) quantificaram o impacto da iluminação suplementar em *Impatiens hawkeri* W. (Nova Guiné) no desenvolvimento, na morfologia e nas trocas gasosas das estacas, usando lâmpadas LEDs com diferentes composições espectrais (100V; 85V:15A; 70V:30A), comparadas com as tradicionais lâmpadas HPS (150W), todas com 70 µmol m^{-2} s^{-1} em três épocas de avaliação e concluíram que as lâmpadas LEDs podem substituir as HPS, mas que não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Currey e Lopez (2013a) conduziram um outro ensaio, utilizando a mesma estrutura, para verificar diferenças entre LED e HPS na produção de *Impatiens hawkeri* W. (Nova Guiné), onde não foi detectada diferença no enraizamento das estacas sob lâmpadas HPS e quaisquer

um dos três tratamentos com LEDs, e concluíram que as lâmpadas LEDs são alternativas adequadas de fonte de luz suplementar para propagação de estacas. No entanto, precisa-se considerar o efeito do sombreamento dos conjuntos de LED sobre as plantas e o maior consumo de energia devido ao comprimento de onda do azul em relação a HPS.

Mudas de flores de jardim compactas, bem enraizadas e com um bom diâmetro do caule são consideradas de alta qualidade e este padrão pode ser comprometido numa condição com luz solar limitante. Randall e Lopez (2014) conduziram um estudo com o gênero *Impatiens walleriana* (cv. Dazzler blue pearl), numa condição de 21ºC, sob ambiente protegido e 16 horas de fotoperíodo, com luz natural e com luz suplementar, num total de 100 µmol m^{-2} s^{-1}, usando lâmpadas HPS e LEDs bicromáticas nas proporções de 85% vermelho, 15% azul e 70% vermelho, 30% azul (85V:15A; 70V:30A), posicionadas na altura das mudas e obtiveram como resultado a redução de 31% do porte das mudas de Impatiens sob o conjunto de LED 85V:15A comparada com HPS. No entanto, não houve diferença entre os tratamentos com LEDs não somente para a altura das mudas, com também para o diâmetro do caule e a massa seca (de raízes e parte aérea).

Wollaeger e Runkle (2013), trabalhando com *Impatiens walleriana*, testaram 6 diferentes combinações de LED (25A + 25Vd + 25V + 25VD; 50A + 50Vd; 50Vd + 25V + 25VD; 50V + 50VD; 50A + 25V + 25VD; 100A: onde: A: Azul, Vd: Verde, V: Vermelho e VD: Vermelho Distante), com 160 µmol m^{-2} s^{-1} de radiação e 18 h de fotoperíodo, numa condição de temperatura constante de 20ºC, sob ambiente protegido. Os resultados indicaram que plantas sob tratamento com 25%, 50% e 100% de luz azul apresentaram entre 22 e 61% de redução de área foliar e foram 36 a 51% mais compactas do que plantas sob 50V + 50VD, e concluíram que para atingir alta qualidade na produção das mudas é preciso incluir o mínimo de luz azul ou verde, pois assim fica garantida a compacidade das mudas e poderia reduzir ou até eliminar o uso de regulador de crescimento.

Estes mesmos autores, conduziram um outro ensaio com outras combinações de LEDs (25A + 25Vd + 50V; 50A + 50V; 50Vd + 50V; 50A + 50Vd; 100A; 100V, onde A: Azul, Vd: Verde e V: Vermelho), acrescido de um tratamento com lâmpada fluorescente. Os resultados mostraram que o desenvolvimento das plantas sob 25% ou mais de luz azul foram 41 a 57% mais baixas do que aquelas cultivadas somente luz vermelha e plantas sob luz vermelha tiveram de 47 a 130% mais área foliar do que as plantas com 25% ou mais de luz azul. Em Impatiens, o número de botão floral na colheita, geralmente aumentou com luz azul (WOLLAEGER; RUNKLE, 2014).

Foi feita uma pesquisa com *Impatiens balsamina*, em que as plantas foram cultivadas no inverno, em quatro câmaras de crescimento, cada uma com uma fonte de luz diferente, fornecida durante 12h por dia, constituindo-se os seguintes tratamentos: 75% vermelho + 25% azul; 100% vermelho; 100% azul e fluorescente. Houve um aumento significativo do número de folhas na luz azul, já o diâmetro do caule foi maior sob luz vermelha. Na fase de crescimento das plantas, o melhor tratamento foi 75% vermelho + 25% azul, devido a melhor qualidade alcançada, com plantas mais compactas, com maior diâmetro do caule e menor índice de desordens morfológicas (AKBARIAN et al., 2016).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Características da área experimental

Os experimentos foram conduzidos em estufas agrícolas de um produtor especializado na produção de mudas de flores, localizado no município de Atibaia, SP, com latitude 23º01’48”S, longitude 46º34’47”W e 825 m de altitude. Segundo a classificação de Koppen-Geiger, o clima na região é do tipo Cwa, clima subtropical úmido, com verão quente e úmido, com temperatura média do ar, no mês mais quente, maior ou igual a 22ºC e inverno brando e seco, com temperatura média do ar, no mês mais frio, maior 10ºC de acordo com o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura – CEPAGRI (CEPAGRI, 2010).

3.2. Microclima da estufa agrícola

Ao longo da condução do experimento as temperaturas ficaram dentro do padrão pré-estabelecido em função da climatização do ambiente no interior da estufa agrícola, em que a temperatura mínima do ar foi mantida por volta de 21ºC e a temperatura máxima do ar cerca de 28ºC. O menor índice da radiação fotossinteticamente ativa (RFA/PAR), que é a luz diária integral (DLI), foi 4,39 mol m^{-2} dia^{-1}, verificado em 03 de agosto de 2018 e o maior, 62,4 mol m^{-2} dia^{-1}, ocorrido no dia do transplante das mudas das plantas matrizes em 01 de fevereiro de 2018. As maiores porcentagens da umidade relativa do ar (URar) ocorreram no início do mês de agosto em função de uma seguência de dias chuvosos e também foram registrados neste mesmo mês as menores taxas de URar (Figura 1).

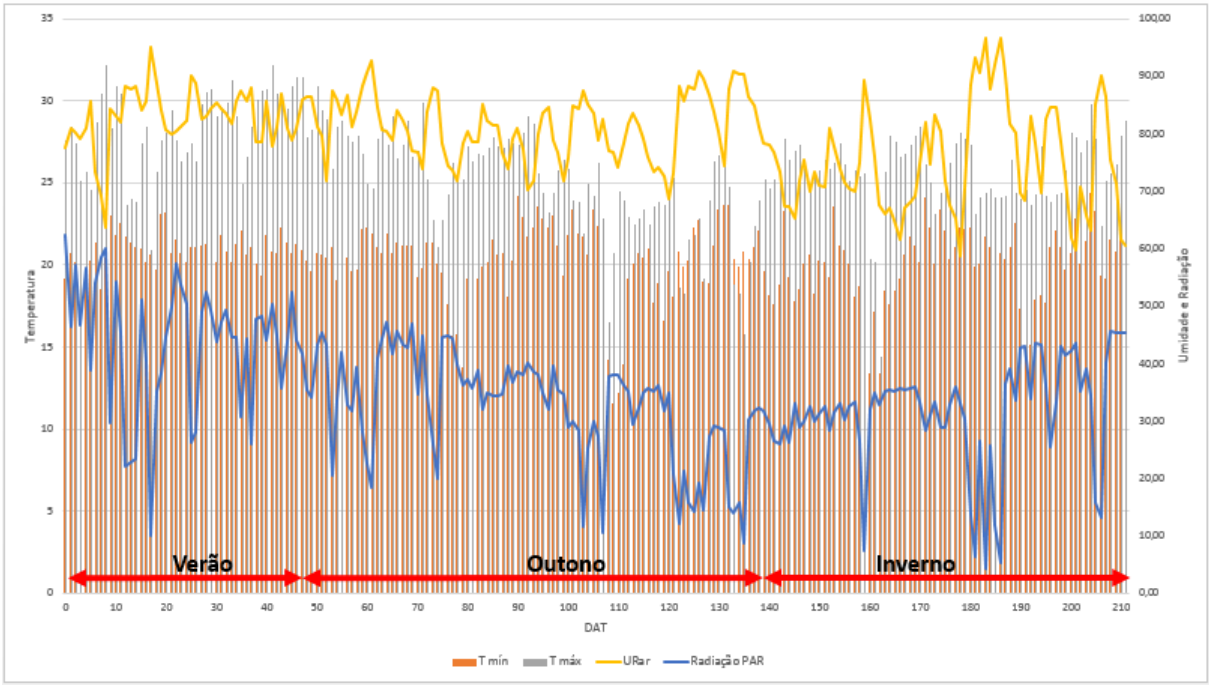

Figura 1 - Temperatura mínima (T mín), temperatura máxima (T máx) em ºC, % umidade relativa do ar (URar) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA/PAR) em mol m^{-2} dia^{-1}, registradas durante a condução do experimento. DAT = dias após transplante

3.3. Materiais genéticos

Os materiais genéticos foram compostos por dois cultivares de Impatiens da espécie *Impatiens hybrida hort*: 1) Sunpatiens Compact Royal Magenta, que apresenta folhas avermelhadas e flores de coloração magenta; 2) Sunpatiens Compact White, que apresenta flores de cor branca e folhas verde (Figura 2). Cada cultivar foi plantada no espaçamento 12x14 cm, em duas caixas plásticas por tratamento, num total de 12 plantas por caixa, sendo denominadas de plantas matrizes. Cada repetição foi composta por 6 plantas matrizes, num total de 4 repetições.

Figura 2 - Sunpatiens Compact Royal Magenta (esq.) e Sunpatiens Compact White (dir.)

3.4. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos com iluminação artificial foram compostos por quatro tipos de luz LED (Grow LED Plant Light) da empresa Penzel, além do controle: 1) 83%:17% de luz vermelha (640-660 nm) e azul (460-470 nm); 2) 75%:25% (640-660 nm e 460-470 nm); 3) 67%:33% (640-660 nm e 460-470 nm) e 4) 50%:25%:25% (640-660 nm; 620-630 nm e 460-470 nm); 5) sem iluminação artificial (controle) (Figura 3). Para cada tratamento foi instalado duas lâmpadas LED, dando um total de 16 lâmpadas. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com parcelas em faixa (Figura 4).

Figura 3 - Lâmpadas LED (%) 83:17 (A), 75:25 (B), 67:33 (C) e 50:25:25 (D)

	Testemunha		Bordad	67:33		Bordad	83:17		Bordad	75:25		Bordad	50:25:25	
Cultivar R.	R1	R2		R3	R1		R2	R3		R4	R3		R1	R4
Magenta	R3	R4		R2	R4		R4	R1		R2	R1		R3	R2
Cultivar	R2	R3		R4	R3		R1	R2		R3	R1		R1	R4
White	R1	R4		R1	R2		R3	R4		R2	R4		R3	R2

Figura 4 - Croqui da área experimental

As lâmpadas foram dispostas com o foco sobre o centro de cada caixa a uma altura de 1,0 m da base das plantas matrizes (Figura 5), emitindo radiação com intensidade de 150 µmol m^{-2} s^{-1}, com um pico de comprimento de onda no azul de 460-470 nm e dois picos no vermelho 620-630 nm e 640-660 nm, aferidos com o uso de espectrorradiômetro da marca Asensetek. A suplementação luminosa iniciou-se no dia do transplante das mudas (01/02/2018) (Figura 6) e foi mantida até o final do experimento em agosto, após 7 meses, num total de 12 horas de iluminamento (6h – 18h). A escolha da intensidade da radiação como também das combinações espectrais foram baseadas nos trabalhos científicos com o mesmo gênero (WOLLAEGER, RUNKLE, 2014; RANDALL, LOPEZ, 2015).

Figura 5 - Fase inicial e final do ensaio, mostrando o foco da radiação

Figura 6 - Transplante manual das mudas das plantas matrizes

As lâmpadas apresentavam o formato redondo, com as dimensões de 112 mm de diâmetro e 138 mm de altura, com uma potência de 25W, com tolerância à umidade relativa do ambiente somente até 65%, por isso as lâmpadas foram protegidas com uma estrutura metálica com o formato de um chapéu de coloração verde (Figura 7).

Figura 7 - Vista geral do ensaio, mostrando a proteção contra umidade das lâmpadas e uma das telas de sombreamento

3.5. Condução das plantas matrizes

A estrutura da estufa agrícola foi do tipo arco metálico, com 60 metros de comprimento, 19,2 metros de largura (3 vãos de 6,4 metros), pé direito com 4,0 metros, instaladas na posição norte/sul, com a cobertura com filme difusor de 150 micra de espessura (Figura 8), com uma tela de sombreamento termo refletora móvel 50% de transmissividade e uma tela de sombreamento preta fixa 30% (Figura 7), instaladas internamente na altura do pé direito. As laterais foram revestidas com uma tela de sombreamento preta fixa 30% de transmissividade e uma cortina plástica móvel (mesmo filme da cobertura). A temperatura diurna no interior da estufa usada para condução das plantas matrizes foi mantida em torno de 28ºC, por meio do sistema de resfriamento evaporativo (Pad&Fan) e pelo acionamento automático da tela termo refletora, controlados por um sistema central, com os sensores localizados numa altura de 4,0 metros do piso da estufa. A temperatura noturna foi mantida em torno de 21ºC, usando quando necessário um sistema de aquecimento a diesel, com a circulação de ar quente, posicionado no fundo da estufa (Figura 7).

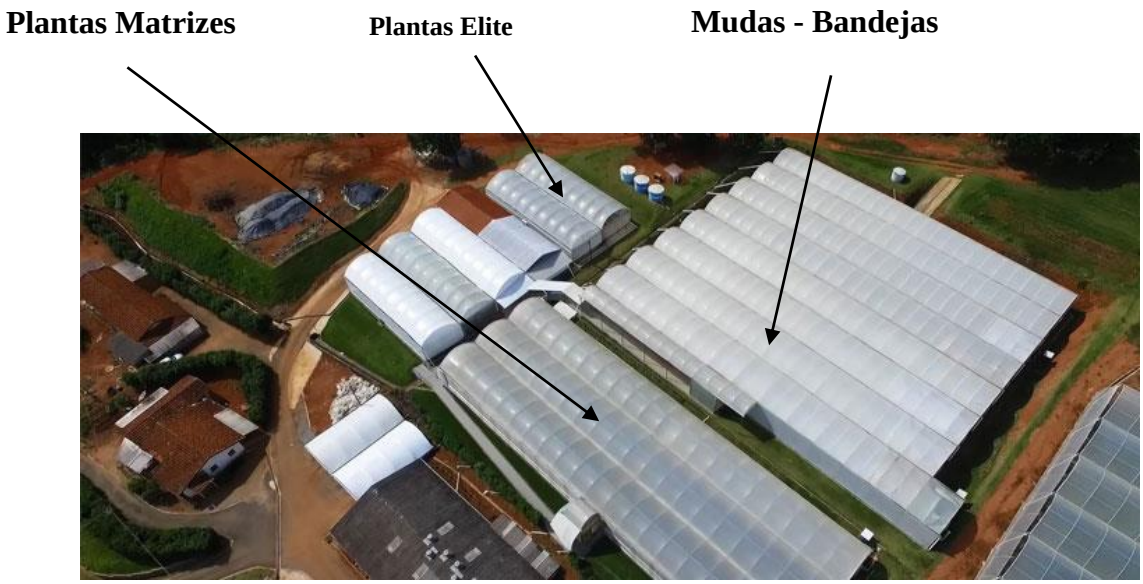

Figura 8 - Vista geral das estufas agrícolas em Atibaia - SP, mostrando o local de produção das plantas elite, das plantas matrizes e das mudas em bandejas

Na Figura 9 é possível observar um fluxograma com todas as etapas de produção de plantas de Impatiens.

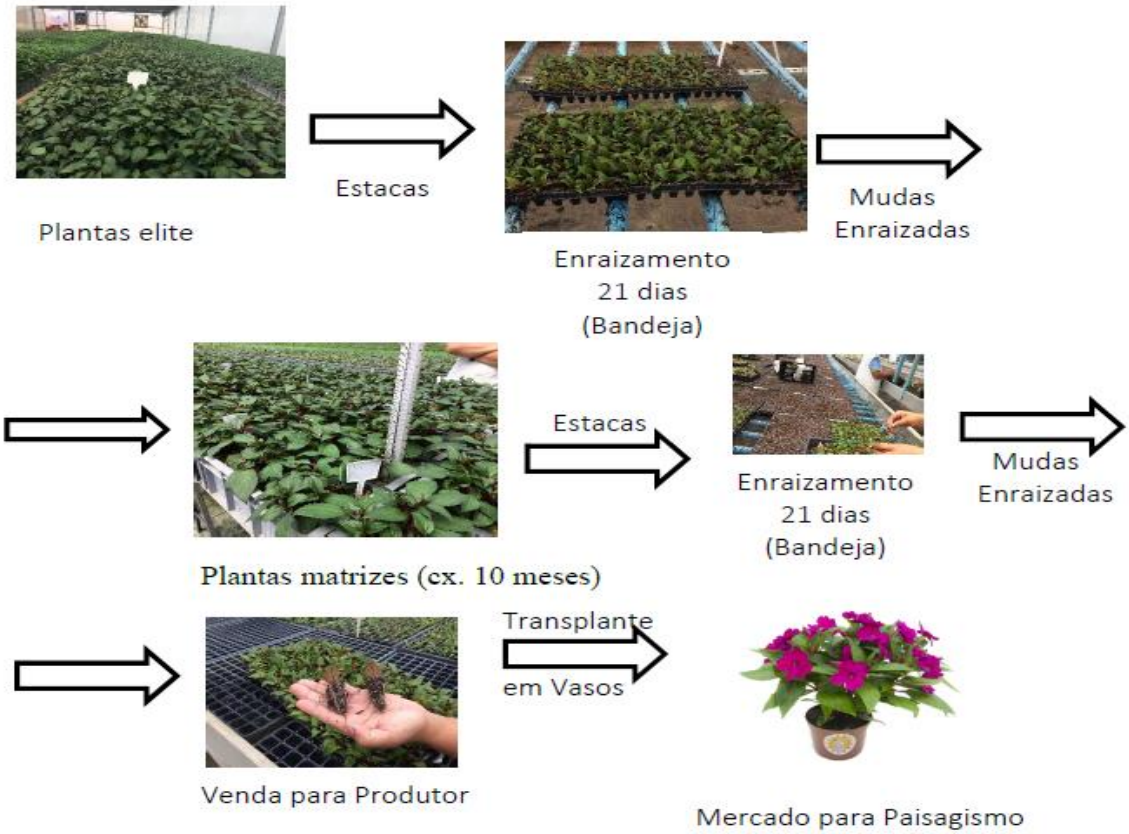

Figura 9 - Etapas da produção de plantas de Impatiens

No interior da estufa foram distribuídas linhas duplas de caixas plásticas de 36 cm de largura por 56 cm de comprimento e 14 cm de altura sobre bancadas metálicas com 1,2 m de largura e 25,0 m de comprimento e 64 cm de altura. A capacidade de cada caixa era de 12 mudas de Impatiens, no espaçamento 12 x 14 cm, preenchidas com um substrato composto pela mistura de 50% vermiculita e 50% perlita. As caixas continham furos para drenagem (Figura 10 e 11).

Figura 10 - Distribuição do substrato, os furos de drenagem e a colocação das fitas gotejadoras nas caixas plásticas

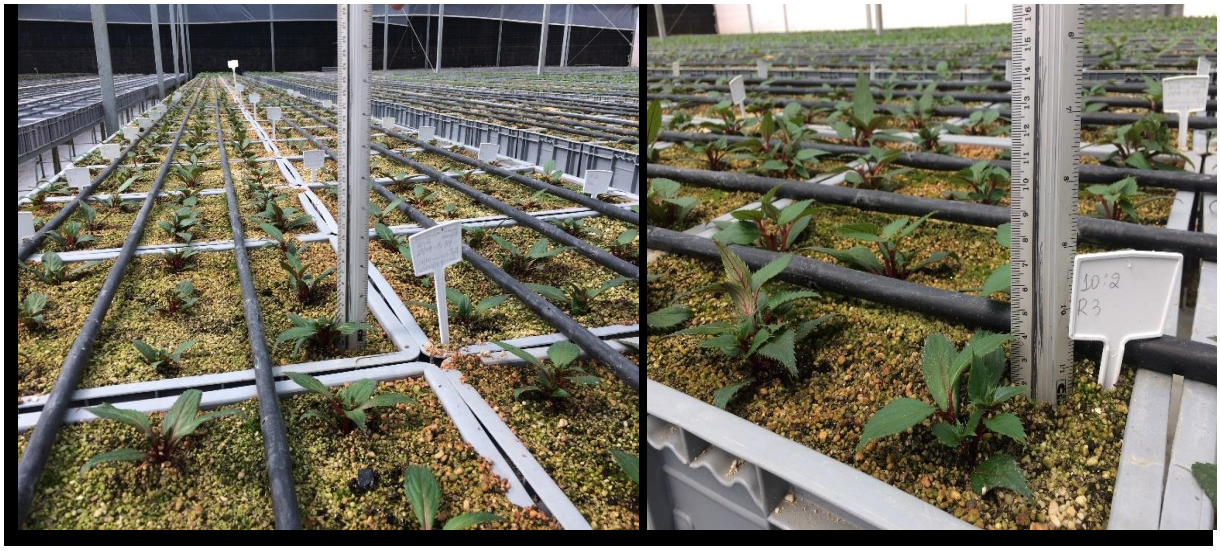

Figura 11 - Vista detalhada das plantas matrizes do cv. Royal Magenta, mostrando o espaçamento e altura das plantas

A irrigação foi feita por gotejamento, com vazão de 1,6 L/h por gotejador, sendo 3 linhas de gotejadores por caixa de Impatiens, espaçados 10 cm, num total de 12 gotejadores por caixa, ligados por 4 minutos, duas vezes ao dia, totalizando 2,52 L por dia por caixa (210 ml por planta por dia) (Figura 10).

A fertirrigação foi realizada por gotejamento, na mesma frequência da irrigação, utilizando-se uma solução com condutividade elétrica de 0,8 dS/m. Os fertilizantes aplicados

para 1.000 L de água foram: 405 g de nitrato de cálcio (15,5N 19Ca), 15 g de fosfato monopotássico - MKP (52P 34K), 202,5 g de nitrato de potássio (13N 36,5K), 205 g de sulfato de magnésio (9Mg 11SO4) e Brexil Top (2B 5Mn 0,5Mo 6,0Zn 10S 1,5Mg).

A cada 30 minutos foram registrados temperatura, umidade relativa do ar e radiação fotossinteticamente ativa (RFA) por meio de uma estação meteorológica (WachtDog 2400 Mini Station External Sensor, Spectrum Technologies, Inc; Aurora, Illions, USA), com sensores posicionados a 30 cm de altura da base das plantas (Figura 12).

Figura 12 - Mini estação meteorológica

3.6. Coleta de estacas

Foram coletadas semanalmente todas as estacas, que são as brotações terminais produzidas pelas plantas matrizes (conduzidas nas caixas 36 x 56 x 14 cm) desde a primeira semana, tomando-se o cuidado de selecionar estacas dentro do padrão, com 4 folhas abertas e 3-4 cm de comprimento. Se alguma estaca colhida estivesse fora do padrão era eliminada parte das folhas e/ou caule para manter o padrão. A coleta das estacas foi feita com o auxílio de um bisturi, num corte em bissel. As estacas coletadas eram acondicionadas em pano úmido para evitar a desidratação e transferidas para bandejas, como descrito no próximo item (3.7), visando à produção de mudas que foram comercializadas aos produtores após 3 semanas (Figuras 13 e 14).

Figura 13 - Coleta e acondicionamento das estacas do cv. Royal Magenta em pano úmido para evitar desidratação

Figura 14 - Estacas padrões do cv. Royal Magenta (4 folhas abertas e 3-4 cm de comprimento)

3.7. Obtenção das mudas

As plantas conduzidas nas caixas 36 x 56 x 14 cm, denominadas de plantas matrizes, foram obtidas pela retirada de estacas das plantas elite, mantidas em outra estufa agrícola na mesma propriedade (Figura 8) com as descrições similares já citadas no item 3.5. Estas estacas apresentavam de 4-6 folhas e foram colocadas em bandejas de polipropileno com 200 células (26X52 cm), preenchidas com o substrato à base de turfa de esfagno (Carolina Soil) e foram mantidas por um período de 21 dias, quando completa a fase de formação das mudas e não foi utilizada a luz suplementar. Foi exatamente nesta fase que iniciou o experimento (Figura 15 e 16).

Figura 15 – Colocação das estacas do cv. White em bandejas com substrato para enraizamento

Figura 16 - Enraizamento das estacas em bandejas e mudas prontas para transplante (dir. cv. Royal Magenta)

Estas bandejas foram distribuídas sobre bancadas metálicas (1,2 m de largura e 25 m de comprimento), dispostas a 80 cm de altura, numa outra estufa agrícola, na mesma propriedade, do tipo arco metálico, com 54 metros de comprimento, 51,2 metros de largura (8 vãos de 6,4 metros) (Figura 8), pé direito com 4,0 metros de altura, com uma tela de sombreamento termo refletora móvel 50% de transmissividade e uma tela de sombreamento preta fixa 30%, instaladas internamente na altura do pé direito. As laterais foram revestidas com uma tela de sombreamento preta fixa 30% de transmissividade e uma cortina plástica móvel (mesmo filme da cobertura).

Tanto o sistema de telas de sombreamento, quanto o sistema de resfriamento evaporativo Pad&Fan, foram ligados automaticamente, sempre que a temperatura no interior da estufa foi superior a 26ºC e desligados na temperatura 25º C. A temperatura noturna foi mantida 21ºC, inclusive foi acionado o sistema de aquecimento, quando necessário.

O sistema de irrigação foi do tipo “fogger”, posicionado há 1,5 metros acima da bancada, com vazão 7,0 L/h, ligados por 5 segundos a cada 5 minutos, no estádio inicial das

mudas, e 2 vezes por dia, no estádio final. O espaçamento entre os “foggers” foi de 100 cm x 75 cm. A fertirrigação foi realizada juntamente com a pulverização de defensivos duas vezes por semana, usando-se 30g/100L do adubo Fetrilon Combi 1 (1,9Mg 3S 4Mn 4Fe 1,5Cu 1,5Zn 0,5B 0,1Mo), consumindo um volume de 100 L para área total.

Assim que as mudas ficaram prontas foi feito o transplante para caixas plásticas (36 x 56 x 14 cm) como descrito no item 3.5 e em seguida as lâmpadas de LED foram ligadas durante os períodos descritos anteriormente ao longo do ciclo total de condução do experimento.

3.8. Avaliação das mudas em bandejas

Vinte e cinco estacas de cada repetição, num total de 100 estacas por tratamento foram plantadas em bandeja de 200 células e no final da fase de produção de mudas (fase de enraizamento das estacas) as bandejas foram transportadas até a ESALQ e foram feitas as seguintes avaliações biométricas em quatro mudas de cada parcela: altura da parte aérea, com o auxílio de uma régua graduada; o diâmetro do caule, com o auxílio de um paquímetro digital; número de folhas; área foliar, usando medidor de área foliar (Licor-3100); foi feita a lavagem das raízes em água corrente e pesada a massa seca da parte radicular e da parte aérea, após secagem em estufa com ventilação forçada a 68º C (Figuras 16 e 17).

Figura 17 - Mudas enraizadas em bandejas, antes da lavagem das raízes do cv. Royal Magenta (esq.) e após lavagem do cv. White (dir.)

3.9. Parâmetros biométricos

As estacas foram preparadas e acondicionadas numa caixa de isopor para o transporte até a ESALQ (Figura 18), onde foram feitas as seguintes análises biométricas em quatro estacas de cada parcela, coletadas de duas plantas matrizes, localizadas na parte central das caixas plásticas, aos 202 dias após o transplante (DAT): altura da parte aérea, com o auxílio de uma régua graduada; o diâmetro do caule, com o auxílio de um paquímetro digital, número de folhas;

área foliar, usando medidor de área foliar (Licor-3100); e massa seca da parte aérea, após secagem em estufa com ventilação forçada a 68º C.

Figura 18 - Preparação e acondicionamento das estacas do cv. White para transporte a ESALQ

Aos 111 DAT foram retiradas amostras de folhas das plantas matrizes para aferição da espessura da folha, usando paquímetro digital.

Foi feita a contagem, em cada parcela, do número de estacas coletadas semanalmente, nas épocas mais quentes e, quinzenalmente, nas épocas mais frias, para obtenção da produtividade total de estacas no período de 7 até 202 DAT (23 colheitas).

No final do experimento, duas plantas matrizes centrais de cada parcela foram retiradas e transportadas até a ESALQ. As raízes foram lavadas em água corrente para retirada do substrato e foram medidos os seguintes parâmetros: altura da parte aérea, com o auxílio de uma régua graduada; o diâmetro do caule, com o auxílio de um paquímetro digital; número de caules; número de folhas; área foliar, usando medidor de área foliar (Licor-3100); massa seca da parte aérea (separando-se as folhas do caule) e massa seca radicular, após secagem em estufa com ventilação forçada a 68º C.

3.10. Parâmetros fotossintéticos

Os parâmetros fotossintéticos foram medidos com o auxílio de um medidor portátil de trocas gasosas (IRGA, L1 6400XT, LICOR, Lincoln, Nebraska, USA) aos 82 DAT, em um dia ensolarado, entre as 9h e 11h, selecionando a primeira folha completamente expandida e com tamanho apropriado, à partir do ápice da planta, localizada na parte central de cada parcela. Os parâmetros fotossintéticos medidos foram: taxa de fotossíntese líquida (A - µmol de CO_2 m^{-2} s^{-1}), condutância estomática (Gs - mol de H_2O m^{-2} s^{-1}), taxa de transpiração (E - mmol de H_2O m^{-2} s^{-1}), concentração interna de carbono (Ci - µmol CO_2 mol^{-1}), eficiência instantânea do uso

da água (EUA - A/E), calculada pela relação entre a fotossíntese líquida e a transpiração. Estas variáveis foram obtidas numa câmara sob uma luz variável conforme leitura do tratamento, usando como referência para concentração de CO_2 o valor de 380 µmol mol^{-1} (Figura 19).

Figura 19 - Medição dos parâmetros fotossintéticos com o IRGA

3.11. Análises bioquímicas

As coletas de folhas para análises bioquímicas foram realizadas aos 131 DAT. Os materiais coletados foram imediatamente congelados em nitrogênio líquido e mantidos congelados durante o transporte (Figura 20). Posteriormente, as amostras foram maceradas, colocadas em tubos Falcon de 50 ml e armazenados em freezer a -80°C.

Figura 20 - Transporte das folhas em sacos plásticos no N líquido

3.11.1. Extração de proteínas solúveis

Para determinação das enzimas antioxidantes superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase foi necessário, primeiro, realizar a extração e a quantificação das proteínas solúveis, presentes nas folhas das plantas matrizes. Dessa maneira, a extração foi realizada seguindo a metodologia de Azevedo et al. (1998), adicionando 1g do tecido vegetal macerado em 4% de PVPP (Polivinilpolipirrolidona) e 3 ml de tampão fosfato 100 mM (pH 7,5), contendo 1 mM de EDTA e 3 mM de DTT. Após essa etapa, as amostras foram centrifugadas a 10.000 rpm, por 30 minutos a 4°C e o sobrenadante pipetado e dividido em alíquotas para posterior medição da quantidade de proteínas solúveis e da atividade das enzimas antioxidantes.

3.11.2. Quantificação de proteínas solúveis

O teor de proteínas foi utilizado nos cálculos das atividades enzimáticas e, para tal, foi aplicada a metodologia de Bradford (1976), em que foi tomada uma alíquota de 20 µL do extraído de proteínas, que recebeu 2 ml do reagente de Bradford. Essa mistura foi agitada e mantida em repouso por 2 minutos. Após isso foi realizada a leitura em espectrofotômetro a 595 nm, sendo os resultados obtidos em mg/ml (Figura 21).

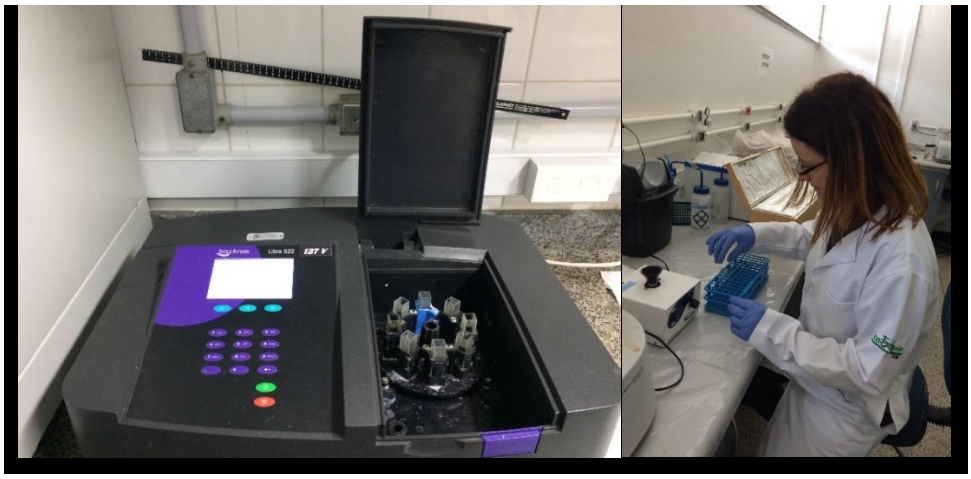

Figura 21 - Preparação e leitura no espectrofotômetro

3.11.3. Catalase – CAT (EC 1.11.1.6)

A determinação de catalase (CAT) seguiu a metodologia proposta por Kraus et al. (1995) com algumas adaptações conforme Azevedo et al. (1998). A determinação ocorreu com a adição de 25 µL de extrato vegetal em 1 ml de uma solução de tampão fosfato 100 mM (pH

7,5) contendo 2,5 µL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2, 30%), sendo a leitura realizada em espectrofotômetro por 1 minuto a 240 nm.

3.11.4. Ascorbato peroxidase – APX (EC 1.11.1.11)

A atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX) foi determinada seguindo a metodologia de Moldes et al. (2008) e Nakano e Assada (1981), em que 50 µL do extrato vegetal foram adicionados em cubetas contendo 650 µL do tampão fosfato de potássio 80 mM (pH 7,0), 100 µL de ascorbato, 100 µL de EDTA e 100 µL de peróxido de hidrogênio. As leituras foram feitas em espectrofotômetro a 290 nm.

3.11.5. Superóxido dismutase – SOD (EC 1.15.1.1)

A atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) foi determinada seguindo a metodologia proposta por Giannopolitis & Ries (1977), com modificações propostas por Cembrawska-Lech et al. (2015), por espectrofotometria. A reação foi conduzida em câmara de reação sob iluminação de lâmpada fluorescente a 25°C. A determinação foi feita pela adição de tampão de fosfato de potássio 0,1 M (pH 7,8), 1,3 µM de riboflavina, 13 mM de metionina, 63 µM de NBT e 0,1 mM de EDTA, em 100 µL do extrato proteico, ficando 5 minutos sob iluminação e a leitura realizada a 560 nm.

3.11.6. Peroxidação lipídica - MDA

A avaliação da peroxidação lipídica foi realizada segundo a metodologia de Heath e Packer (1968), em que 0,2 g do material vegetal fresco foi macerado em 2 ml de ácido tricloroacético (TCA, 0,1%), contendo aproximadamente 20% de PVPP. Após a homogeneização, a mistura foi centrifugada a 10.000 rpm por 10 min a 4°C. Após a centrifugação, 250 µL do sobrenadante foi pipetado e adicionado 1 ml de uma solução contendo 20% de TCA e 0,5% de ácido tiobarbitúrico. A mistura foi mantida por 30 minutos a 95°C. Em seguida, a reação foi resfriada em gelo e mantida à temperatura ambiente para a realização da leitura em espectrofotômetro a 532 e 600 nm. O resultado final foi expresso em concentração de malonaldeído (MDA).

3.11.7. Conteúdo de peróxido de hidrogênio

A determinação do conteúdo de peróxido de hidrogênio foi conduzida de acordo com a metodologia de Alexieva et al. (2001), sendo que 0,2 g do material vegetal fresco foi macerado em 2 ml de ácido tricloroacético (TCA, 0,1%), contendo aproximadamente 20% de PVPP. Após a homogeneização, a mistura foi centrifugada a 10.000 rpm por 10 min a 4°C. Na sequência, 0,2 ml do sobrenadante foi pipetado e adicionado em 0,2 ml do tampão fosfato de potássio (100 mM, pH 7,5) e 0,8 ml de iodeto de potássio 1M, sendo incubado por 1 hora na ausência da luz. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 390 nm.

3.12. Análises dos pigmentos

A coleta de folhas para análises dos pigmentos foi realizada aos 188 DAT. As folhas foram acondicionadas em sacos plásticos e imediatamente congelados em nitrogênio líquido e mantidas congeladas durante o transporte até a ESALQ. As amostras foram armazenados em freezer a -80°C até a data da análise.

3.12.1. Determinação de clorofilas e carotenoides totais

Os teores de clorofilas e carotenoides foram determinados por meio de um espectrofotômetro de fluorescência, segundo método descrito por Hiscox e Israelstam (1979). Foram pesadas 0,05 g de folhas de cada amostra e foi adicionado 5ml do extrator dimetilsulfóxido (DMSO). As amostras foram mantidas ao abrigo de luz por 48 horas, numa BOD a 22°C. Após este período, as amostras foram centrifugadas por 2 minutos a 600 rpm e, em seguida, foi retirado um volume de 2ml de cada amostra e feita a leitura direta no espectrofotômetro (BIOCHROM, Libra S22) nos comprimentos de onda 665 e 617 para determinação de clorofila a e b e 434 nm para determinação dos carotenoides totais. A quantificação foi realizada pelas equações propostas por Wellburn (1994). Os resultados foram expressos em mg g^{-1} de folha fresca.

3.12.2. Quantificação de antocianina e quercetina

De acordo com a metodologia de Lee e Francis (1972), foi feita a determinação de antocianina e quercetina. As amostras, previamente congeladas, foram maceradas, usando

moinho e nitrogênio líquido e pesado 1 g de cada repetição. Foram adicionados 25 mL de solvente extrator (Etanol 95% e HCl). O material foi misturado e deixado em repouso por 12 horas a 4ºC, ao abrigo da luz, para extração dos pigmentos. Na sequência, o extrato foi filtrado, em papel Whatman, para balão volumétrico de 50 mL, tendo seu volume completado com o solvente extrator. As absorbâncias foram avaliadas em espectrofotômetro (Biochrom, Libra S22), efetuando-se leituras no comprimento de onda de 536 nm para antocianina e 374 nm para quercetina. O conteúdo total de antocianina foi expresso em mg de antocianina/100g da fração da amostra e o de quercetina na mesma unidade (Figura 22).

Figura 22 - Preparo para determinação de antocianina e quercetina no cv. White (dir.) e cv. Royal Magenta (esq.)

3.13. Característica anatômica - Tricomas

Aos 250 DAT foi feita a coleta de duas folhas adultas de cada repetição, na parte mediana das plantas matrizes, num total de 3 repetições. As folhas foram lavadas em água corrente e, após secagem, as lâminas foram montadas, obtendo-se a impressão da epiderme foliar superior através do adesivo instantâneo (Super Bonder®), pressionado nas folhas por 8 segundos, seguindo a metodologia adaptada de Bastos et al. (2004). Posteriormente, as lâminas foram observadas em microscópio no aumento de 4X para obtenção das imagens e a contagem dos tricomas na área padrão (1 mm^2).

3.14. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância ANOVA ($p<0.05$). Quando significativo, as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey ($p<0.05$). Foi usado o programa estatístico computacional SAS.

4. RESULTADOS

4.1. Estacas

Para o número de estacas por planta ao longo do tempo, houve interação significativa entre os tratamentos aos 27, 54 e 83 DAT. Aos 167 e 202 DAT, houve diferença significativa entre os conjuntos de iluminação artificial, para essa característica avaliada. Para o número total de estacas por planta (NT), houve diferença significativa entre os cultivares (Tabela 1).

Tabela 1 - Número de estacas por planta aos 27, 54, 83, 139 e 202 DAT e número total de estacas por planta (NT), sob influência de iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens.

FATORES DE ESTUDO	DAT							NT
	27	54	83	118	139	167	202	
LED (L)	*	**	**	NS	NS	*	*	NS
83R:17B	5,500	13,125	11,100	11,075	3,083	5,145 a	17,771 a	66,799
75R:25B	5,050	14,550	10,900	11,625	3,078	3,844 ab	14,000 ab	63,047
67R:33B	4,425	13,163	12,775	12,125	3,287	3,724 b	14,563 ab	64,062
50R:25R1:25B	4,713	13,375	10,863	11,413	3,324	4,353 ab	14,597 ab	62,638
CONTROLE	4,763	11,625	12,925	12,513	3,418	4,666 ab	13,123 b	63,033
CULTIVARES (C)	*	**	NS	NS	**	**	NS	*
ROYAL MAGENTA	5,110	13,605	11,430	11,510	3,687 a	5,823 a	15,013	66,377 a
WHITE	4,670	12,530	11,995	11,990	2,788 b	2,721 b	14,608	61,375 b
L X C	*	*	**	NS	NS	NS	NS	NS

Médias com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%.

Aos 27 DAT (verão), houve diferença significativa entre os cultivares para as plantas do controle, sendo que, o cultivar Royal Magenta produziu 41,1% mais estacas por planta do que o cultivar White (Tabela 2).

Tabela 2 - Número de estacas por planta, sob influência da interação entre iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens aos 27, 54 e 83 DAT.

FATORES DE ESTUDO	27 DAT		54 DAT		83 DAT	
LED (L)	Royal Magenta	White	Royal Magenta	White	Royal Magenta	White
83R:17B	5,675 aA	5,325 aA	14,750 aA	11,500 bB	11,600 bA	10,600 bA
75R:25B	5,175 aA	4,925 aA	14,350 aA	14,750 aA	10,800 bA	11,000 bA
67R:33B	4,675 aA	4,175 aA	13,200 aA	13,125 abA	9,975 bB	15,575 aA
50R:25R1:25B	4,450 aA	4,975 aA	13,800 aA	12,950 abA	10,800 bA	10,925 bA
Control	5,575 aA	3,950 aB	12,925 aA	10,325 bA	13,975 aA	11,875 bA
ANOVA F(Pr)	2,88 (0,0393)		3,24 (0,0254)		10,12 (0,0001)	

Médias com letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, com significância de 5%.

Aos 54 DAT (verão), para o cultivar White, o número de estacas aumentou 42,9% nas plantas submetidas ao conjunto de LED composto por 75R:25B em relação ao controle. No conjunto de LED 83R:17B, o cultivar Royal Magenta foi superior ao cultivar White. No cultivar Royal Magenta, por sua vez, os conjuntos de LEDs não influenciaram quanto a essa característica avaliada (Tabela 2).

Aos 83 DAT (outono), o número de estacas foi superior nas plantas controle em relação aos tratamentos compostos pelos conjuntos de LEDs para o cultivar Royal Magenta. Para o cultivar White, o conjunto de LED 67R:33B resultou em maior número de estacas em relação aos demais tratamentos e ao controle. Sob iluminação artificial com 67R:33B, o cultivar White produziu 56,1% mais estacas que o cultivar Royal Magenta (Tabela 2).

O número de estacas aos 139, 167 DAT e para NT (somatória total do número de estacas por planta), houve diferença significativa entre os cultivares, sendo que o cultivar Royal Magenta foi superior ao White. Aos 167 DAT (inverno), não houve diferença entre os tratamentos com LED e o controle, enquanto que aos 202 DAT (inverno), houve diferença significativa entre os conjuntos de iluminação artificial, sendo que o 83R:17B foi responsável por um aumento de 35,4% no número de estacas por planta em relação ao controle (Tabela 1).

A qualidade das estacas avaliada pelo comprimento, número de folhas, área foliar, massa seca e diâmetro do caule, aos 202 DAT, está descrita na Tabela 3.

Tabela 3 - Comprimento (Comp.), número de folhas (NF), área foliar (AF), massa seca (MS) e diâmetro do caule (DC) das estacas coletadas das plantas matrizes, aos 202 DAT, sob influência de iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens.

FATORES DE ESTUDO	202 DAT				
	COMP. (cm)	NF	AF (cm^2)	MS (g)	DC (mm)
LED (L)	NS	NS	NS	*	NS
83R:17B	3,659	2,75	5,999	0,020 ab	1,938
75R:25B	3,743	3,16	6,563	0,024 ab	1,970
67R:33B	3,661	2,72	5,541	0,021 ab	1,901
50R:25R1:25B	3,746	3,10	3,746	0,025 a	1,899
CONTROL	3,756	3,00	6,518	0,018 b	1,890
CULTIVARS (C)	*	NS	NS	NS	**
ROYAL MAGENTA	3,811 a	2,876	4,780	0,021	1,791 b
WHITE	3,615 b	3,014	5,070	0,021	2,049 a
L X C	NS	*	NS	NS	NS

Médias com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%.

Para o comprimento da estaca (Comp.), houve diferença significativa entre os cultivares, sendo que o cultivar Royal Magenta apresentou maior valor desta característica em relação ao White. Para diâmetro do caule (DC), o cultivar White foi superior ao Royal Magenta. Para a massa seca (MS), o conjunto de LED 50R:25R1:25B proporcionou aumento de 38,9% desta característica em relação ao controle. Para número de folhas (NF), aos 202 DAT, houve interação significativa entre os tratamentos (Tabela 3), sendo que o conjunto de LED 75R:25B promoveu maior número de folhas em relação ao conjunto 83R:17B e foi estatisticamente semelhante aos demais tratamentos e ao controle, no cultivar White (Tabela 4).

Tabela 4 - Número de folhas (NF) das estacas coletadas das plantas matrizes, aos 202 DAT, sob influência da interação entre iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens.

FATORES DE ESTUDO	NF 202 DAT	
LED (L)	Royal Magenta	White
83R:17B	3,000 aA	2,500 bA
75R:25B	2,938 aA	3,375 aA
67R:33B	2,813 aA	2,625 abA
50R:25R1:25B	2,938 aA	3,250 abA
CONTROL	2,688 aA	3,313 abA
ANOVA F(PR)	3,38 (0,0213)	

Médias com letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, com significância de 5%.

Os parâmetros fotossintéticos em função dos conjuntos de LED e tipos de cultivares de Sunpatiens estão descritos na Tabela 5. Para a taxa fotossintética líquida (A), concentração interna de CO_2 (Ci), taxa de transpiração (Trmmol) e eficiência no uso da água (EUA) houve interação significativa entre os tratamentos. A condutância estomática (Gs) não foi influenciada tanto pelos conjuntos de LED como pelos cultivares de Sunpatiens.

Tabela 5 - Taxa de fotossíntese líquida, condutância estomática, concentração interna de carbono, taxa de transpiração, eficiência do uso da água, sob influência de iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens.

FATORES DE ESTUDO	PHOTO (A)	COND (Gs)	Ci	Trmmol (E)	EUA (A/E)
LED (L)	*	NS	**	NS	NS
83R:17B	10,945	0,300	322,22	4,375	2,535
75R:25B	9,875	0,286	326,91	4,155	2,395
67R:33B	9,745	0,305	332,35	4,145	2,355
50R:25R1:25B	9,385	0,256	320,47	3,630	2,650
CONTROL	7,475	0,289	344,69	3,520	2,100
CULTIVARS (C)	NS	NS	NS	NS	NS
ROYAL MAGENTA	8,528	0,298	331,18	4,040	2,364
WHITE	9,374	0,276	327,47	3,890	2,450
L X C	**	NS	*	*	**

Médias com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%.
Medidas obtidas em folhas das 9 às 11 hs, aos 83 DAT.
Taxa de fotossíntese líquida (A - µmol de CO2 m-2 s-1), condutância estomática (Gs - mol de H2O m^{-2} s^{-1}), concentração interna de carbono (Ci - µmol CO_2 mol^{-1}), taxa de transpiração (E - mmol de H_2O m^{-2} s^{-1}), eficiência do uso da água (EUA - A/E).

A taxa fotossintética líquida (A) foi maior nos tratamentos 83R:17B e 75R:25B em relação ao controle, para o cultivar Royal Magenta. A concentração interna de CO_2 (Ci) foi menor nos tratamentos 83R:17B, 75R:25B e 50R:25R1:25B também para o cultivar Royal Magenta em relação ao controle. A taxa de transpiração (Trmmol) foi maior no conjunto de LED 75R:25B em relação ao controle para o cultivar Royal Magenta. Para o cultivar White, o resultado foi diferente, sendo que a Trmmol dos tratamentos 67R:33B e 83R:17B foram superiores aos demais tratamentos e semelhante ao controle. A eficiência no uso da água (EUA) foi maior no tratamento 83R:17B em relação ao controle, para o cultivar Royal Magenta (Tabela 6).

Tabela 6 - Taxa de fotossíntese líquida, concentração interna de carbono, taxa de transpiração, eficiência do uso da água, sob influência da interação entre iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens.

Fatores de Estudo	PHOTO (A)		Ci		Trmmol (E)		EUA (A/E)	
LED (L)	Royal Magenta	White	Royal Magenta	White	Royal Magenta	White	Royal Magenta	White
83R:17B	11,639 aA	10,251 aA	315,75 bA	328,68 aA	4,150 abA	4,598 aA	2,834 aA	2,242 aA
75R:25B	11,669 aA	8,084 aA	323,96 bA	329,86 aA	4,878 aA	3,431 bB	2,376 abA	2,408 aA
67R:33B	10,073 abA	9,419 aA	329,35 abA	335,35 aA	3,951 abA	4,342 aA	2,548 abA	2,155 aA
50R:25R1:25B	9,263 abA	9,512 aA	328,74 bA	312,19 aA	3,956 abA	3,297 bA	2,417 abA	2,881 aA
CONTROL	5,341 bA	9,611 aA	358,11 aA	331,27 aA	3,261 bA	3,775abA	1,638 bA	2,559 aA
ANOVA (F/PR)	4,62 (0,0084)		4,25 (0,0119)		3,19 (0,0353)		5,07 (0,0055)	

Médias com letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, com significância de 5%.
Taxa de fotossíntese líquida (A - µmol de CO_2 m^{-2} s^{-1}), concentração interna de carbono (Ci - µmol CO_2 mol^{-1}), taxa de transpiração (E - mmol de H_2O m^{-2} s^{-1}), eficiência do uso da água (EUA - A/E).
Medidas obtidas em folhas das 9 às 11 hs, aos 83 DAT.

As atividades das enzimas SOD e APX e as concentrações de H_2O_2 e MDA foram influenciados somente pelos cultivares de Sunpatiens. As maiores concentrações de SOD e APX foram encontradas no cultivar White, enquanto que as concentrações de H_2O_2 e MDA foram menores para esse cultivar em relação ao cultivar Royal Magenta. (Tabela 7).

Tabela 7 - Atividade das enzimas antioxidantes catalase, superóxido dismutase e ascorbato peroxidase, quantidade de indicadores de estresse peróxido de hidrogênio e malonaldeído em folhas coletadas aos 131 DAT sob influência de iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens.

FATORES DE ESTUDO	CAT	SOD	APX	H_2O_2	MDA
LED (L)	NS	NS	NS	NS	NS
83R:17B	1,985	30,830	29,043	3.393,08	13,579
75R:25B	1,770	25,871	25,871	3.791,17	16,650
67R:33B	1,830	26,512	44,122	4.098,00	15,944
50R:25R1:25B	1,710	29,728	29,728	3.427,17	13,204
Control	1,665	50,094	56,891	3.713,67	13,687
Cultivars (C)	NS	**	**	**	*
Royal Magenta	1,758	13,44 b	11,515 b	4.151,70 a	16,059 a
White	1,826	51,78 a	62,405 a	3.217,53 b	13,167 b
L X C	NS	NS	NS	NS	NS

Médias com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%.
Enzimas antioxidantes catalase (CAT - µmol/min/mg de proteína), superóxido dismutase (SOD – (U SOD/mg de proteína)) e ascorbato peroxidase (APX- nmol/min/mg de proteína), quantidade de indicadores de estresse peróxido de hidrogênio (H_2O_2 - mmol/g de matéria fresca) e malonaldeído (MDA - mmol/g de matéria fresca).

Os teores de clorofila a e b, carotenoides e antocianina foram 35,6%, 104,5%, 30,50% e 616,50% maiores para o cultivar Royal Magenta em relação ao cultivar White, respectivamente. Para a concentração de quercetina nas folhas, houve interação significativa

entre os tratamentos, sendo que para o cultivar White o teor de quercetina foi maior no tratamento 67%R:33B em relação ao controle (Tabelas 8 e 9).

Tabela 8 - Teores de clorofila e carotenoides (Clor a, Clor b e Carot. - mg/g de folha fresca), antocianina total e quercetina (Ant. e Querc. - mg/100g fração da amostra), sob influência de iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens.

FATORES DE ESTUDO	CLOR. A	CLOR. B	CAROT.	ANT.	QUERC.
LED (L)	NS	NS	NS	NS	*
83R:17B	0,564	0,034	0,408	14,554	74,045
75R:25B	0,527	0,028	0,382	12,733	74,710
67R:33B	0,579	0,035	0,438	13,090	80,980
50R:25R1:25B	0,623	0,033	0,438	12,458	67,240
CONTROL	0,617	0,036	0,431	13,752	70,120
CULTIVARS (C)	**	**	**	**	NS
ROYAL MAGENTA	0,670 a	0,045 a	0,475 a	23,372 a	74,680
WHITE	0,494 b	0,022 b	0,364 b	3,262 b	72,158
L X C	NS	NS	NS	NS	*

Médias com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%.

Tabela 9 - Concentração de quercetina (Querc. - mg/100g fração da amostra), sob influência da interação entre iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens.

FATORES DE ESTUDO	QUERCETINA	
LED (L)	Royal Magenta	White
83R:17B	75,587 aA	72,498 abA
75R:25B	72,084 aA	77,339 abA
67R:33B	78,688 aA	83,268 aA
50R:25R1:25B	67,983 aA	66,503 abA
Control	79,058 aA	61,184 bA
ANOVA F(Pr)	2.97 (0.0446)	

Médias com letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, com significância de 5%.

4.2. Plantas Matrizes

A qualidade e a produtividade das plantas matrizes após a última coleta das estacas, avaliadas pela altura, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, massa seca (das folhas, do caule, das raízes) e número de caules por planta constam na Tabela 10.

Tabela 10 - Altura, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, massa seca das folhas, dos caules, das raízes e número de caules das plantas matrizes, sob influência de iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens, no final do período de cultivo.

FATORES DE ESTUDO	ALTURA (cm)	DC (mm)	NF	AF (cm^2)	MSF (g)	MSC (g)	MSR (g)	NC
LED (L)	NS	NS	NS	NS	**	**	**	NS
83R:17B	13,07	8,92	339,50	334,65	1,46 a	3,032 a	2,058 a	3,67
75R:25B	13,12	9,52	366,42	334,93	1,74 a	3,127 a	2,138 a	3,75
67R:33B	12,80	9,55	335,42	316,64	1,52 a	2,785 ab	1,825 ab	3,34
50R:25R1:25B	12,75	9,01	343,42	331,05	1,61 a	3,000 a	2,362 a	3,92
Control	12,13	8,75	285,58	292,51	1,12 b	2,090 b	1,177 b	3,75
Cultivars (C)	NS	NS	**	NS	NS	NS	*	NS
Royal Magenta	13,13	9,01	295,13 b	320,57	1,47	2,91	2,072 a	3,77
White	12,42	9,29	373,00 a	323,34	1,51	2,71	1,752 b	3,60
L X C	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Médias com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%.
Diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), massa seca das folhas (MSF), dos caules (MSC), das raízes (MSR) e número de caules (NC).

A altura, o diâmetro do caule (DC), a área foliar (AF) e o número de caule (NC) das plantas matrizes não foram influenciados pelos tratamentos adotados. O número de folhas (NF) das plantas matrizes foi influenciado somente entre os cultivares de Sunpatiens, sendo que a massa seca das folhas (MSF), a massa seca do caule (MSC) e a massa seca das raízes (MSR) das plantas matrizes foram afetados pelo uso de iluminação artificial, e ainda pelos cultivares, para a massa seca das raízes. O número de folhas foi 26,4% superior e a massa seca das raízes foi 15,4% inferior para o cultivar White em relação ao Royal Magenta. Para a massa seca das folhas (MSF), todos os tratamentos com LED foram superiores em relação ao controle, sendo que a massa seca do caule e massa seca das raízes, os tratamentos com LED, com exceção do conjunto de LED 67R:33B também proporcionaram maiores valores para estas características em relação ao controle (Tabela 10).

Nas Figuras 23, 24 e 25 é possível ver as plantas dos dois cultivares em alguns tratamentos no momento da avaliação.

Figura 23 - Plantas matrizes do cv. White, antes e após lavagem de raízes

Figura 24 - Plantas matrizes do cv. Royal Magenta, após lavagem das raízes, controle (dir.) e 67R:33B (esq.)

Figura 25 - Plantas matrizes do cv. Royal Magenta, mostrando as folhas retiradas dos caules no tratamento 75R:25B

O número de tricomas das plantas matrizes foi afetado tanto pelo conjunto de LEDs, como pelos cultivares (Tabela 11). Os conjuntos de LEDs 67R:33B e 83R:17B aumentaram em média 41,0% o número de tricomas em relação ao controle (Figura 26). O cultivar Royal Magenta produziu 37,5% mais tricomas em relação ao cultivar White (Tabela 11).

Tabela 11 - Número de tricomas aos 250 DAT e espessura das folhas aos 111 DAT das plantas matrizes, sob influência de iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens.

FATORES DE ESTUDO	N$^{O.}$ TRICOMAS	ESPESSURA FOLHA (mm)
LED (L)	*	**
83R:17B	21,833 a	0,440
75R:25B	18,583 ab	0,315
67R:33B	21,417 a	0,278
50R:25R1:25B	17,417 ab	0,387
Control	15,333 b	0,263
Cultivars (C)	**	NS
Royal Magenta	21,900 a	0,314
White	15,933 b	0,359
L X C	NS	**

Médias com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%.

Figura 26 - Contagem do número de tricomas cv. Royal Magenta (esquerda: 67R:33B, direita: controle)

Para a espessura das folhas das plantas matrizes, houve interação significativa entre os tratamentos e cultivares. O conjunto de LED 50R:25R1:25B aumentou em 122,1% e 87,0% essa característica em relação ao controle e ao conjunto de LED 67R:33B, respectivamente, no cultivar Royal Magenta. Para o cultivar White, por sua vez, o conjunto de LED 83R:17B promoveu maior espessura da folha em relação aos demais tratamentos e ao controle (Tabela 12).

Tabela 12 - Espessura das folhas das plantas matrizes aos 111 DAT, sob influência da interação entre iluminação artificial e cultivares de Sunpatiens.

FATORES DE ESTUDO	ESPESSURA FOLHA (mm)	
LED (L)	Royal Magenta	White
83R:17B	0,330 abB	0,550 aA
75R:25B	0,303 abA	0,327 bA
67R:33B	0,253 bA	0,303 bA
50R:25R1:25B	0,473 aA	0,300 bA
CONTROL	0,213 bA	0,313 bA
ANOVA F (PR)	8.02 (0.0005)	

Médias com letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, com significância de 5%.

4.3. Mudas

Os valores de altura, número de folhas (NF), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR) das mudas produzidas a partir das estacas, em função dos tratamentos empregados, constam na Tabela 13. O número de folhas (NF) e a massa seca da parte aérea (MSPA) diferiram somente entre os cultivares, sendo que o número de folhas foi maior e a massa seca da parte aérea (MSPA) menor para o cultivar White em relação ao Royal Magenta. Houve interação significativa entre os tipos de iluminação artificial e cultivares para a altura das mudas. No cultivar White, o conjunto de LED composto por 83R:17B reduziu em 21,3% a altura da muda em relação ao controle. Esse cultivar apresentou altura da muda 20,6% menor em comparação com o Royal Magenta, nesse conjunto de LED (Tabela 14).

Tabela 13 - Altura, número de folhas, área foliar, massa seca parte aérea e massa seca da raiz das mudas produzidas à partir de estacas colhidas aos 77 DAT, sob influência das cultivares de Sunpatiens e da iluminação artificial, usada anteriormente nas plantas matrizes.

FATORES DE ESTUDO	ALTURA (cm)	NF	AF (cm^2)	MSPA (g)	MSR (g)
LED (L)	*	NS	NS	NS	NS
83R:17B	4,140	4,763	7,549	0,049	0,027
75R:25B	4,130	4,650	7,850	0,050	0,029
67R:33B	4,330	4,850	8,888	0,051	0,030
50R:25R1:25B	4,290	4,763	8,299	0,052	0,029
CONTROL	4,590	4,750	8,711	0,059	0,029
CULTIVARS (C)	**	**	NS	**	NS
ROYAL MAGENTA	4,460	4,415 b	8,103	0,058 a	0,027
WHITE	4,132	5,095 a	8,416	0,043 b	0,030
L X C	*	NS	NS	NS	NS

Médias com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%.
Número de folhas (NF), área foliar (AF), massa seca parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR).
Mudas avaliadas após 3 semanas em bandejas de 200 células.

Tabela 14 - Altura das mudas produzidas à partir de estacas colhidas aos 77 DAT e avaliadas após 3 semanas em bandejas de 200 células, sob influência da interação entre cultivares de Sunpatiens e da iluminação artificial, usada anteriormente nas plantas matrizes.

FATORES DE ESTUDO	ALTURA (cm)	
LED (L)	Royal Magenta	White
83R:17B	4,525 aA	3,750 bB
75R:25B	3,975 aA	4,275 abA
67R:33B	4,575 aA	4,075 abA
50R:25R1:25B	4,575 aA	4,000 abA
CONTROL	4,625 aA	4,550 aA
ANOVA F(PR)	3,80 (0,0129)	

Médias com letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, com significância de 5%.

5. DISCUSSÃO

5.1. Estacas

5.1.1. Parâmetros biométricos

Na produção da maioria das flores e plantas ornamentais em ambiente protegido, em períodos de menor intensidade luminosa, a luz artificial tem sido empregada, pois a luz natural pode ser inadequada para favorecer o crescimento e o desenvolvimento suficientes para muitas espécies. Assim, muitas vezes é necessária iluminação suplementar para produzir plantas de alta qualidade, compactas, com boa proporção de brotações laterais e número de flores (HUTCHINSON et al., 2012; CURREY et al., 2012; CURREY; LOPEZ, 2013b; SABZALIAN et al., 2014).

No Brasil, há abundância de luz natural, no entanto, sob cultivo protegido com uso de telas de sombreamento e com um alto estande de plantas, faz-se necessário estudos para verificar as influências do uso de iluminação artificial, sendo assim, é um método indicado para viveiros para aumentar a luz diária integral (DLI) recebida pelas plantas para melhorar a produtividade das plantas.

Algumas fontes de iluminação artificial como HPS, fluorescentes e LEDs estão sendo utilizados em produção comercial de plantas (TINUS, 1995; BOURGET, 2008). A tecnologia LED é a mais recente e tem um grande potencial de expansão no mercado, no entanto é necessário investimento em pesquisa, visto que muitos resultados já disponíveis são controversos, porque são utilizados diferentes espécies e cultivares de plantas e também devido às diversas condições experimentais (OUZOUNIS et al., 2014).

A propagação vegetativa de flores e plantas ornamentais por meio de estacas retiradas da parte terminal das brotações vegetativas é um método eficiente para produzir um grande número de mudas. Esse método de propagação requer a formação de raízes adventícias, que são aquelas que se formam a partir do caule ou outras estruturas localizadas na parte aérea da planta. Por isso, o crescimento e a qualidade das estacas são fundamentais para o sucesso da etapa de produção de mudas (CARVALHO; SILVA, 2012). Quanto maior o estímulo de produção de folhas, mais produtiva será o cultivar, então é considerado positivo o tratamento de LED que estimula o desenvolvimento vegetativo das plantas matrizes, o que poderá contribuir para o aumento da produtividade.

Nesse estudo, o crescimento, a produtividade e a qualidade das estacas coletadas das plantas matrizes foram influenciados pelos conjuntos espectrais de LED formados por luz vermelha (R) e luz azul (B) e pelos materiais genéticos.

Nos estádios iniciais de crescimento das plantas matrizes (27, 54 e 83 DAT), a resposta de produção de estacas foi controlada pelo material genético e pela luz LED, uma vez que o cultivar Royal Magenta não respondeu positivamente à iluminação artificial, enquanto que o cultivar White teve maior número de estacas com o uso do conjunto LED 75R:25B aos 54 DAT e com 67R:33B aos 83 DAT, em relação às plantas não submetidas à iluminação artificial (Tabela 2). Aos 83 DAT, a incidência de luz natural na casa de vegetação foi menor que o período anterior (54 DAT) (Figura 1). Em condições de menor disponibilidade de radiação solar, a maior proporção de luz azul no conjunto LED resultou em maior brotação lateral em relação aos demais tratamentos e ao controle (Tabela 2).

O número de estacas por planta, no final do período de cultivo (202 DAT), foi 35,4% maior com a suplementação luminosa 83R:17B, mostrando que o crescimento foi regulado pela qualidade espectral do LED (Tabela 1).

Quando as plantas são cultivadas em ambiente protegido, o efeito da qualidade da luz suplementar é dependente da luz natural presente, no entanto, em nosso estudo alguns resultados foram positivos com o uso do LED nas épocas com maior luz diária integral (DLI), pois a produção da cv. White foi superior nos tratamentos 75R:25B e 67R:33B em relação ao controle no início do outono aos 54 DAT e 83 DAT. Este resultado não se repetiu dos 118 DAT até 167 DAT (Tabelas 1 e 2).

No inverno (202 DAT), a suplementação luminosa com os diferentes conjuntos de LED, por 12 horas de fotoperíodo não foi capaz de realizar a compactação das estacas, determinada pelo comprimento e diâmetro do caule (Tabela 3).

O número de folhas das estacas aos 202 DAT das plantas matrizes no cultivar White variou dentro dos tratamentos com iluminação artificial (Tabela 4). Randall & Lopez (2015) observaram que número de folhas foi maior em *Impatiens walleriana* sob LED (87V:13A, 70V:30A) em relação ao controle (com luz natural) e Akbarian et al. (2016) verificaram que o número de folhas de *Impatiens balsamina* no tratamento 75V:25A foi menor em relação aos outros tratamentos com LED azul e LED vermelho. Estes autores trabalharam com outras espécies anuais floríferas (Zinnia, Petúnia e Verbena) e sugeriram que o efeito da qualidade da luz sobre esta caracterísitca também depende da espécie e dos cultivares.

5.2. Plantas matrizes

5.2.1. Parâmetros biométricos

As respostas com o uso de LED dependem do estágio de desenvolvimento da planta, da intensidade da luz e da duração do tratamento e outras interações ambientais (SNOWDEN et al., 2016).

Foi observado que os tratamentos com LED promoveram melhoria na massa seca das plantas matrizes no final do ciclo de cultivo (Tabela 10). Randall & Lopez (2015) também observaram que a massa seca de raiz e parte aérea foi maior em *Impatiens walleriana* usando LED (87V:13A, 70V:30A) em relação ao controle (com luz natural).

Um manejo indicado para manter as plantas matrizes compactas (12-13 cm - Tabela 10) é procedendo a colheita das estacas semanalmente nas épocas quentes ou até quinzenalmente na épocas mais frias. Contudo, a colheita neste viveiro, onde foi conduzido os experimentos, é feita para atender a demanda das vendas, sendo que há variação nas quantidades e na frequência das coletas por cultivar. Sendo assim, em alguns casos, a colheita é feita abaixo da capacidade produtiva das plantas matrizes, o que propicia um crescimento muito vigoroso das mesmas, causando maior competição por luz, espaço e desuniformidade no porte destas plantaszes. Neste experimento, a colheita foi feita independente das vendas e, assim, as plantas matrizes mantiveram-se compactas, não diferindo do controle e não sofreram influência do uso das LEDs na época da avaliação, exceto com relação à massa seca ((Tabela 10).

Carvalho et al. (2012) ressaltam que plantas matrizes pouco solicitadas devem ser podadas para não propiciar crescimento intenso, superposição das plantas e dificuldade no manejo, caso contrário ocorre diminuição do fluxo de oferta de materiais propagativos.

As LEDs usadas em nosso experimento variaram entre 17-33% de luz azul, valores praticamente dentro dos indicados por Randall e Lopez (2015) que foi de 10-30% de luz azul para um sistema de produção em multicamadas de mudas de plantas ornamentais. Esta variação depende dos atributos específicos desejáveis da cultura e dos custos. Estes pesquisadores lançaram uma hipótese que a luz azul promove um aumento da espessura da folha e redução na área foliar, no entanto em nossas pesquisas com Impatiens obtivemos resultados um pouco diferentes, sendo que a área foliar foi a mesma entre todos os tratamentos (Tabela 10) e maior espessura da folha foi obtida apenas no tratamento 83R:17B com o cv. White (Tabela e 12).

Em Sunpatiens, o diâmetro do caule das plantas matrizes não foi afetada pelas diferentes combinações de LEDs (Tabela 10). Akbarian et al. (2016) obtiveram o mesmo resultado com outras espécies de flores: crisântemo, kalanchoe e poinsetia, trabalhando com outros tipos de

LEDs (89V:11A e B-Branco) e acrescentaram que o diâmetro do caule varia dependendo do genótipo e pode aumentar ou não ser afetado pela qualidade da luz. Já, Randall e Lopez (2015) observaram que o diâmetro do caule foi maior em *Impatiens walleriana* sob LED (87V:13A, 70V:30A) em relação ao controle (com luz natural).

5.2.2. Parâmetros fotossintéticos

A capacidade fotossintética e o crescimento das plantas são fortemente afetados pela luz natural e artificial. No geral, a luz artificial, composta por LED vermelha e azul possui um efeito combinado na fotossíntese em diferentes comprimentos de ondas (HOGEWONING et al., 2010; LIN et al., 2013). O desenvolvimento do aparato fotossintético é mais afetado pela luz vermelha, enquanto que a luz azul é importante para formação de clorofila, fotomorfogênese e abertura estomática (SAEBO et al., 1995). Porém, a resposta da planta à qualidade espectral do conjunto de LED depende também da espécie ou do cultivar.

Estudos reportaram que o aumento da porcentagem de luz azul e a irradiância da luz resulta em aumento da taxa fotossintética em plantas de pepino cv. Hoffmann`s Giganta, cultivado sob diferentes combinações de LED vermelho e azul (HOGEWONING et al., 2010). Por outro lado, para a cultura de alface cv. green skirt o aumento da proporção da luz vermelha em relação ao azul aumentou a taxa fotossintética líquida (KANG et al., 2016).

É possível evidenciar claramente que a resposta das plantas ao conjunto de LED foi dependente do cultivar de Sunpatiens. Para o cultivar Royal Magenta, a eficiência fotossintética foi maior com a menor proporção de LED azul, no conjunto espectral 83R:17B, enquanto que, para o cultivar White, os parâmetros fotossintéticos não foram afetados pelos conjuntos de LED em relação às plantas controle (Tabela 6).

A combinação espectral com menor proporção de azul (83R:17B) contribuiu com a maior taxa fotossintética (A), como também com a melhor eficiência no uso da água (EUA) no cv. Royal Magenta (Tabela 6). Isto aconteceu porque uma maior quantidade de radiação na faixa do vermelho atingiu os cloroplastos e foi responsável pelo ganho significativo em fotossíntese no cv. Royal Magenta, que apresenta alta concentração de antocianina em suas folhas, que absorveu a luz azul. O mesmo foi relatado por Roni et. al. (2017) num estudo com plantas de Lisianthus, só que usando LED monocromática azul em relação a LED bicromática vermelho e azul.

Outros pesquisadores como Bergstrand; Schussler (2013) não encontraram diferença nas medidas da fotossíntese entre os tipos de LEDs (89V:11A e B) testadas nas plantas de Petúnia e Gerânio e estes dados corroboram com os de nosso estudo no cv. White. Ouzounis et

al. (2014) usando as LEDs 60V:40A, 80V:20A e 100V, encontraram resultados similares da taxa fotossintética ao trabalharem com as culturas de Rosa, Crisântemo e Campânula e também observaram uma maior condutância estomática (Gs) com a maior porcentagem de luz azul (60V:40A). Em nossa pesquisa com Impatiens não foi detectado nenhuma diferença tanto com o uso de iluminação artificial quanto entre os cultivares para condutância estomática (Gs) (Tabelas 5 e 6).

Em nossas pesquisas não foi detectado diferença significativa na taxa fotossintética líquida entre os cultivares com o uso de LEDs e entre os controles, mas verificando os valores absolutos pode ser visto variações altas (Tabela 6). Paradiso et al. (2011) usando luz LED (645 nm) em compração com HPS relataram um aumento da fotossíntese de 23% nas folhas vermelhas e 18% nas folhas verdes no cv. de Rosa Akito, mas salientaram que não pode extrapolar estes dados para todo o dossel da planta, que diminuiu para 17 e 12%, respectivamente e atribuíram a causa deste comportamento ao maior teor de antocianina nas folhas avermelhadas.

5.2.3. Pigmentos

A qualidade da luz influencia vários parâmetros biométricos, já discutidos anteriormente, como também na biossíntese de metabólitos secundários, como componentes aromáticos voláteis (óleos essenciais), componentes medicinais e pigmentos presentes nas plantas (NOGUCHI; AMAKI, 2016).

5.2.3.1. Antocianinas

As antocianinas são pigmentos naturais, solúveis em água, que pertencem à família dos flavonoides, fazem parte do metabolismo secundário das plantas, sendo produzidas em folhas, flores, frutos e caules (TANAKA; OHMIYA, 2008).

A influência da luz na síntese e acumulação de antocianinas foi estudado em várias culturas. A biossíntese de antocianina pode ser aumentada localmente por vários estressores, como patógenos, mudanças de temperatura, alta radiação, e radiação UV-B (STEYN et al., 2002).

Há evidências de que as antocianinas podem proteger os tecidos fotossintéticos da fotoinibição pela absorção da luz azul e verde, reduzindo a quantidade de luz que alcança os cloroplastos (MERZLYAK et al., 2008). Portanto, sob iluminação artificial com menor

proporção de luz azul resultou em maior taxa fotossintética líquida para o cultivar Royal Magenta (que apresenta alto teor de antocianina – Tabela 8) porque uma maior quantidade de radiação na faixa do vermelho atingiu os cloroplastos e foi responsável pelo ganho significativo em fotossíntese. O cultivar White, por sua vez, não respondeu à iluminação artificial, embora em valores absolutos, a maior taxa fotossintética líquida foi observada para o conjunto de LED também com menor proporção de azul (Tabela 6).

As antocianinas também são potentes antioxidantes, pois eliminam os tipos reativos de oxigênio (EROS) geradas durante a fotossíntese, sob condições de alta intensidade luminosa e baixa temperatura. No cultivar Royal Magenta a concentração de antocianina foi seis vezes maior que a encontrada no cultivar White. Em Sunpatiens o teor de antocianina foi aferido nas folhas e não foi observado efeito significativo dos tratamentos com LED em relação ao controle (Tabela 8), o contrário foi observado por De Keyser et al. (2019) na espécie *Hypoestes phyllostachya* usando LEDs bicromáticas (80V:20A).

Resultados diferentes foram alcançados também por Wojciechowska et al. (2019) que conduziram uma pesquisa com *Lachenalia* Rupert, com LEDs bicromáticas nas proporções de 10 e 20% de luz azul e 90 e 80% de vermelho e houve aumento significativo nas quantidades de matéria seca da inflorescência e também no teor de antocianina nas pétalas das flores, comparado com o uso somente de luz vermelha (100%) e as plantas de controle (sob luz natural), o que melhorou a decoratividade da floração.

5.2.3.2. Clorofila a, b e Carotenoides

Os teores de clorofila a e b não foram afetados com os tratamentos de iluminação artificial, no entanto esperava-se uma resposta diferente, pois o conteúdo de clorofila está envolvido na absorção de luz e na taxa fotossintética das folhas, sendo que este último foi significativamente superior na cultivar Royal Magenta (Tabelas 6 e 8). Nos estudos realizados por Roni et al. (2017) em Lisianthus, que testaram LEDs monocromáticas Vermelho, Azul e Branco (V, A e B), o resultado foi diferente, sendo que o conteúdo de clorofila nas folhas tratadas com LED B foi superior em comparação com os outros.

O teor de clorofila foi maior no cultivar Royal Magenta (folhas avermelhadas) em relação ao cultivar White (folhas verdes), a taxa fotossintética foi igual entre as cultivares, no entanto ao analisar a interação dentro do cultivar Royal Magenta a taxa de fotossíntese líquida foi bem maior que o controle (Tabelas 5, 6 e 8). Randall e Lopez (2015) observaram que conteúdo de clorofila foi maior em *Impatiens walleriana* sob LED (87V:13A, 70V:30A) em

relação ao controle (com luz natural). Zhang et al. (2019) trabalhando com *Mikania micrantha*, comparando suas folhas avermelhadas e verdes, encontraram resultados semelhantes quanto ao teor de clorofila.

Cope et al. (2014) apontaram as principais causas da ineficiência da fotossíntese quando envolve outros pigmentos, sendo que 20% dos fótons da luz azul são absorvidos por fótons não fotossintéticos (como antocianinas), que resultam em perda de energia (em calor e/ou fluorescência), alguns fótons azuis são absorvidos por pigmentos secundários (como carotenoides), que podem ser de 10-65% menos eficientes que clorofila.

Está tendo um aumento no uso de LED branca, pelo fato dela possuir outros comprimentos de onda fora do vermelho e azul, permitindo que o fluxo de fótons dentro da faixa RFA possa ser usado com grande foco para fotossíntese, que no caso são na maioria absorvidos pelas clorofilas. Quando se usam LEDs bicromáticas vermelhas e azuis, outros pigmentos, como os carotenoides, também absorvem luz e acabam usando comprimentos de onda importantes para a fotossíntese, o que pode contribuir para diminuir a eficiência fotossintética. O teor de carotenoides foi menor no cultivar White, no entanto, a taxa fotossíntese líquida foi maior no Royal Magenta, o que indica que outros fatores podem estar envolvidos nesta dinâmica (Tabelas 6 e 8).

5.2.3.3. Quercetina

A quercetina é um pigmento amarelo, encontrado em muitas espécies de plantas, pertence à classe dos flavonoides e à subclasse dos flavonóis (BRAVO, 1998). É considerado um metabólito secundário, com propriedades medicinais (LIM et al., 2007). Alguns flavonoides, como quercetina e outros exibem atividade antioxidante, possuem propriedades quelantes de íons metálicos, bem como ação antimicrobiana e antibacteriana (SEIGLER, 1998).

A quercetina pode inibir o processo de formação de radicais livres em três estapas diferentes: na iniciação (pela interação com íons superóxido), na formação de radicais hidroxil (por quelar íons de ferro) e na peroxidação lipídica (por reagir com radicais peroxi de lipídeos) (AFANAS, et al., 1989).

Entre todos os pigmentos analisados neste estudo, apenas o teor de quercetina não apresentou diferença entre as duas cultivares, portanto tanto o cv. Royal Magenta quanto o White apresentaram teores do pigmento amarelo similares e a respeito dos outros pigmentos (carotenoides, antocianina, clorofilas a e b) o cultivar Royal Magenta foi superior (Tabela 8).

A luz azul é importante para melhorar a produção e acúmulo de compostos fitoquímicos, como fenólicos, carotenoides, voláteis e no aumento da atividade antioxidante. O teor de quercetina foi superior em relação ao controle no tratamento com maior porcentagem de azul apenas no cultivar White (Tabela 9). Similarmente, ocorreu no trabalho conduzido por Ouzounis et al. (2014) em que fizeram análise deste mesmo metabólito secundário nas folhas de Rosa e detectaram que o teor de quercetina foi significativamente maior no tratamento com LED 60V:40A, comparando-se com o controle, e foi igual nos outros tratamentos com LED 80V:20A e 100V. Ressalta-se que, nestas duas pesquisas, o teor mais elevado de quercetina foi observado no tratamento com maior porcentagem de luz B.

Em nosso estudo foi detectada diferença em muitas variáveis entre cultivares, ou seja, dentro da mesma espécie. Nascimento et al. (2013) encontraram resultados semelhantes aos nossos, só que com Kalanchoe e propuseram que a luz azul melhorou a atividade antioxidante, que protege a planta contra estresse oxidativo, causado pelas condições ambientais. Ouzounis et al. (2014) propuseram que a diferença de resposta entre espécies se dá devido às variações das propriedades ópticas (absorção, reflexão e transmitância) das folhas. No entanto, Paradiso et al. (2011) mostraram que em Rosa cv. Akito os valores de absorção, reflexão e transmitância foram bem similares nas folhas avermelhadas e verdes dentro da faixa do visível do espectro luminoso (400 – 700 nm).

5.2.4. Enzimas antioxidantes e indicadores de estresse

As antocianinas exibem atividades antioxidantes por eliminarem espécies reativas de oxigênio (EROs). Soluções purificadas de antocianinas têm demostrado propriedades antioxidantes *in vitro* (NEILL et al., 2002), pois reduzem os níveis de H_2O_2 (peróxido de hidrogênio) (YAMASAKI, 1997) e O^{2-} (YAMASAKI et al., 1996).

Plantas que acumulam antocianinas nas folhas podem reduzir os danos oxidativos e aumentar a taxa fotossintética, como ocorreu com o cultivar Royal Magenta (que apresenta folhas avermelhadas) nos tratamentos 83R:17B e 75R:25B em comparação com o cultivar White (que apresenta folhas verdes) (Tabelas 6 e 8).

Como substâncias tóxicas, as EROs podem destruir macromoléculas biológicas, atacar membranas celulares e acelerar danos foliares. Resultados das pesquisas feitas por Zhang et al. (2019) corroboram com os nossos, pois mostraram que a capacidade antioxidante total das folhas e caules de *Mikania micrantha* vermelha foi significativamente maior do que *Mikania micrantha* verde. As EROs acumularam mais em folhas e caules de *Mikania micrantha* verde

do que *Mikania micrantha* vermelha, indicando que o acúmulo de antocianina efetivamente eliminou EROs sob estresse abiótico provocado por baixas temperaturas.

Outros estudos têm mostrado que plantas sob condições ambientais de alta luminosidade apresentaram aumento no conteúdo de antocianinas para filtrar o excesso de energia luminosa. A redução da absorção de luz solar pelas folhas resultou na diminuição da taxa fotossintética das plantas (LEV-YADUN; GOULD, 2008). Em nosso estudo, os resultados foram diferentes pois a taxa fotossintética foi igual ou superior em relação ao controle (Tabela 6) e o conteúdo de antocianina não aumentou com o uso de luz LED em relação ao controle (Tabela 8).

Plantas sob condições de estresse, que estimula a produção de antocianina, têm demonstrado aumento dos níveis das enzimas oxidantes, tais como, CAT, SOD e APX em suas folhas (LOGAN et al., 1998). Neste estudo, com plantas de Impatiens, o cultivar Royal Magenta de folhas vermelhas foi mais eficiente no combate ao estresse oxidativo do que o cultivar White de folhas verdes, comprovado pelos maiores conteúdos das enzimas antioxidantes SOD e APX e menores conteúdos de peróxido de hidrogênio e MDA (Tabela 7).

As antocianinas podem absorver até 17% da radiação incidente e reduzir as EROs geradas pela fotooxidação e fotorrespiração nas células esponjosas do mesófilo. A SOD catalisa a conversão de O^{2}- em H_2O_2 e a CAT remove o H_2O_2 resultante. A APX é uma enzima chave, responsável pela eliminação de H_2O_2 durante estresse oxidativo em plantas (TANG et al., 2019).

O malonaldeído (MDA) é um subproduto da peroxidação lipídica e, também é amplamente utilizado como biomarcador do estresse oxidativo em plantas (DAVEY et al., 2005; LIN; KAO, 2000). A diferença significativa no conteúdo de MDA nos cultivares de Impatiens em nosso estudo indica que o nível de estresse oxidativo foi menor para as folhas vermelhas do cv. Royal Magenta em relação às folhas verdes do cultivar White, sugerindo também que a antocianina atuou como eliminadora de EROs (Tabela 7).

Quinet et al. (2015) trabalharam com a espécie *Impatiens parviflora* sob condições de plena e pouca disponibilidade de luz, 150 e 85 micromol m^{-2} s^{-1}, respectivamente, e não observaram nenhum efeito significativo na concentração de MDA entre estes tratamentos, o que corrobora com os resultados obtidos com *Impatiens hybrid hort*, que pertencem ao mesmo gênero (Tabela 7). Estes mesmos autores, encontraram valores significativamente superiores na concentração de MDA somente nos tratamentos com estresse adicional, no caso com déficit hídrico.

A iluminação artificial em diferentes qualidades espectrais não foi capaz de estimular o sistema protetor das plantas de Sunpatiens para o alívio das EROs, demonstrando que as

respostas das enzimas antioxidantes e dos indicadores H_2O_2 e MDA ao estresse provocado pela luz suplementar podem variar de acordo com as condições ambientais dentre outros fatores (Tabela 7). No período de coleta das folhas para análise bioquímica, as plantas encontravam-se no final do outono (131 DAT), numa época em que a intensidade da iluminação natural era menor em relação ao período de verão (Figura 1).

A iluminação artificial nas diferentes qualidades espectrais na intensidade de 150 micromol m^{-2} s^{-1} não resultou em estresse oxidativo das plantas, pois os conteúdos das enzimas CAT, SOD e APX e dos indicadores de estresse (H_2O_2 e MDA) não foram significativamente alterados pelo uso da luz, pelo estresse luminoso nas condições deste estudo (Tabela 7).

A luz é um dos fatores ambientais mais importantes e que apresenta uma função crítica no metabolismo e desenvolvimento das plantas. A luz é indispensável para os processos de fotossíntese e fotomorfogênese, porém a sua influência nestes processos e na ativação do sistema protetor das plantas contra as EROs depende da época de cultivo, da intensidade luminosa, da qualidade espectral e da espécie, dentre outros fatores.

5.2.5. Característica anatômica - Tricomas

Os tricomas são projeções da epiderme vegetal e podem estar presentes nas faces adaxial (superior) e abaxial (inferior) das folhas, como também em outras partes, como caule, flores em várias espécies (BARBOZA et al., 2006). Tais estruturas podem representar uma adaptação morfológica, que atuam restringindo a perda de água pelas folhas, diminuindo a taxa de transpiração, por meio da regulação da temperatura, pela reflexão da luz que chega às folhas e, ainda, pode secretar substâncias que protegem as folhas contra patógenos e pragas (LARCHER, 2000; SANDQUIST; EHLERINGER, 1997). A freqüência dos tricomas podem aumentar com a intensidade da luz, com a exposição ao vento, com a altitude e com a umidade do solo e do ar (ELLIS, 1976).

Em um estudo conduzido com abacaxizeiro em condições de campo, demonstraram que o poder de reflexão da luz pelas folhas, recobertas de tricomas, foi 27% superior em relação ao de folhas, cujos tricomas foram eliminados (PY, 1969).

A espécie *Impatiens walleriana* apresenta tricomas tectores (não glandulares), por isso não produzem secreções, são multicelulares, com as células dispostas em fila única, sem ramificação. Estão localizados na parte superior das folhas e têm dimensões que variam entre 400-550 μm (Figura 26) (POPA; SIPO, 2009).

Em *Impatiens hybrid hort* houve aumento do número de tricomas apenas nos tratamentos 67R:33B e 83R:17B em relação ao controle. A densidade dos tricomas variou em

função do cultivar e, neste caso, o cultivar Royal Magenta apresentou número superior de tricomas em comparação com o cultivar White (Tabela 11).

5.3. Mudas

5.3.1. Parâmetros biométricos

Híbridos de Impatiens Nova Guiné são sensíveis a condições com alta luminosidade (LANGKAMP et al., 2015), com o melhoramento genético foi possível criar o Sunpatiens que é tolerante à situação de estresse gerado pelo excesso luminosidade, sendo indicado até mesmo para ser cultivado numa condição de pleno sol (SAKATA, 2015).

Langkamp et al. (2015) pesquisaram cinco cultivares de Impatiens, incluindo dois cultivares de Sunpatiens (Orange e Magenta) e mostraram que as condições de cultivo das plantas tem maior influência na adaptação ao estresse pela luz do que o genótipo. Sendo assim, é importante manter as plantas numa condição de alta intensidade luminosa na fase de produção de plantas jovens, para que estas não apresentem sintomas de fitotoxidade (estresse oxidativo, danos nas folhas) nesta condição, após o transplante.

A planta desenvolve tolerância a condições de maior intensidade de luz, que é uma condição comum das plantas empregadas em paisagismo, se for submetida a esta condição quando ainda for jovem, na fase de produção de mudas, por isso é muito importante proceder a aclimatação das mudas antes de comercializá-las. Neste contexto, o uso de iluminação artificial auxilia, pois as plantas de Impatiens também são sensíveis a condições de altas temperaturas e nos viveiros de produção de mudas é comum o uso de telas de sombreamento para minimizar a temperatura, no entanto, diminui também a disponibilidade de luz.

Para suportar as operações de transporte e transplante, as plantas jovens precisam ser compactas (com área foliar e altura reduzidas e com um bom diâmetro do caule) e bem enraizadas (WOLLAENGER; RUNKLE, 2014). O índice de qualidade é uma ferramenta que integra parâmetros, tais como massa seca, comprimento e diâmetro do caule, que contribuem para a alta qualidade da mudas. Geralmente, uma área foliar menor é desejável numa produção de plantas jovens como mudas e estacas, que são produzidas num ambiente denso e competitivo, que pode induzir crescimento excessivo do caule para evitar o sombreamento (RANDALL; LOPEZ, 2015).

Para o cultivar White, os conjuntos com maior proporção de luz azul aplicados na produção de estacas não resultaram em maior compactação das mudas, que ocorreu com o

tratamento 83R:17B (Tabela 14). A qualidade de estacas do gênero *Calibrachoa* também foi influenciada pela composição espectral, sendo que na combinação do LED azul, vermelho e branco resultou em mudas mais compactas e de melhor qualidade em relação aos LEDs monocromáticos azul, vermelho ou branco (OLSCHOWSKI et al., 2016).

Shimizu et al. (2005) trabalhando com Crisântemos observaram o mesmo efeito que foi obtido em Sunpatiens com o cv. White (Tabela 14), em que com a utilização de LED houve redução no porte mesmo após a suspensão do fornecimento da luz suplementar.

A suplementação luminosa com um espectro eficaz produz mudas de alta qualidade, com redução da necessidade do uso de inibidores de crescimento de plantas ou de outras estratégias de supressão da altura (AKBARIAN et al., 2016). A altura das mudas dá uma previsão do crescimento após o transplante (AKBARIAN et al., 2016), sendo assim, muda estiolada, na maioria das vezes, desenvolverá uma planta com baixa qualidade.

Além da compactação, a qualidade das mudas também é avaliada quanto ao enraizamento. Christiaens et al. (2014) avaliaram o enraizamento de estacas de três espécies de plantas ornamentais e reportaram que, em Azaleia, não houve diferença entre os diferentes tipos de LED compostos por luz vermelha (V) e azul (A) nas proporções 100V; 90V:10A; 50V:50A; 10V:9A e 100A, enquanto que em estacas de Crisântemo, o enraizamento foi significativamente maior nos tratamentos monocromáticos em relação aos demais. Em estacas de Lavanda, os melhores resultados de enraizamento foram obtidos com 50V:50A e 90V:10A. Em nosso estudo com Sunpatiens os resultados foram próximos aos de Azaleia, pois não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 13).

O enraizamento de estacas de Áster (*Symphyotrichum novi-belgii* var. *novi-belgii*) cultivar Barbados foi dependente da qualidade da luz artificial, sendo que o maior número de raízes foi obtido no LED monocromático azul em relação ao LED 75%V 25%A. Porém, com relação a massa seca das estacas desta espécie não houve influência dos tratamentos com LED (SCHROETER-ZAKRZEWSKA; KLEIBER, 2014), assim como não foi observado diferença por Bergstrand e Schussler (2013) em plantas de Petúnia e Gerânio entre os tratamentos de LED 89R:11B e o controle (sem luz suplementar), estes mesmos resultados de massa seca podem ser vistos na Tabela 13.

O efeito do uso de LED na área foliar também é específico conforme a espécie, esta variável foi afetada pelos diferentes LEDs usados no ensaio desenvolvido por Roni et al. (2017) na cultura do Lisianthus, sendo que folhas sob LED vermelho apresentaram menor área foliar em comparação com os outros tratamentos (LED azul, LED branco). Em nossas pesquisas com Sunpatiens a área foliar não foi afetada pelos tratamentos com iluminação artificial (Tabela 13).

Contrariamente, Randall e Lopez (2015) reportaram que a área foliar foi maior em *Impatiens walleriana* sob LED (87V:13A, 70V:30A) em relação ao controle (com luz ambiente).

6. CONCLUSÕES

A resposta das plantas matrizes de *Impatiens hybrid hort* variou em função da época de cultivo, sendo que em períodos de menor incidência de radiação solar, no inverno, a melhor combinação espectral de LED para suplementação luminosa é a 83R:17B para o aumento da produtividade de estacas coletadas com qualidade.

O comportamento do cultivar Royal Magenta difere do cultivar White, quanto à resposta ao uso de iluminação artificial, principalmente pela maior concentração de antocianina no cultivar Royal Magenta.

A iluminação artificial tem efeito prolongado no desenvolvimento de plantas de Impatiens do cultivar White, pois promove maior compactação das mudas no tratamento 83R:17B.

A suplementação luminosa nas diferentes proporções espectrais não leva ao estresse oxidativo das plantas matrizes de Impatiens e mantem o padrão de qualidade.

REFERÊNCIAS

AFANAS' EV, I. B.; DCROZHKO, A. I.; BRODSKII, A. V.; KOSTYUK, V. A.; POTAPOVITCH, A. I... Chelating and free radical scavenging mechanisms of inhibitory action of rutin and quercetin in lipid peroxidation. **Biochemical Pharmacology**, Kansas, v. 38, n. 11, p. 1763-1769, jun. 1989.

AKBARIAN, B.; MATLOOBI, M.; MAHNA, N. Effects of LED Light on Seed Emergence and Seedling Quality of Four Bedding Flowers. **Journal of Ornamental Plants**, Rasht, v. 6, n. 2, p. 115-123, jun. 2016.

ALEXIEVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell and Environment**, v. 24, n. 12, p. 1337-1344, dez. 2001.

AZEVEDO, R. A. D.; ALAS, R. M.; SMITH, R. J.; LEA, P. J. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, Lund, v. 104, n. 2, p. 280-292, out. 1998.

BANTIS, F.; SMIRNAKOU, S.; OUZOUNIS, T.; KOUKOUNARAS, A.; NTAGKAS, N.; RADOGLOU, K. Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). **Scientia horticulturae**, Amsterdam, v. 235, p. 437-451, maio 2018.

BARBOSA, J. G.; MUNIZ, M. A.; GROSSI, J. A. S.; BARBOSA, M. S. Crisântemo. *In*: PAIVA, P. D. O., ALMEIDA, E. F. A. **Produção de flores de corte**. Lavras: UFLA, 2012, p. 244-277.

BARBOZA, S. B. S. C.; GRACIANO-RIBEIRO, D.; TEIXEIRA, J. B.; PORTES, T. A.; & SOUZA, L. A. C. Anatomia foliar de plantas micropropagadas de abacaxi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 185-194, fev. 2006.

BASTOS, F. S.; BISOGNIN, D. A.; BENEDETTI, M.; RAMPELOTTO, M. V.; TEIXEIRA, F. N. Técnica para o estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1597-1601, set./out. 2004.

BELLO-BELLO, J. J.; MARTÍNEZ-ESTRADA, E.; CAAMAL-VELÁZQUEZ, J. H.; MORALES-RAMOS, V. Effect of LED light quality on in vitro shoot proliferation and growth of vanilla (Vanilla planifolia Andrews). **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 15, n. 8, p. 272-277, fev. 2016.

BERGSTRAND, K. J.; SCHUSSLER, H. K. Growth, development and photosynthesis of some horticultural plants as affected by different supplementary lighting technologies. **European Journal of Horticultural Science**, Stuttgart v. 78, p. 119-125, 2013.

BOLETIM METEOROLÓGICO CEPAGRI [DO] CENTRO DE PESQUISAS METEREOLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS NA AGRICULTURA. Campinas, 2010. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br. Acesso em: 17 out. 2016.BOURGET, C. M. An introduction to light-emitting diodes. **HortScience**, Stanford, v. 43, n. 7, p. 1944-1946, dez. 2008.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical biochemistry**, Amsterdam v. 72, n. 1-2, p. 248-254, maio 1976.

BRAVO, L. Polyphenols: Chemistry, Dietary Sources, Metabolism and Nutritional Significance. **Nutrition Reviews**, Washington DC v. 56, n. 11, p. 317-333, nov. 1998.

BROWN, C. S.; SCHUERGER, A. C.; SAGER, J. C. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 120, n. 5, p. 808-813, set. 1995.

CARVALHO, J. M. F. C.; SILVA, M. M. A. **Plantas Matrizes na propagação vegetativa.** Embrapa Algodão-Documentos (INFOTECA-E), 2012. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/62105/1/Doc242.pdf. Acesso em: 22 jan. 2020.

CEMBROWSKA-LECH, D.; KOPROWSKI, M.; KĘPCZYŃSKI, J. Germination induction of dormant Avena fatua caryopses by KAR1 and GA3 involving the control of reactive oxygen species (H2O2 and O2−) and enzymatic antioxidants (superoxide dismutase and catalase) both in the embryo and the aleurone layers. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 176, p. 169-179, mar. 2015.

CHRISTIAENS, A.; VAN LABEKE, M. C.; GOBIN, B.; VAN HUYLENBROECK, J. Rooting of ornamental cuttings affected by spectral light quality. *In:* XXIX INTERNATIONAL HORTICULTURAL CONGRESS ON HORTICULTURE: SUSTAINING LIVES, LIVELIHOODS AND LANDSCAPES (IHC2014), Brisbane. **Anais eletrônicos** […] 1104. 2014. p. 219-224. Disponível em: https://www.actahort.org/books/1125/. Acesso em: 22 jan 2020.

CHUNG, J. P.; HUANG, C. Y.; DAI, T. Spectral effects on embryogenesis and plantlet growth of Oncidium 'Gower Ramsey'. **Scientia horticulturae**, Amsterdam, v. 124, n. 4, p. 511-516, maio 2010.

COPE, K. R.; SNOWDEN, M. C.; BUGBEE, B. Photobiological interactions of blue light and photosynthetic photon flux: Effects of monochromatic and broad-spectrum light sources. **Photochemistry and Photobiology**, v. 90, n. 3, p. 574-584, abr. 2014.

CURREY, C. J.; HUTCHINSON, V. A.; LOPEZ, R. G. Growth, morphology, and quality of rooted cuttings of several herbaceous annual bedding plants are influenced by photosynthetic daily light integral during root development. **HortScience**, Stanford, v. 47, n. 1, p. 25-30, jan. 2012.

CURREY, C. J.; LOPEZ, R. G. Cutting of Impatiens, Pelargonium, and Petunia propagated under light-emitting diodes and high-pressure sodium lamps have comparable growth, morphology, gas exchange, and post-transplant performance. **Hortscience**, Stanford, v. 48, n. 4, p. 428-434, abr. 2013a.

CURREY, C. J.; LOPEZ, R. G. Comparing LED lighting to high-pressure sodium lamps. **Greenhouse Grower**,v. 48, n. 4, p. 34-40, out. 2013b.

DAVEY, M. W.; STALS, E.; PANIS, B.; KEULEMANS, J.; SWENNEN, R. L. High-throughput determination of malondialdehyde in plant tissues. **Analytical Biochemistry**, Amsterdam, v. 347, n. 2, p. 201-207, dez. 2005.

DE KEYSER, E.; DHOOGHE, E.; CHRISTIAENS, A.; VAN LABEKE, M. C.; VAN HUYLENBROECK, J. LED light quality intensifies leaf pigmentation in ornamental pot plants. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 253, p. 270-275, jul. 2019.

ELLIS, R. P. A procedure for standardizing comparative leaf anatomy in the Poaceae. I. The leaf-blade as viewed in transverse section. **Bothalia**, Haia, v. 12, n. 1, p. 65-109, nov. 1976.

FRĄSZCZAK, B.; GOLCZ, A.; ZAWIRSKA-WOJTASIAK, R.; JANOWSKA, B. Growth rate of sweet basil and lemon balm plants grown under fluorescent lamps and led modules. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus,** v. 13, n. 2, p. 3-13, 2014.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutase: I. Occurrence in Higher Plants. **Plant Physiology**, v.59, n.2, p.309-314, fev. 1977.

GÓMEZ, C.; IZZO, L. G. Increasing efficiency of crop production with LEDs. **AIMS Agriculture and Food**, v. 3, n. 2, p. 135, jun. 2018.

GOULD, K. S. Role of anthocyanins in plant defence. In: **Anthocyanins**. Springer, New York NY, set. 2008. p. 22-28.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of biochemistry and biophysics**, Amsterdam, v. 125, n. 1, p. 189-198, abr. 1968.

HISCOX, J. D.; ISRAELSTAM, G. F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian journal of botany**, Ottawa v. 57, n. 12, p. 1332-1334, 1979.

HOGEWONING, S. W.; TROUWBORST, G.; MALJAARS, H.; POORTER, H.; VAN IEPEREN, W.; HARBINSON, J. Blue light dose–responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of Cucumis sativus grown under different combinations of red and blue light. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 61, n. 11, p. 3107-3117, jun. 2010.

HUTCHINSON, V. A.; CURREY, C. J.; LOPEZ, R. G. Photosynthetic daily light integral during root development influences subsequent growth and development of several herbaceous annual bedding plants. **HortScience**, Stanford, v. 47, n. 7, p. 856-860, jul. 2012.

JUNQUEIRA, A. H; PEETZ, M. S. O setor produtivo de flores e plantas ornamentais do Brasil, no período de 2008 a 2013: atualizações, balanços e perspectivas. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 115-120, 2014.

JUNQUEIRA, A. H; PEETZ, M.S. **Flores e plantas ornamentais no Brasil.** v.1, 2 e 3. Brasília: Sebrae, 2015 (Série Estudos Mercadológicos). Disponível em: https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/4c7a617954ca9be59d73ae831d8acac6/$File/5516.pdf. Acesso em 22 jan. 2020.

JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. Brazilian consumption of flowers and ornamental plants: habits, practices and trends. **Ornamental Horticulture**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 178-184, jun. 2017.

JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. Sustainability in Brazilian floriculture: introductory notes to a systemic approach. **Ornamental Horticulture**, Campinas, v. 24, n. 2, p. 155-162, 2018.

KANG, W. H.; PARK, J. S.; PARK, K. S.; SON, J. E. Leaf photosynthetic rate, growth, and morphology of lettuce under different fractions of red, blue, and green light from light-emitting diodes (LEDs). **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 57, n. 6, p. 573-579, dez. 2016.

KOZAI, T.; ZHANG, G.. Some Aspects of the Light Environment. *In:* In: Kozai T., Fujiwara K., Runkle E. (eds) LED Lighting for Urban Agriculture. Springer, Singapore,2016. p. 49-55.

KRAUS, T. E.; MCKERSIE, B. D.; FLETCHER, R. A. Paclobutrazol-induced tolerance of wheat leaves to paraquat may involve increased antioxidant enzyme activity. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 145, n. 4, p. 570-576, fev. 1995.

KURILČIK, A.; CANOVA, M.R.; DAPKUNIENE, S.; ZILINSKAITE, S.; KURILČIK, G.; TAMULAITIS, G.; DUCHOVSKIS, P.; ZUKAUSKAS, A. In vitro culture of Chrysanthemum plantlets using light-emitting diodes. **Central European Journal of Biology**, v. 3, n. 2, p. 161-167, abr. 2008.

KWON, Y. S.; CHOI, S. Y.; KIL, M. J;, YOU, B. S.; JUNG, J. A.; PARK, S. K. Effect of night break treatment using Red LED (660 nm) on flower bud initiation and growth characteristics of chrysanthemum cv.Baekma, and cv.Jinba. **Korean Journal of Agricultural Science**, Daejeon, v. 40, n. 4, p. 297-303,dez. 2013.

LANGKAMP, T.; MIBUS, H.; SPINAROVA, S. Morphological and physiological adaptations to light stress in different Impatiens new guinea hybrids. *In:* XXV International EUCARPIA Symposium Section Ornamentals: Crossing Borders. Melle. Anais eletrônicos […]1087, 2015. p. 155-160. Disponível em: https://www.ishs.org/ishs-book/1087. Acesso em: 22 jan. 2020.

LARCHER, W. Temperature stress and survival ability of Mediterranean sclerophyllous plants. **Plant Biosystems**, v. 134, n. 3, p. 279-295, ago. 2000.

LEES, D. H.; FRANCIS, F. J. Standardization of pigment analyses incranberries. **HortScience**, Stanford, v.7, n. 1, p.83-84, 1972.LEV-YADUN, S.;

LIM, Y. H.; KIM, I. H.; SEO, J. J. In vitro activity of kaempferol isolated from the Impatiens balsamina alone and in combination with erythromycin or clindamycin against Propionibacterium acnes. **Journal of microbiology**, Seoul, v. 45, n. 5, p. 473-477, out. 2007.

LIN, J. N.; KAO, C. H. Involvement of lipid peroxidation in water stress-promoted senescence of detached rice leaves. **Biologia Plantarum**, v. 43, n. 1, p. 141-145, mar. 2000.

LIN, K. H.; HUANG, M. Y.; HUANG, W. D.; HSU, M. H.; YANG, Z. W.; YANG, C. M. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (Lactuca sativa L. var. capitata). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 150, p. 86-91, fev. 2013.

LOGAN, B. A.; DEMMIG-ADAMS, B.; ADAMS III, W. W., GRACE, S. C.Antioxidants and xanthophyll cycle-dependent energy dissipation in Cucurbita pepo L. and Vinca major L. acclimated to four growth PPFDs in the field. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, n. 328, p. 1869-1879, nov. 1998.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. **Plantas ornamentais do Brasil. Arbustivas, herbáceas e trepadeiras.** 3.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2001. 1088p.

MCCREE, K. J. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 10, p. 443-453, 1972.

MERZLYAK, M. N.; MELØ, T. B.; NAQVI, K. R. Effect of anthocyanins, carotenoids, and flavonols on chlorophyll fluorescence excitation spectra in apple fruit: signature analysis, assessment, modelling, and relevance to photoprotection. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 59, n. 2, p. 349-359, fev. 2008.

MILANEZ, A. M. **Luz intermitente de lâmpadas de diodo emissor de luz "LED" no controle do florescimento em crisântemo (Dendranthema grandiflorum T.).** 2017. 71p. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

MITCHELL, C. A. Plant lighting in controlled environments for space and earth applications. *In*: VII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIGHT IN HORTICULTURAL SYSTEMS. Wageningen. **Anais eletrônicos** […] 956. 2012. p. 23-36. Disponível em: https://www.ishs.org/ishs-book/956. Acesso em: 22 jan. 2020.

MOE, R.; GRIMSTAD, S. O.; GISLEROD, H. R. The use of artificial light in year round production of greenhouse crops in Norway. *In*: V INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ARTIFICIAL LIGHTING IN HORTICULTURE. Lillehammer. **Anais eletrônicos** […] 711. 2005. p. 35-42. Disponível em; https://www.actahort.org/books/711/. Acesso em: 22 jan. 2020.

MOLDES, C. A.; MEDICI, L. O.; ABRAHAO, O. S.; TSAI, S. M.; AZEVEDO, R. A. Biochemical responses of glyphosate resistant and susceptible soybean plants exposed to glyphosate. **Acta Physiologiae Plantarum**, Berlim, v. 30, n. 4, p. 469-479, fev. 2008.

MORROW, R. C. LED lighting in horticulture. **HortScience**, Stanford, v. 43, n. 7, p. 1947-1950, dez. 2008.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 22, n. 5, p. 867-880, ago. 1981.

NASCIMENTO, L. B.; LEAL-COSTA, M. V.; COUTINHO, M. A.; MOREIRA, N. D. S.; LAGE, C. L.; BARBI, N. D. S.; COSTA, S. S.; TAVARES, E. S. Increased antioxidant activity and changes in phenolic profile of Kalanchoe pinnata (Lamarck) Persoon (Crassulaceae) specimens grown under supplemental blue light. **Photochemistry and photobiology**, v. 89, n. 2, p. 391-399, mar./abr. 2013.

NEILL, S. O.; GOULD, K. S.; KILMARTIN, P. A.; MITCHELL, K. A.; MARKHAM, K. R. Antioxidant activities of red versus green leaves in Elatostema rugosum. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, n. 4, p. 539-547, mar. 2002.

NEVES, M. F.; PINTO, M. J. A. Mapeamento e quantificação da cadeia de flores e plantas ornamentais do Brasil. **São Paulo: OCESP**, 2015.

NISHIO, J. N. Why are higher plants green? Evolution of the higher plant photosynthetic pigment complement. **Plant, Cell and Environment**, v. 23, n. 6, p. 539-548, jun. 2000.

NOGUCHI, A.; AMAKI, W. Effects of light quality on the growth and essential oil production in Mexican mint. *In:* VIII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIGHT IN HORTICULTURE. Michigan. **Anais eletrônicos** […] 1134. 2016. p. 239-244. Disponível em: https://www.actahort.org/books/1134/. Acesso em: 22 jan. 2020.

OLLE, M.; VIRŠILE, A. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. **Agricultural and food science**, Lemu, v. 22, n. 2, p. 223-234, jun. 2013.

OLSCHOWSKI, S. et al. Effects of red, blue, and white LED irradiation on root and shoot development of Calibrachoa cuttings in comparison to high pressure sodium lamps. *In*: VIII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIGHT IN HORTICULTURE. Michigan. **Anais eletrônicos** […]. 1134. 2016. p. 245-250. Disponível em: https://www.actahort.org/books/1134/. Acesso em: 22 jan. 2020.

OUZOUNIS, T.; FRETTÉ, X.; ROSENQVIST, E.; OTTOSEN, C. O. Spectral effects of supplementary lighting on the secondary metabolites in roses, chrysanthemums, and campanulas. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 171, n. 16, p. 1491-1499, out. 2014.

PAIVA, P.D.O. **Paisagismo: Conceitos e aplicações.** Lavras: Ed UFLA, 2008, 608p.

PARADISO, R. et al. Spectral dependence of photosynthesis and light absorptance in single leaves and canopy in rose. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 4, p. 548-554, 2011.

PINHO, P.; JOKINEN, K.; HALONEN, L. Horticultural lighting–present and future challenges. **Lighting Research and Technology**, v. 44, n. 4, p. 427-437, 2012.

POPA, F.; SIPOS, M. Epidermal formation–trichomes. **Biharean Biologist**, Oradea, v. 3, n. 1, p. 27-32, mar. 2009.

PY, C.; TISSEAU, M. **La piña tropical**. Barcelona: Blume, 1969.

QUINET, M.; DESCAMPS, C.; COSTER, Q.; LUTTS, S.; JACQUEMART, A. L. Tolerance to water stress and shade in the invasive Impatiens parviflora. **International Journal of Plant Sciences**, Chicago, v. 176, n. 9, p. 848-858, out. 2015.

RANDALL, W. C.; LOPEZ, R. G. Comparison of bedding plant seedlings grown under sole-source light-emitting diodes (LEDs) and greenhouse supplemental lighting from LEDs and high-pressure sodium lamps. **Hortscience,** Stanford, v. 50, p. 705-713, maio 2015.

RANDALL, W.C.; LOPEZ, R.G. Comparison of supplemental lighting from high-pressure sodium lamps and light-emitting diodes during bedding plant seedling production. **Hortscience**, Stanford, v. 49, n. 5, p. 589–595, maio 2014.

RONI, M. Z. K.; ISLAM, M. S.; SHIMASAKI, K. Response of Eustoma Leaf Phenotype and Photosynthetic Performance to LED Light Quality. **Horticulturae**, Basel, v. 3, n. 4, p. 50, out. 2017.

SABZALIAN, M. R.; HEYDARIZADEH, P.; ZAHEDI, M.; BOROOMAND, A., AGHAROKH, M.; SAHBA, M. R.; SCHOEFS, B. High performance of vegetables, flowers, and medicinal plants in a red-blue LED incubator for indoor plant production. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 4, p. 879-886, fev. 2014.

SÆBØ, A.; KREKLING, T.; APPELGREN, M. Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets in vitro. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 41, n. 2, p. 177-185, maio 1995.

SAKATA SEED AMERICA Inc. **Sunpatiens: Culture guide. 2015.** Disponível em: http://www.sakataornamentals.com/SunPatiens+Culture+Guide+May+2015. Acesso em:18 jan. 2018.

SAKATA SEED AMERICA Inc. **Sunpatiens: Flowers that flourish sun and shade.** 2018. Disponível em: http://www.sunpatiens.com. Acesso em:18 jan. 2018.

SANDQUIST, D. R.; EHLERINGER, J. R. Intraspecific variation of leaf pubescence and drought response in Encelia farinosa associated with contrasting desert environments. **The New Phytologist**, Cambridge, v. 135, n. 4, p. 635-644, abr. 1997.

SCHROETER-ZAKRZEWSKA, A.; KLEIBER, T. The effect of light colour and type of lamps on rooting and nutrient status in cuttings of michaelmas daisy. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia, v. 20, p. 1426-1434, 2014.

SEIGLER, D. S. F. *In*: **Plant secondary metabolism**. Springer, Boston, MA, 1998. p. 151-192.

SENGER, H. The effect of blue light on plants and microorganisms. **Photochemistry and Photobiology**, v. 35, n. 6, p. 911-920, jun. 1982.

SHIMIZU, H.; MA, Z.; TAZAWA, S.; DOUZONO, M.; RUNKLE, E. S.; HEINS, R. D. Blue light inhibits stem elongation of chrysanthemum. In: V INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ARTIFICIAL LIGHTING IN HORTICULTURE. Lillehammer. **Anais eletrônicos** […] 711, p. 363-368, 2005. Disponível em: https://www.actahort.org/books/711/. Acesso em: 22 jan. 2020.

SNOWDEN, M. C.; COPE, K. R.; BUGBEE, B. Sensitivity of seven diverse species to blue and green light: interactions with photon flux. **PLoS One**, São Franscico, v. 11, n. 10, p. 1-32, out. 2016.

STEYN, W. J.; WAND, S. J. E.; HOLCROFT, D. M.; JACOBS, G. Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection. **New Phytologist**, Lancaster, v. 155, n. 3, p. 349-361, set. 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed.. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TANAKA, Y.; OHMIYA, A. Seeing is believing: engineering anthocyanin and carotenoid biosynthetic pathways. **Current Opinion in Biotechnology**, Amsterdam, v. 19, n. 2, p. 190-197, abr. 2008.

TANG, J.; WANG, S. Q.; HU, K. D.; HUANG, Z. Q.; LI, Y. H.; HAN, Z.; CHEN, X. Y.; HU, L. Y.; YAO, G. F.; ZHANG, H. Antioxidative capacity is highly associated with the storage property of tuberous roots in different sweetpotato cultivars. **Scientific reports**, New York, v. 9, n. 1, p. 1-10, jul. 2019.

TERASHIMA, I.; FUJITA, T.; INOUE, T.; CHOW, W. S.; OGUCHI, R.Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: revisiting the enigmatic question of why leaves are green. **Plant and Cell Physiology**, v. 50, n. 4, p. 684-697, abr. 2009.

TERFA, M. T.; SOLHAUG, K. A.; GISLERØD, H. R.; OLSEN, J. E.; TORRE, S. A high proportion of blue light increases the photosynthesis capacity and leaf formation rate of Rosa× hybrida but does not affect time to flower opening. **Physiologia Plantarum**, Lund, v. 148, n. 1, p. 146-159, maio. 2013.

TINUS, R.W. **A New Greenhouse Photoperiod Lighting System for Prevenction of Seedling Dormancy.** Tree Planters' Notes, 46 (1): 11-14; 1995.

UGOLETTI, P.; STOUT, J.C.; JONES, M.B. Ecophysiological traits of invasive and non-invasive introduced Impatiens species. In: BIOLOGY AND ENVIRONMENT: PROCEEDINGS OF THE ROYAL IRISH ACADEMY. Royal Irish Academy. **Anais eletrônicos** […] 111. 2011. p. 143-156. Disponível em: https://www.jstor.org/journal/biolenviprocria. Acesso em: 22 jan. 2020.

VAN IERSEL, M. W.; GIANINO, D. An adaptive control approach for light-emitting diode lights can reduce the energy costs of supplemental lighting in greenhouses. **HortScience**, Stanford, v. 52, n. 1, p. 72-77, jan. 2017.

WANG, Y.; FOLTA, K. M. Contributions of green light to plant growth and development. **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 100, n. 1, p. 70-78, jan. 2013.

WEAVER, G. M.; VAN IERSEL, M.W. Modeling energy-efficient lighting strategies for petunia and impatiens using electron transport rate and historical weather data. *In:* PROEEDINGS. SNA RESEARCH CONFERENCE. 62. 2018. p. 29-34. **Anais eletrônicos** [...] Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327670787_Modeling_Energy-efficient_Lighting_Strategies_for_Petunia_and_Impatiens_Using_Electron_Transport_Rate_and_Historical_Weather_Data. Acesso: 22 jan. 2020.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 144, n. 3, p. 307-313, mar. 1994.

WHEELER, R. M.; SAGER, J. C.; GOINS, G. D.; KIM, H. H. A comparison of growth and photosynthetic characteristics of lettuce grown under red and blue light-emitting diodes (LEDS) with and without supplemental green LEDS. **Acta horticulturae**, Leuven, n. 659, 2004.

WOJCIECHOWSKA, R.; HANUS-FAJERSKA, E.; KAMIŃSKA, I.; KOŹMIŃSKA, A.; DŁUGOSZ-GROCHOWSKA, O.; KAPCZYŃSKA, A. High ratio of red-to-blue LED light improves the quality of Lachenalia 'Rupert'inflorescence. **Folia Horticultura,** Krakow, v.31, p. 93-100, jun. 2019.

WOLLAEGER, H. M.; RUNKLE, E. S. Producing commercial-quality ornamental seedlings under sole-source LED lighting. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NEW TECHNOLOGIES FOR ENVIRONMENT CONTROL, ENERGY-SAVING AND CROP PRODUCTION IN GREENHOUSE AND PLANT. Jeju. Anais eletrônicos […]. 1037. 2013. p. 269-276. Disponível em: https://www.actahort.org/books/1037/. Acesso em: 22 jan. 2020.

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

YAMASAKI, H. A function of colour. **Trends in plant Science**, v. 2, n. 1, p. 7-8, 1997.

YAMASAKI, H.; UEFUJI, H.; SAKIHAMA, Y. Bleaching of the red anthocyanin induced by superoxide radical. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, Amsterdam, v. 332, n. 1, p. 183-186, ago. 1996.

ZHANG, Q.; ZHAI, J., SHAO, L.; LIN, W.; PENG, C. Accumulation of anthocyanins: an adaptation strategy of Mikania micrantha to low temperature in winter. **Frontiers in Plant Science**, Lausane, v. 10, p. 1049, ago. 2019.