

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

VITOR LAZZAROTTO

**CRESCIMENTO INICIAL DE MORANGUEIRO *indoor* SOB
ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2020

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

VITOR LAZZAROTTO

**CRESCIMENTO INICIAL DE MORANGUEIRO
indoor SOB ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2020**

VITOR LAZZAROTTO

CRESCIMENTO INICIAL DE MORANGUEIRO
***indoor* SOB ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Taciane Finatto

PATO BRANCO

2020

Lazzarotto, Vitor
Crescimento inicial de morangueiro *indoor* sob iluminação artificial / Vitor Lazzarotto.
Pato Branco. UTFPR, 2020
53 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Prof^a. Dr^a. Taciane Finatto
Coorientador: Prof. Dr. Thiago do Oliveira Vargas
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Agronomia. Pato Branco, 2019.

Bibliografia: f. 47 – 51

1. Agronomia. 2. Plantas - Crescimento. 3. Morango. 4. Diodos emissores de luz. Finatto, Taciane, orient. II. Vargas, Thiago de Oliveira, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Agronomia. IV. Título.

CDD: 630



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Pato Branco
Departamento Acadêmico de Ciências Agrárias
Curso de Agronomia



TERMO DE APROVAÇÃO
Trabalho de Conclusão de Curso - TCC

**CRESCIMENTO INICIAL DE MORANGUEIRO *indoor* SOB ILUMINAÇÃO
ARTIFICIAL**

por
VITOR LAZZAROTTO

Monografia definida em sessão pública às 08 horas 30 min. do dia 07 de julho de 2020 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus Pato Branco*. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos Membros abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o Trabalho de Conclusão de Curso, em sua forma final, pela Coordenação do Curso de Agronomia foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Thiago de Oliveira Vargas
UTFPR Câmpus Pato Branco

M.Sc. Suélen Mazon
Engenheira Agrônoma, residente no Instituto Água e Terra

Prof.^a Dr.^a Taciane Finatto
UTFPR Câmpus Pato Branco
Orientadora

Prof. Dr. Jorge Jamhour
Coordenador do TCC

A "Ata de Defesa" e o decorrente "Termo de Aprovação" encontram-se assinados e devidamente depositados na Coordenação do Curso de Agronomia da UTFPR *Campus Pato Branco-PR*, conforme Norma aprovada pelo Colegiado de Curso.

Dedico este trabalho àqueles que perseveram em seu caminho, apesar das adversidades; que respondem à sua vocação; e que acreditam ser o caminho das virtudes, o único a ser seguido.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Lori Lazzarotto e Sandra Aparecida Mazotti Lazzarotto, pela criação, educação, conselhos, ajuda e acolhimento que me foram dados ao longo da vida.

Agradeço à minha família por me apoiar nas situações difíceis e me ajudar a superar as dificuldades, mostrando sempre o lado positivo das coisas.

Agradeço à minha orientadora, Taciane Finatto, por me guiar e apoiar em todas as etapas que me levaram a concluir este trabalho, e por todo conhecimento transmitido ao longo do trabalho e do curso de Agronomia.

Agradeço ao Thiago de Oliveira Vargas e à Suélen Mazon, que me deram suporte e conhecimento imprescindíveis para a produção deste trabalho.

Agradeço a todos os colegas, amigos, professores e comunidade científica e intelectual que me ajudaram, de alguma maneira, a superar as dificuldades ao longo do curso.

Agradeço a Deus pela existência.

“A engenhosidade e o saber humano são o recurso último do qual dependem todos os outros.”

(Autor desconhecido)

RESUMO

LAZZAROTTO, Vitor. Crescimento inicial de morangueiro *indoor* sob iluminação artificial. 53 f. TCC (Curso de Agronomia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2020.

A expectativa do aumento populacional e do aumento da demanda por alimentos para as próximas décadas, requerem novas formas de se produzir alimentos que sejam mais eficientes e menos prejudiciais ao meio ambiente. Por conta disso, a agricultura vertical *indoor*, com iluminação artificial, surgiu recentemente. Considerando a importância econômica e nutricional do morango, este trabalho teve o objetivo de analisar o crescimento inicial de morangueiro *indoor* sob regime exclusivo de iluminação artificial provida por diodos emissores de luz (LED). O experimento foi conduzido em um ambiente de cultivo *indoor* monitorado diariamente, onde foram cultivados morangueiros da cultivar San Andreas sob luz de LED específicos para cultivo de plantas, num sistema de produção semi-hidropônico em bancadas sobrepostas. Foram calculadas, semanalmente, as taxas de crescimento absoluto e relativo (TCA e TCR), através da área foliar, e contabilizado o número médio de folhas por planta. O delineamento experimental utilizado foi completamente ao acaso. Os dados foram submetidos à análise de variância. Foi verificada uma variação significativa da TCA, que foi diminuindo ao longo do tempo. A variação ao longo do tempo da TCR não foi significativa, mas mostrou uma tendência de acréscimo de área foliar sob unidade de área foliar acumulada. O número médio de folhas por planta não variou, significativamente, ao longo do tempo, mas foi possível verificar uma tendência de aumento do número de folhas seguida por uma redução. O crescimento do morangueiro sob as circunstâncias de produção do trabalho, analisado com a taxa de crescimento absoluto e relativo, não foi significativo, apesar de ter sido observado uma tendência paramétrica no início do experimento que indicava um aumento da área foliar gradativo até determinado período de tempo, quando, a partir de então, o crescimento médio aparente cessou. A dinâmica da área foliar do morangueiro não seguiu o padrão esperado para morangueiros saudáveis.

Palavras-chave: Plantas - Crescimento. Morango. Diodos emissores de luz.

ABSTRACT

LAZZAROTTO, Vitor. Initial growth of indoor strawberry under artificial lighting. 53 f. TCC (Course of Agronomy) - Federal University of Technology – Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2020.

With the expectation of population growth and increased demand for food for the coming decades, new forms of food production are more efficient and less harmful to the environment. As a result, indoor vertical farm with artificial lighting has recently developed. To develop an economic and nutritional importance of the strawberry, this work aimed to analyze the initial growth of the strawberry in an exclusive internal regime of artificial lighting provided by light emitting diodes (LED). The experiment was conducted in an indoor environment monitored daily, where strawberries of the cultivar San Andreas were grown under LED light, for plant cultivation practices, in a passive hydroponic production system on overlapping shelves. Weekly rates were calculated as absolute and relative growth rates (TCA and TCR), through the leaf area and counted or the average number of leaves per plant. The experimental design used was completely random. The data were submitted to analysis of variance. There was a significant variation in TCA, which decreased over time. A variation over time in the TCR was not significant, but it showed a tendency to increase leaf area under unit of accumulated leaf area. The average number of leaves per plant did not vary, reproduced, over time, but it was possible to verify a trend in the number of leaves followed by a reduction. The growth of the strawberry under the conditions of production of the work, analyzed with absolute and relative growth rate, was not significant, although a parametric tendency was observed at the beginning of the experiment, which indicates an increase in the gradual leaf area until the determined period time, when, from then on, average growth seems to cease. The quality of the strawberry leaf area did not follow the standard expected for sadistic strawberries.

Keywords: Plants - Growth. Strawberry. Light-emitting diodes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ambiente de produção <i>indoor</i> , com detalhes para saídas e entradas de ar para ventilação e climatização. São Lourenço do Oeste - SC, 2019.....	29
Figura 2 – Estante de cultivo com slabs, plantas, LED e sistema de drenagem. São Lourenço do Oeste - SC, 2019.....	30
Figura 3 – Substrato comercial SoilMax® em slabs utilizados no cultivo semi-hidropônico, com CRA de 150%peso/peso, CE de 0,4 mS cm ⁻² , 320 Kg m ⁻³ , densidade de 320 Kg m ⁻³ , pH de 6,5 e umidade máxima de 50% (peso/peso). São Lourenço do Oeste - SC, 2019.....	31
Figura 4 – Soluções fertilizantes concentradas próprias para a cultura do morangueiro. São Lourenço do Oeste - SC, 2019.....	32
Figura 5 – Comprimento de onda (em nm) emitida pelos LEDs ReBlue.....	33
Figura 6 – Dimensões descritas para realização da estimativa da área foliar em morangueiro pelo método do produto do comprimento e largura da folha.....	34
Figura 7 – Gráficos de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (UR%), máximas e mínimas, do ambiente de produção no período entre 6 de agosto e 19 de outubro do ano de 2019, mensuradas com termohigrômetro. São Lourenço do Oeste - SC, 2019.....	37
Figura 8 – Gráfico da condutividade elétrica (CE) da solução drenada dos slabs entre os dias 06 de agosto e 19 de outubro de 2019. São Lourenço do Oeste - SC, 2019.....	38
Figura 9 – Sintomas de deficiência nutricional variados em cultivo de morangueiro <i>indoor</i> sob luz artificial. São Lourenço do Oeste - SC, 2019.....	39
Figura 10 – Crescimento das plantas ao longo do tempo.....	40
Figura 11 – Gráfico da distribuição, ao longo tempo, da taxa de crescimento absoluto (TCA) (em cm ² . Planta ⁻¹) e taxa de crescimento relativo (TCR) (em cm ² cm ⁻² planta ⁻¹) de morangueiros cultivados com luz artificial provida por LED. São Lourenço do Oeste – SC, 2019.....	41
Figura 12 – Gráfico da distribuição, ao longo tempo, do número médio de folhas por planta de morangueiros cultivados com luz artificial provida por LED. São Lourenço do Oeste – SC, 2019.....	42
Figura 13 – Gráfico da dinâmica da área foliar (cm ² planta ⁻¹) ao longo do tempo dos morangueiros cultivados com luz artificial provida por LED. São Lourenço do Oeste – SC, 2019.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Concentração mínima, garantida pelo fabricante TecnoMax®, de macronutrientes (g L ⁻¹) nas soluções fertilizantes A e B, para serem utilizadas no cultivo de morangueiros. São Lourenço do Oeste - SC, 2019.....	32
--	----

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

AF	Área foliar por folha
ANOVA	Análise de variância
ATP	Adenosina Trifosfato
BIG	25% casca de pinus semicompostada, 50% casca de arroz incinerada e 25% casca de arroz
CAC	Casca de arroz carbonizada
CE	Condutividade elétrica
CEP	Código de Endereçamento Postal
CIC25/CP75	25% casca de arroz incinerada e 75% casca de pinus semicompostada
CIC50/CP50	50% casca de arroz incinerada e 50% casca de pinus semicompostada
CP	Casca de pinus
CRA	Capacidade de retenção de água
DC	Dias curtos
DL	Dias longos
DN	Dias neutros
Emater	Empresa Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FC	Fibra de côco
FL	Fluorescente
HPS	Sódio em alta pressão
INC	Incandescente
LED	<i>Light-emitting Diodes</i> (Diodos emissores de luz)
NADPH ⁺	Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo Fosfato reduzida
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NFMP	Número de folhas modificadas por planta
NFP	Número de folhas por planta
PAR	Radiação fotossinteticamente ativa
pH	Potencial hidrogeniônico
PR	Unidade da Federação – Paraná
PSII	Fotossistema II
PVC	Policloreto de vinila
TCA	Taxa de crescimento absoluto
TCR	Taxa de crescimento relativo
TEC	casca de pinus compostada, casca de arroz carbonizada, vermiculita expandida e carvão vegetal
UR	Umidade relativa do ar
V	Vermiculita

LISTA DE ABREVIATURAS

Ago.	Agosto
Conc.	Concentração
etc	<i>Et cetera</i>
h	hora
Máx.	Máxima
Mín.	Mínima
Out.	Outubro
p.	página
Set.	Setembro

LISTA DE SÍMBOLOS

-	Subtração
@	Arroba
%	Porcento
%peso/peso	Porcentagem de peso por peso
®	Marca registrada
+	Adição
cm	Centímetro
cm ² cm ⁻² sem ⁻¹	Centímetro quadrado por centímetro quadrado por semana
cm ² sem ⁻¹	Centímetro quadrado por semana
CO ₂	Dióxido de carbono
g/L	Gramas por litro
g/planta	Gramas por planta
h	Hora
Kg m ⁻³	Quilogramas por metro cúbico
ln	Logaritmo neperiano
m ²	Metro quadrado
m ² m ⁻²	Metro quadrado por metro quadrado
mL	Mili litro
mS cm ⁻¹	Mili Siemens por centímetro
N	Nitrogênio
nm	Nanômetro
°Brix	Graus Brix
°C	Graus Celsius
planta/m ²	Planta por metro quadrado
p _v /p _{vs}	Pressão parcial de vapor por pressão de saturação
R ²	Coefficiente de determinação
sem.	Semana
t	Tonelada
T _{máx}	Temperatura máxima
T _{mín}	Temperatura mínima
T°C	Temperatura em graus Centígrados
V	Voltz
μmol m ⁻² s ⁻¹	Micrômetro por metro quadrado por segundo
Σ	Somatório

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 GERAL.....	17
2.2 ESPECÍFICOS.....	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1 O MORANGUEIRO E SEUS DIVERSOS ASPECTOS.....	18
3.2 CONSIDERAÇÕES PARA A PRODUÇÃO DE MORANGUEIRO.....	20
3.2.1 Fenologia do Morangueiro.....	20
3.2.2 Resposta ao Fotoperíodo e à Temperatura.....	20
3.2.3 Efeito da Qualidade de Luz nas Plantas.....	21
3.2.4 CO ₂ nas Plantas.....	22
3.2.5 Umidade Relativa do Ar.....	23
3.2.6 Substratos.....	23
3.2.7 Solução Nutritiva.....	25
3.3 USO DE DIODOS EMISSORES DE LUZ NO CULTIVO DE MORANGUEIRO..	26
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.1 AMBIENTE DE CULTIVO <i>INDOOR</i>	29
4.2 DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES E DO SISTEMA DE PRODUÇÃO.....	30
4.3 ANÁLISE DE CRESCIMENTO.....	34
4.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5.1 CIRCUNSTÂNCIAS DO AMBIENTE DE PRODUÇÃO.....	36
5.1.1 Temperatura e Umidade Relativa do Ar.....	36
5.1.2 Condutividade Elétrica.....	37
5.1.3 Sintomas de Deficiência Nutricional.....	38
5.2 ANÁLISE DE CRESCIMENTO.....	39
5.2.1 Crescimento da Área Foliar e Número de Folhas.....	40
5.2.3 Dinâmica de Crescimento da Área Foliar.....	43
6 CONCLUSÕES.....	45
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

O morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch) é uma espécie de planta pertencente à família Rosaceae. É produzido devido ao interesse comercial que existe por seu pseudofruto, o morango, que possui aroma e sabor agradáveis e coloração atraente. É uma planta originária das regiões tropicais da Europa e das Américas. O morango é um alimento nutracêutico, por possuir uma considerável concentração de flavonoides que têm função antioxidante e, portanto, é associado a prevenção de doenças degenerativas e crônicas. Seu cultivo no Brasil, ocupava, em 2014, uma área de, aproximadamente, 400 hectares com uma produção de 3.257 toneladas (FAO, 2017).

O cultivo do morangueiro é normalmente feito a céu aberto ou em casa de vegetação/estufa (cultivo protegido). O cultivo protegido pode ser feito no chão, em canteiros, ou em bancadas com a utilização de substrato e fertirrigação (DONADELLI *et al.* 2011), além do cultivo orgânico, que também pode ser feito em casa de vegetação como pode ser feito a céu aberto. Numa análise de viabilidade econômica dos três modos de cultivo do morangueiro, Donadelli *et al.* (2011) constataram que as três formas de cultivo são viáveis economicamente e que, a produção semi-hidropônica em ambiente protegido é o método com maior produção por planta e, portanto, maior receita bruta. O morango possui um considerável lucro unitário, o que permite ao produtor optar por um sistema de produção que ofereça menores riscos quanto a perdas causadas por doenças, pragas e/ou intempéries.

Segurança alimentar, crescimento populacional, espaço e meio ambiente são temas de grande relevância na atualidade, principalmente quando se fala do cenário mundial futuro e das gerações que o protagonizarão. Estima-se que, em 2050, a população mundial aumente em 37% e demande mais alimentos e espaço de que as condições atuais permitem oferecer sem que consideráveis danos ambientais sejam gerados (FAO, 2009). Este tem sido um dos pretextos para o aumento da produção de alimentos por área. Por conta disso, a comunidade científica e indústrias buscam novas tecnologias de produção que visam solucionar este problema.

Além dos meios mais conhecidos para a maior produtividade na agricultura, o cultivo vegetal ganha novas vertentes que visam, não somente a maior produção por plantas, mas também a maior produção por área. A agricultura vertical, discutida primeiramente por Despommier (2008), busca obedecer estes objetivos, além de outros como a maior taxa de crescimento, redução da utilização de água e o seu reaproveitamento, menor gasto logístico, redução do uso da terra, diminuição do uso de defensivos agrícolas, eliminação das restrições sazonais e climáticas limitantes da produção e melhora dos valores nutricionais dos alimentos.

A agricultura vertical pode utilizar luz artificial parcial, apenas como uma suplementação (MACHADO, 2015), ou integral (HIDAKA, 2014, p. 41 – 47). A utilização de luz artificial integralmente permite um maior adensamento das plantas por m² e maior taxa de crescimento (LOESSL, 2014, p. 116-121), além da produção em ambientes com baixa ou nenhuma incidência de luz natural. Com o baixo consumo de energia dos LED e a possibilidade de sua utilização em cultivos verticais e internos, a agricultura ganha uma nova perspectiva de futuro para a produção vegetal.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Analisar o crescimento inicial de morangueiro *indoor* sob regime exclusivo de iluminação artificial provida por diodos emissores de luz (LED).

2.2 ESPECÍFICOS

Analisar o efeito da luz artificial de LED no crescimento absoluto, relativo e na dinâmica da área foliar.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O MORANGUEIRO E SEUS DIVERSOS ASPECTOS

O morangueiro, que é habitualmente cultivado para a comercialização, consumo e/ou industrialização, pertence à espécie *Fragaria x ananassa* Duch. É uma espécie octaploide, que foi gerada a partir do cruzamento acidental interespecífico entre *Fragaria chiloensis*, provinda do Chile, e *Fragaria virginiana*, da costa Atlântica da América do Norte, ocorrido por volta de 1750 na Europa (HANCOCK, 2012, p. 177).

Desde então, a produção de morango foi difundida por boa parte do mundo. Entre os países que mais produzem o fruto, respectivamente, destacam-se a China, EUA, México, Egito, Turquia, Espanha, Rússia, Polônia, Coreia do Sul e Japão. A produção mundial, em 2016, alcançou 9.118.336 toneladas de morangos em uma área de 401.862 ha, sendo que cerca de 41,6% foi produzido somente pela China (FAOSTAT, 2018). No Brasil, em 2014, o cultivo do morangueiro ocupava uma área de, aproximadamente, 400 hectares com uma produção de 3.257 toneladas (FAO, 2017).

A seleção e melhoramento genético do morangueiro iniciou-se no Chile, no período da América pré-Colombiana, através da perpetuação de espécimes com maior porte, escolhidas pelos índios da região. Por volta de 1975, Duchesne deu início aos cruzamentos que geraram a espécie cultivada atualmente. Em 1941, iniciou-se o melhoramento genético da *Fragaria x ananassa* Duch no Brasil, no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), época marcada pelo lançamento de cultivares altamente produtivos e isentos de vírus. Entre os cultivares gerados pelo IAC na região de São Paulo, desde o início do melhoramento da espécie na região, até a década de 80, estão Campinas, Princesa Isabel e Guarani. No Sul do país, na década de 50, foram iniciados os trabalhos de melhoramento do morangueiro, e foram lançados os cultivares Konvoy, Princesa e Cascata que foram responsáveis pelo sucesso da cultura no Rio Grande do Sul (CASTRO, 2004).

O desenvolvimento de novas técnicas de manejo em conciliação com o melhoramento genético do morangueiro contribuíram para a sua produção em áreas

não tradicionais do cultivo, como é o caso da região semiárida de Minas Gerais (MORAIS; FRANCO; GONÇALVES, 2013). A região do norte e centro oeste de MG não possuem as condições climáticas ideais para a produção dos cultivares de outrora, no entanto foram desenvolvidos cultivares adaptados àquela região de clima relativamente seco, quente e com fotoperíodo elevado. De acordo com Emater (2011), o estado de MG é o maior produtor nacional, detendo 55% de toda a produção brasileira.

Na produção de morangueiro, o sistema de produção semi-hidropônico, gradativamente é usado em comutação ao convencional. A mudança de sistema justifica-se pela maior facilidade na colheita, maior disponibilidade de mão de obra, menor desgaste físico exigido do produtor, menor incidência de moléstias nas plantas, uso menor de agrotóxicos e não necessidade de rotação de culturas (GODOI *et al.*, 2009, p. 1039-1044).

Estudos buscam viabilizar a produção de morangueiro através de novas técnicas, como o uso de LED em cultivos *indoor* e/ou o cultivo vertical (HIDAKA *et al.*, 2013; CHOI *et al.*, 2013; MACHADO, 2013; NAZNIN *et al.*, 2016). Como uma variação do cultivo protegido, surgiu o cultivo *indoor*, que foi viabilizado com o uso de luz artificial. Na década de 80 as fontes de luz artificiais já eram usadas na produção vegetal, em cultura de tecidos e em salas de crescimento. As lâmpadas que eram utilizadas emitiam fótons em uma faixa de espectro contínuo de comprimento de onda entre 350 a 750 nm. Essas lâmpadas, ditas tradicionais, eram as de sódio em alta pressão (HPS), fluorescentes (FL), lâmpadas incandescentes (INC) e as de iodetos metálicos (BANTIS, 2018). No início da década de 90 os estudos a cerca da produção vegetal com LEDs foram iniciados, entre os quais, vários foram realizados na *University of Wisconsin*, no *Kennedy Space Center* da NASA e na *Purdue University* para examinar a utilidade dos LEDs como suplementação luminosa e fonte única de iluminação para o crescimento de plantas no espaço, em um sistema de suporte à vida em Marte (MASSA, G. D. *et al.*, 2008, p. 1951-1956).

Com a constatação da funcionalidade dos LEDs no crescimento e desenvolvimento das plantas, atualmente estão sendo feitos estudos, além de

cultivos em casas de vegetação e cultivos verticais, de plantas alimentícias e ornamentais (BANTIS, 2018).

3.2 CONSIDERAÇÕES PARA A PRODUÇÃO DE MORANGUEIRO

3.2.1 Fenologia do Morangueiro

O hábito sedentário das plantas e sua falta de mobilidade pressionaram a sua evolução para o caminho da adaptabilidade ao ambiente que se encontram. As adaptações ocorrem em nível fisiológico, em sistemas de crescimento passíveis de mudanças ambientais que fazem com que as plantas se ajustem conforme a necessidade exigida para a sobrevivência e reprodução da espécie. Isto ocorre com a ajuda de elementos-chave como, por exemplo, as células meristemáticas que diferenciam-se, em razão dos estímulos externos e internos das plantas, para formarem tecidos vegetais com funções específicas (FOSKET *et al.*, 2010). Portanto, esse mecanismo de adaptabilidade é o que define, por exemplo, a fenologia das plantas, ciclo circadiano, resposta ao fotoperíodo e todos os processos fisiológicos e a morfologia de cada espécie de vegetal.

A fenologia do morangueiro foi dividida em nove estágios por Bleiholder (2001, p. 61) classificados separadamente por estágios principais, respectivamente dispostos em: desenvolvimento da brotação da planta (estágio 0), desenvolvimento das folhas (estágios 1 ao 3), desenvolvimento dos estolões e plantas jovens (estágio 4), emergência de inflorescência (estágio 5), floração (estágio 6), desenvolvimento do fruto (estágio 7), maturação do fruto (estágio 8) e senescência e início da dormência (estágio 9).

3.2.2 Resposta ao Fotoperíodo e à Temperatura

As plantas de morangueiro respondem de forma diferente às condições ambientais. As cultivares comercializadas atualmente são classificadas de acordo com a resposta do florescimento à mudança do fotoperíodo. São classificadas em

plantas de dias curtos (DC), que respondem principalmente a mudanças no fotoperíodo; plantas de dias neutros (DN) que não respondem à mudanças no fotoperíodo e sim a mudanças de temperatura e; além destas, também existem plantas de dias longos (DL), que respondem ao fotoperíodo e que não são produzidas comercialmente no caso dos morangueiros (OLIVEIRA, 2009; ROSSI, 2014; DURNER *et al.*, 1984 apud. KIRSCHBAUM, 1998). Em uma análise do florescimento de 17 cultivares de morangueiro, Bueno *et al.* (2015) confirmaram a influência do fotoperíodo, da temperatura, dos fatores internos ou dos três fatores conjuntamente, e constataram que a potencialidade da influência de cada um destes fatores varia para cada cultivar.

As mudanças morfológicas e fenológicas que ocorrem sob efeito dos fatores ambientais são descritas por Sanhueza *et al.* (2005) ao afirmar que: durante dias longos e temperaturas elevadas, o morangueiro forma estolões e desenvolve suas folhas; enquanto que em dias curtos e temperaturas amenas, há ocorrência da indução floral; e ainda, em dias longos e temperaturas amenas, ocorre a frutificação.

Sobre o desenvolvimento vegetativo, Mendonça *et al.* (2012) confirmaram que o tempo levado para a emissão de folhas no morangueiro está fortemente associado com a temperatura do ar durante o crescimento vegetativo dos morangueiros, e que a soma térmica exigida para a emissão de folha varia entre uma cultivar e outra, alcançando cerca de 149,34 °C/ dia folha⁻¹ para Albion, 112,40 °C/dia folha⁻¹ para Camino Real e Ventana a 86,34 °C/dia folha⁻¹. O intervalo de tempo entre o aparecimento de duas folhas (que pode variar de cultivar para cultivar) é denominado filocrono. Mendonça *et al.* (2012) constataram que o estolão tem crescimento favorecido a uma temperatura de 24 °C.

3.2.3 Efeito da Qualidade de Luz nas Plantas

As clorofilas das plantas superiores absorvem com maior intensidade a luz em dois intervalos de comprimentos de onda, no espectro azul e vermelho, e refletem o espectro de luz verde (HOPKINS; HÛNER, 2004, p. 53). A energia da luz é absorvida por clorofilas que ficam em estado excitado e posteriormente transferem os elétrons utilizados em reações fotoquímicas. Um quarto da energia é armazenada

e o restante é transformado em calor e apenas 4,3% desta energia é convertida em biomassa nas plantas C3, o que inclui o morangueiro (BLANKENSHIP, 2013, p. 170).

A luz em excesso pode ser prejudicial à planta, inativando ou danificando o fotossistema II (PSII). O conjunto de três carotenoides, denominados xantofila, são responsáveis pela dissipação, em forma de calor, do excesso de energia luminosa. Dependendo do excesso de luz, a planta pode ter a taxa fotossintética máxima reduzida por semanas ou meses e ter seu crescimento e desenvolvimento prejudicados (BLANKENSHIP, 2010).

O comprimento de onda e a intensidade luminosa, além de outros fatores, também influenciam no florescimento de algumas plantas. Kirschbaum (p. 60, 1998) afirma que a intensidade da luz que melhor se adéqua à produção de flores e frutos no inverno é de 400 a 450 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Para o crescimento vegetativo, a intensidade de luz que melhor se adéqua a cultura do morangueiro é de 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (JURIK, CHABOT e CHABOT, 1982; HIDAKA *et al.*, 2014) ou mais, entre 400 e 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (HIDAKA *et al.*, 2014).

3.2.4 CO₂ nas Plantas

Outro fator importante para a produção vegetal é a presença do dióxido de carbono (CO₂) que é fundamental para as plantas. Em ambientes internos, o CO₂ pode estar presente em baixas concentrações se não houver ventilação e trocas de ar suficiente. O CO₂ faz parte da composição de várias moléculas orgânicas. Dois dos principais produtos da assimilação de CO₂ são o amido e a sacarose entre tantos outros subprodutos e rotas metabólicas em que o dióxido de carbono é utilizado. Para que haja absorção positiva de CO₂ em plantas C3, a taxa de respiração mitocondrial deve ser menor que a assimilação fotossintética do mesmo. Durante a noite o CO₂ não é absorvido, apenas liberado. Quando a concentração de CO₂ respirado é igual à do CO₂ assimilado, alcança-se o ponto de compensação da luz. Numa escala de importância, a fotossíntese é limitada, primeiramente, pela quantidade de luz incidente nas folhas e, posteriormente, pela concentração de CO₂ existente no local em que se encontra planta. Existem dois fatores de maior

importância que afetam negativamente a absorção de gás carbônico: a resistência da camada limítrofe de ar sobre as folhas, que pode ser quebrada com o vento; e a resistência estomática, que é regulada pela presença de luz, principalmente (SHARKEY *et al.*, 2013, p. 256-265).

Atualmente existem sistemas tecnológicos que são capazes de monitor e regular a concentração de CO₂ no ambiente, para que o melhor desempenho produtivo da planta possa ocorrer. A liberação de CO₂ nesses sistemas, se faz de acordo com a demanda existente em cada estágio de desenvolvimento da planta (COSTA, 2004).

3.2.5 Umidade Relativa do Ar

A umidade relativa do ar (UR) é outro fator a ser relevado no cultivo protegido de morangueiro. Ela pode variar de 30 a 100% ao longo de um dia. URs maiores ocorrem durante o dia e, à noite, diminuem. O controle da temperatura do ar pode ser feito através de umidificadores de ambiente. A umidade do ar pode interferir também na evapotranspiração das plantas, diminuindo a taxa de absorção de água e de nutrientes, isso ocorre quando existe um deficit na umidade relativa do ar. Uma UR de 80% ou mais é viabiliza a ocorrência da maioria das doenças. (PURQUERIO; TIVELLI, 2006).

3.2.6 Substratos

Os substratos são usados para sustentar as plantas e regular a disponibilidade de água e nutrientes que é influenciada pelas características gerais dos componentes que compõem cada substrato (GONÇALVES *et al.*, 2016, p. 21). De acordo com Melo, Bortolozzo e Vargas (2006), as qualidades relevantes de um substrato são: alta retenção de água, elevada porosidade que permita uma boa aeração, de decomposição lenta, material de fácil acesso e de baixo custo. E, de acordo com Ilha (2013), um substrato orgânico considerado ótimo deve conter as

seguintes especificidades: pH de 5,2 a 5,5; densidade entre 300 e 400 Kg m⁻³; porosidade total de aproximadamente 85%; espaço de aeração entre 10% e 25%.

Existem diferentes tipos de substratos utilizados na produção semi-hidropônica de morangueiro. Em geral, os substratos podem ser minerais ou orgânicos. Entre os substratos orgânicos, destacam-se a fibra de coco, casca de arroz carbonizada, casca de pinheiro e turfa. Entre os substratos minerais, são utilizados minérios como a vermiculita e perlita.

O estudo realizado por Menezes Júnior (2018) demonstrou a importância dos substratos usados nos cultivos semi-hidropônicos, que dependem de fatores químicos, biológicos e físicos. Neste trabalho foram avaliados cinco tipos de substratos pré formulados e um comercial, distintos entre si, testados com duas cultivares de morangueiro. A composição dos substratos eram: Tecnomax morango® de composição a base de casca de pinus compostada, casca de arroz carbonizada, vermiculita expandida e carvão vegetal; Biguaçú, composto por 25% de casca de pinus semicompostada, 25% de casca de arroz e 50% de casca de arroz incinerada; CIC25/CP75, composto por 25% de casca de arroz incinerada e 75% de casca de pinus semicompostada; CIC50/CP50 composto por 50% de casca de arroz incinerada e 50% de casca de pinus semicompostada; e CP100 composto por 100% de casca de pinus semicompostada. Entre os substratos usados, com exceção de um, todos foram considerados utilizáveis sem prejuízos na produtividade. A variável que influenciou na inviabilidade do substrato menos eficiente foi o espaço de aeração de 41%, que influenciou em outra variável, água disponível, compreendendo 7,13%. Este substrato, diferente dos demais testados, possui apenas um componente em sua formulação, a casca de pinus semicompostada.

Os valores para espaço de aeração, que são mais indicados para substratos, correspondem a uma quantia de 20 a 30%. Por outro lado, quantidades muito grandes de água disponível, também podem afetar a produtividade e crescimento. Neste sentido, Calvete *et al.* (2007), em um sistema de cultivo de morangueiro em colunas, constataram menor produção de frutos em plantas que ficaram sob efeito da maior umidade no terço inferior das colunas na qual não havia drenagem. Este fato mostra a importância de um dreno em sistemas semi-hidropônicos e, se o sistema for fechado (com reutilização da solução irrigada), há a

necessidade do uso de mecanismo de captação e reposição nos reservatórios de solução nutritiva.

Numa comparação entre quatro cultivares de morangueiro (San Andreas, Rábida, Camarosa e Portola), Lisboa (p. 19 – 28, 2016) constatou maior produção de frutos utilizando substrato feito com fibra de coco (820,7 g/planta) em comparação ao substrato feito próprio para o cultivo de morangueiro, composto por 40% de turfa, 20% de fibra de coco e 40% de casca de pinheiro compostada (752,3 g/planta). Menezes Júnior (p. 79 – 92, 2018) testou as cultivares San Andreas e Albion em diferentes substratos e densidades de plantio e, encontrou diferença significativa (quando a densidade populacional mais produtiva, de 16 plantas/m², foi utilizada) entre as formulações que proporcionaram, respectivamente, maior produção: TEC (casca de pinus compostada, casca de arroz carbonizada, vermiculita expandida e carvão vegetal), CIC25/CP75 (25% casca de arroz incinerada e 75% casca de pinus semicompostada), BIG (25% casca de pinus semicompostada, 50% casca de arroz incinerada e 25% casca de arroz) e CIC50/CP50 (50% casca de arroz incinerada e 50% casca de pinus semicompostada).

3.2.7 Solução Nutritiva

Alguns fatores devem ser levados em consideração para a determinação da solução nutritiva e quando usá-las. Gonçalves *et al.* (2016) sugerem a utilização de formulações diferentes para os dois principais estágios fisiológicos das plantas, vegetativo e reprodutivo; para concentrações de pH diferentes nos substratos, indica-se um tipo de formulação nutritiva para pH de 5,2 a 5,5 e outro tipo de formulação para pH maior que 7. Sugere, também, que o plantio das mudas seja realizado apenas quando a condutividade elétrica (CE) da solução drenada dos substratos for de aproximadamente 1mS cm⁻¹. Durante o cultivo, a CE deve ser levada em consideração, buscando sempre mantê-la nos valores recomendados que são entre 1,2 e 1,8 mS cm⁻¹. Para o manejo da irrigação e da fertirrigação, quando a CE sofrer uma variação de 25% do seu valor inicial, deve-se regar com solução nutritiva quando a CE for baixa, e regar apenas com água

quando a CE for alta (GONÇALVE *et al.*, 2016). Para Antunes *et al.* (2016, p. 294) ainda não se tem compreensão do efeito dos valores de condutividade elétrica na produtividade de algumas culturas. O morango tem tolerância diferente à salinidade em diferentes condições do ambiente, ou seja, o valor de 1mS cm^{-1} , considerados pela literatura como sendo o limite crítico para o morangueiro, pode assim o ser em uma região quente e seca e não o ser em regiões mais frias e úmidas (ANTUNES, 2016, em TIMM, L. C.; *et al.* 2016, p. 294).

3.3 USO DE DIODOS EMISSORES DE LUZ NO CULTIVO DE MORANGUEIRO

A utilização de LED na produção vegetal é mais viável em comparação a outras fontes de luz artificiais tradicionais (INC, FL, HPS e de iodetos metálicos) que são usadas, devido ao baixo consumo de energia, baixa dissipação de calor, possibilidade de utilização de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) com comprimento de onda específico, e devido a um elevado tempo de vida útil. Na prática, os LED podem proporcionar toda a luz requerida para o crescimento e desenvolvimento das plantas; proporcionar suplementação parcial de luz às plantas, complementando a luz natural, principalmente em períodos nublados; e podem aumentar o período de luz/dia com o propósito de acelerar o crescimento e antecipar ou atrasar o florescimento (GONZALIAS; LASSO, 2016, p. 111).

Em cultivo de morangueiro, Hidaka *et al.* (2013) observaram uma melhor eficiência do tratamento com suplementação de lâmpadas LED em comparação com o tratamento com lâmpada fluorescente e o tratamento sem iluminação artificial. Os caracteres que se sobressaíram na utilização de LED foram matéria seca de folhas, área foliar, °Brix, número de frutos comercializáveis, peso médio de frutos, número total de frutos e matéria seca total.

O comprimento de onda dos LED utilizados influencia consideravelmente a produção de morangos. Choi *et al.* (2013) analisou os efeitos da iluminação artificial com LED no cultivo de morangueiro sob diferentes espectros de luz (vermelho, azul e azul com vermelho). Constatou que, para uma melhor produção de frutos em quantidade e rendimento, as luzes utilizadas devem ser azul com vermelha. O rendimento promovido pelo tratamento azul com vermelho foi 40%

e 37% maior do que o tratamento com luz azul e vermelho, respectivamente e, para número de frutos, teve um acréscimo de 19,21% e 16% em comparação com os tratamentos com luz azul e vermelho, respectivamente.

Em um sistema de complementação à luz natural com LED, Machado (2015), comparando os tratamentos: suplementação com luz vermelha, suplementação com luz azul, suplementação com luz azul e vermelha, suplementação com luz fluorescente e sem suplementação com luz artificial, constatou um aumento da área foliar em morangueiros, além de uma maior precocidade da floração, quando foram utilizadas luzes complementares azuis e vermelhas (3 azuis e 3 vermelhas). A complementação com luz vermelha, apenas, resultou em maior teor de clorofilas. O regime de luz complementar foi de 3 h no início da manhã e 2 h no final do dia.

A suplementação plena com luz artificial em um sistema interno de produção da cultivar japonesa Fukuoka S6 (de DC facultativa) foi testada por Hidaka *et al.* (2014). No estudo foram utilizados LED de comprimento de onda de 450 e 550 nm, e densidade do fluxo de fóton fotossintético de 0, 20, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ como suplementação de luz em cultivo de morangueiro em ambiente controlado. Foram realizados quatro tratamentos (12, 14, 16 e 24 h de suplementação de luz) em que, numa suplementação de 12 h, as plantas obtiveram maior precocidade no florescimento em comparação a períodos maiores de suplementação (14 e 16 h), onde o florescimento foi restringido após o primeiro florescimento, utilizando a mesma fonte de luz artificial. Também observou-se maior número de flores em comparação com o tratamento sem luz suplementar (apenas com luz natural). Neste mesmo trabalho, foi observada maior translocação de fotoassimilados das folhas para os frutos na suplementação de 12 h; maior rendimento comercial possível no mesmo tratamento bem como maior °Brix, menor acidez titulável e menor firmeza dos frutos. Comparando as diferentes densidades do fluxo de fóton fotossintético, os autores observaram que para valores acima de 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ as plantas (que possuíam três folhas estendidas) apresentaram uma maior taxa fotossintética quando comparado com os valores inferiores a 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Okamoto *et al.* (2014), num sistema de suplementação de luz suplementar de LED, observou maior área de superfície de raízes, melhorando o sistema radicular

de plantas suplementadas por luz de LED em comparação aos morangueiros sem suplementação.

A diferença de crescimento de morangueiros expostos a diferentes relações entre luz azul e vermelha foi observada por Naznin *et al.* (2016) utilizando como fonte luminosa LED e, como controle, lâmpada HPS. As relações usadas foram 5/1, 10/1 e 19/1 (azul/vermelho). Para a variável que indicava número de folhas por planta, o tratamento com relação 10/1 foi o que proporcionou um maior número de folhas por planta, 1.3 vezes maior que o controle. Para a variável número de inflorescência por planta a relação que correspondeu ao maior valor foi a de 19/1, uma quantia de 1.4 vezes maiores que o controle. Tanto para as variáveis massa fresca quanto para a massa seca houve um acréscimo do valor conforme a relação entre luz vermelha e azul aumentava. Para massa fresca as relações 5/1, 10/1 e 19/1 foram, respectivamente, de 1.1, 1.1 e 1.3 vezes maiores do que o controle. Para massa seca, as relações 1/5, 1/10 e 1/19 foram, respectivamente, de 1.2, 1.5 e 1.6 vezes maiores que o controle.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 AMBIENTE DE CULTIVO *INDOOR*

O trabalho foi realizado a partir do dia 06 de agosto, até o dia 19 de outubro de 2019, em um ambiente de cultivo *indoor*, na Chácara Santa Rosa que está localizada na cidade de São Lourenço do Oeste, SC, de coordenada geográfica 26°20'58"S e 52°51'13"O e altitude de 902 metros. Seguindo classificação de Köppen, o clima da região é caracterizado como Cfb, ou seja, clima temperado úmido com verão temperado.

O ambiente de cultivo *indoor* utilizado possuía dimensões de 1,80 m de comprimento, 1,20 m de largura, pé direito de 2,40 m, três entradas/saídas de ar, isolamento térmico, protegido de iluminação natural, equipado com climatizador de ar, paredes de alvenaria, forro de policloreto de vinila (PVC) e piso de cerâmica (Figura 1). Foi utilizado um termoigrômetro para o monitoramento periódico da temperatura máxima e mínima e umidade relativa do ar máxima e mínima.

Figura 1 – Ambiente de produção *indoor*, com detalhes para saídas e entradas de ar para ventilação e climatização. São Lourenço do Oeste - SC, 2019.



Foi utilizado o sistema de cultivo vertical semi-hidropônico, onde uma estante de madeira com três patamares distanciados entre si por 40 cm, com dimensões de 2,35 m de altura, 1,80 m de comprimento e 0,70 m de largura. Foram distribuídos “slabs” nos três patamares da estante, em quantidade suficiente para comportar 36 plantas espaçadas entre si por 0,20 m (Figura 2).

Figura 2 – Estante de cultivo com slabs, plantas, LED e sistema de drenagem. São Lourenço do Oeste - SC, 2019.



4.2 DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES E DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

O substrato utilizado (Figura 3) é próprio para a cultura do morangueiro, produzido pela empresa SoilMax®. Sua capacidade de retenção de água (CRA), informada pelo fabricante, é de 150%peso/peso, a condutividade elétrica (CE) é de 0,4 mS cm⁻², a densidade é de 320 Kg m⁻³, o pH é de 6,5, a

umidade máxima é de 50% (peso/peso) e sua composição é de vermiculita, casca de pinus e eucalipto, cinzas, fibra de coco e casca de arroz.

Figura 3 – Substrato comercial SoilMax® em slabs utilizados no cultivo semi-hidropônico, com CRA de 150%peso/peso, CE de 0,4 mS cm⁻², 320 Kg m⁻³, densidade de 320 Kg m⁻³, pH de 6,5 e umidade máxima de 50% (peso/peso). São Lourenço do Oeste - SC, 2019.



As mudas de morangueiro utilizadas eram de terceiro ano, do cultivar San Andreas. O plantio foi realizado após a redução da condutividade elétrica (CE) dos substratos com a lavagem destes e posterior aferição com condutivímetro de bolso da marca AKSO (calibrado com solução de calibração de 12,88 mS/cm) até que o valor chegasse à aproximadamente 0,7 mS/cm. Antes do plantio, as mudas tiveram as folhas que não estavam saudáveis podadas, restando cerca de 3 folhas por planta.

O volume aproximado de água de irrigação dado a cada planta foi de 100 mL. O intervalo entre uma rega e outra foi variável, dependendo da umidade com que se encontrava o substrato, evitando sempre o excesso de umidade. Sob as prateleiras da estante foram dispostas calhas de lonas de PVC para a captura e reutilização da água drenada dos slabs.

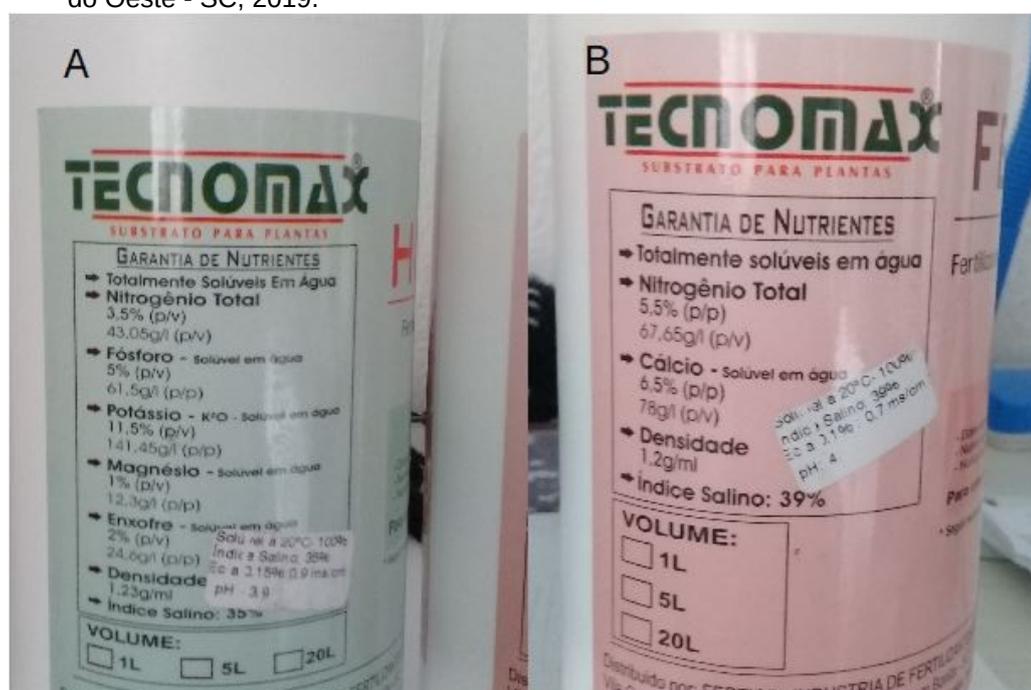
Tanto a irrigação quanto a fertirrigação das plantas foram feitas com ajuda de um recipiente volumétrico com capacidade para 500 mL. Para a irrigação foi utilizada água tratada da torneira. Para a fertirrigação foram utilizadas duas soluções nutritivas próprias para a cultura do morangueiro, produzidas pela

TecnoMax® (Figura 4) com a concentração de macronutrientes especificada no rótulo das embalagens, descrita na Tabela 1.

Tabela 1 – Concentração mínima, garantida pelo fabricante TecnoMax®, de macronutrientes (g L^{-1}) nas soluções fertilizantes A e B, para serem utilizadas no cultivo de morangueiros. São Lourenço do Oeste - SC, 2019.

Nutrientes	Fertilizante A (g/L)	Fertilizante B (g/L)
Nitrogênio total	43,05	67,65
Fósforo	61,5	–
Potássio	141,45	–
Magnésio	12,3	–
Enxofre	24,6	–
Cálcio	–	78

Figura 4 – Soluções fertilizantes concentradas próprias para a cultura do morangueiro. São Lourenço do Oeste - SC, 2019.



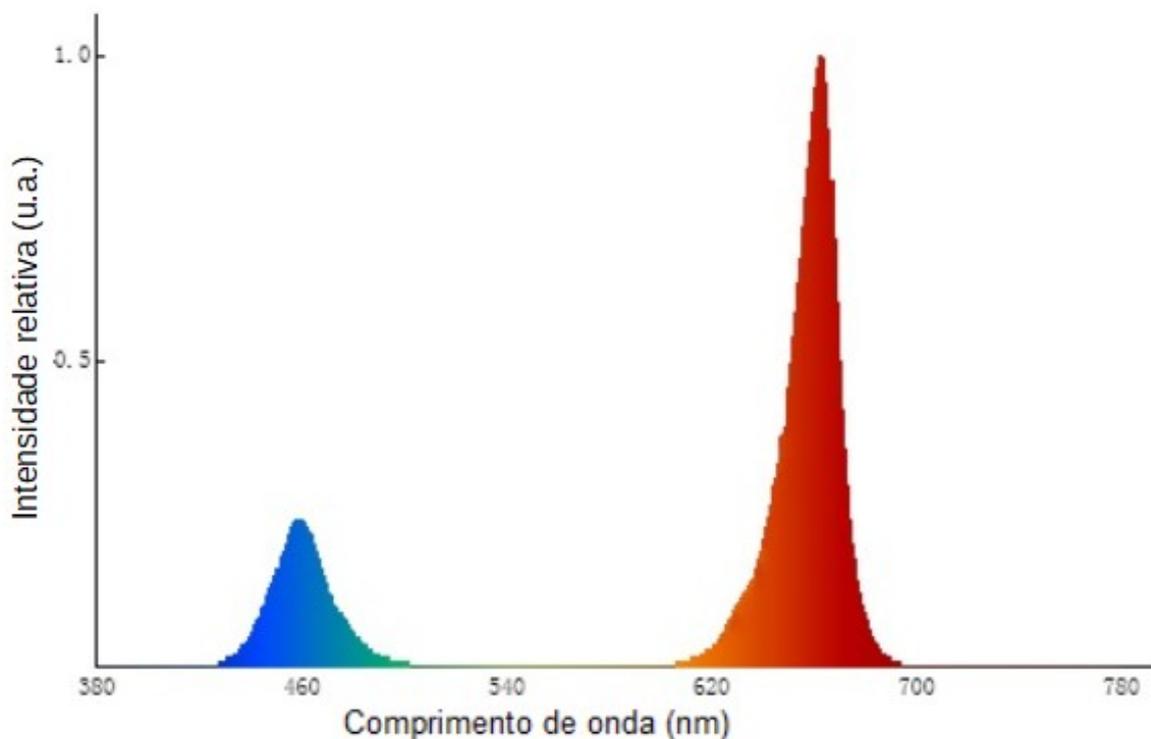
A: Solução contendo nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e enxofre e; **B:** Solução contendo nitrogênio e cálcio.

A solução nutritiva passou a ser fornecida às plantas somente 20 dias após o plantio para evitar o estresse salino. Semanalmente, a CE da solução

drenada dos slabs foi medida para acompanhar a concentração de sais solúveis no substrato. Quando constatada uma redução considerável (de aproximadamente $0,2 \text{ mS cm}^{-2}$) da CE foi realizada a fertirrigação, sempre buscando uma concentração de aproximadamente 1 mS cm^{-2} no início do experimento para, gradativamente, aumentar até $1,4 \text{ mS cm}^{-2}$.

O sistema de iluminação artificial foi composto por LED do fabricante ReBlue, do tipo 5050 Grow Strip, com proporção de 5 LED vermelhos (660 nm) para cada 1 azul (450 nm), ligados em circuito em série, a uma tensão de 12 V, acionada através de *timer* analógico que permaneceu ligado durante 13 h ao dia. Os intervalos e proporções de comprimento de ondas emitidas pelos LEDs estão representados na Figura 5. Foram utilizados 60 diodos por metro linear, fixados sob as prateleiras e sobre as plantas numa distância de aproximadamente 30 cm (que variou conforme a altura das plantas ao longo do tempo).

Figura 5 – Comprimento de onda (em nm) emitida pelos LEDs ReBlue.

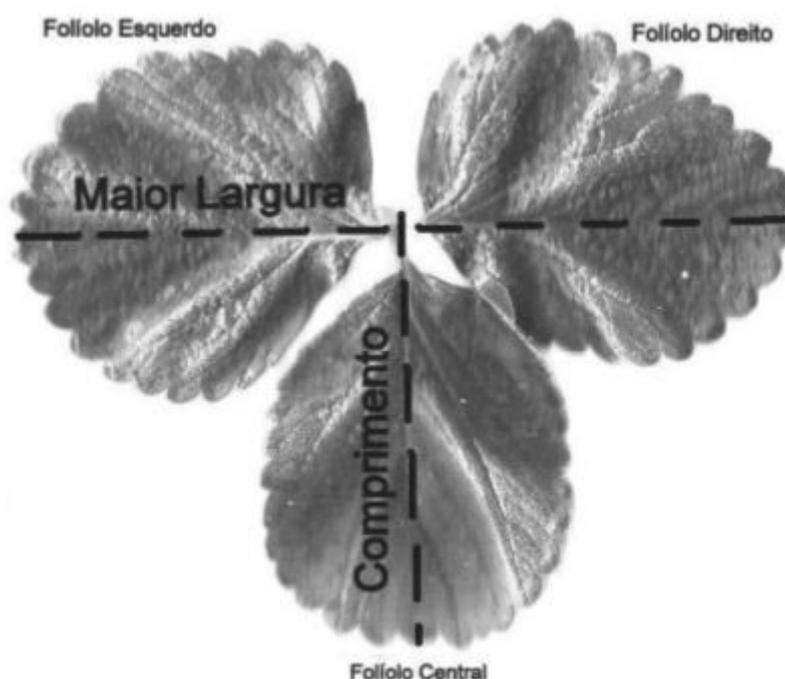


Fonte: modificada de: ReBlue, 2017.

4.3 ANÁLISE DE CRESCIMENTO

Os dados passaram a ser registrados dois dias após o plantio e permaneceram sendo registrados até o momento em que restavam aproximadamente $\frac{1}{4}$ do total de morangueiros plantados (6 plantas), o que compreende 72 dias após o plantio das mudas na casa de vegetação. As variáveis mensuradas foram: número de folhas por planta (NFP), área foliar por folha por planta (AF) e número de folhas modificadas por planta (NFMP). A área foliar foi aferida seguindo metodologia de Zeist, A. R. *et al.* (2014), compreendendo o produto entre a largura e o comprimento de cada folha, conforme demonstrado na Figura 6.

Figura 6 – Dimensões descritas para realização da estimativa da área foliar em morangueiro pelo método do produto do comprimento e largura da folha.



Fonte: modificado de ZEIST, A. R. *et al.*, 2014.

Foi analisada a taxa de crescimento em extensão absoluto (TCA, em $\text{cm}^2/\text{sem.}$) e taxa de crescimento em extensão relativa (TCR, em $\text{cm}^2/\text{cm}^2/\text{sem.}$) das plantas. Para o cálculo da TCA (Fórmula 1) e da TCR (Fórmula 2) foram utilizadas fórmulas adaptadas de Peixoto e Peixoto (2009), destinadas para valores médios de W_n e $\ln W_n$:

$$TCA = \frac{(W2 - W1)}{(T2 - T1)} \quad (1)$$

em que W2-W1 consiste na diferença da área foliar, em cm², entre uma amostragem (W2) e outra (W1) adquirida ou perdida entre o intervalo de tempo T2-T1, sendo que T1 referente a amostragem W1, e T2 a W2. O intervalo de tempo tomado entre uma amostragem e outra foi de sete dias. Ou seja, TCA indica a variação de crescimento médio das folhas por semana (cm²/sem.). E, para calcular o crescimento vegetal que é dependente da quantidade de área acumulada, foi utilizada a Fórmula 2:

$$TCR = \frac{(\ln W2 - \ln W1)}{(T2 - T1)} \quad (2)$$

em que ln é o logaritmo neperiano, W2 e W1 são a área média nos tempos T2 e T1, respectivamente. O TCR representa o crescimento vegetal ocorrido a partir do material já acumulado em T1 até o momento T2 (em uma semana).

4.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental utilizado foi completamente ao acaso (DCA). As plantas foram distribuídas aleatoriamente nos slabs e, posteriormente, identificadas individualmente com a inicial “S” seguida por um número que indica a ordem crescente do slab na estante, começando do fundo da estante em direção a borda e de cima para baixo, de 1 a 5, em seguida, a inicial “P” seguida pelo número da ordem das plantas em cada slabs, da esquerda para a direita, de 1 a 6.

Os valores da TCA e da TCR foram submetidos a Análise de Variância (ANOVA) para verificar se houve variação significativa entre os períodos de análise, ou seja, se houve variação de crescimento significativa ao longo do tempo. O mesmo foi feito com os valores da área foliar ao longo do tempo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CIRCUNSTÂNCIAS DO AMBIENTE DE PRODUÇÃO

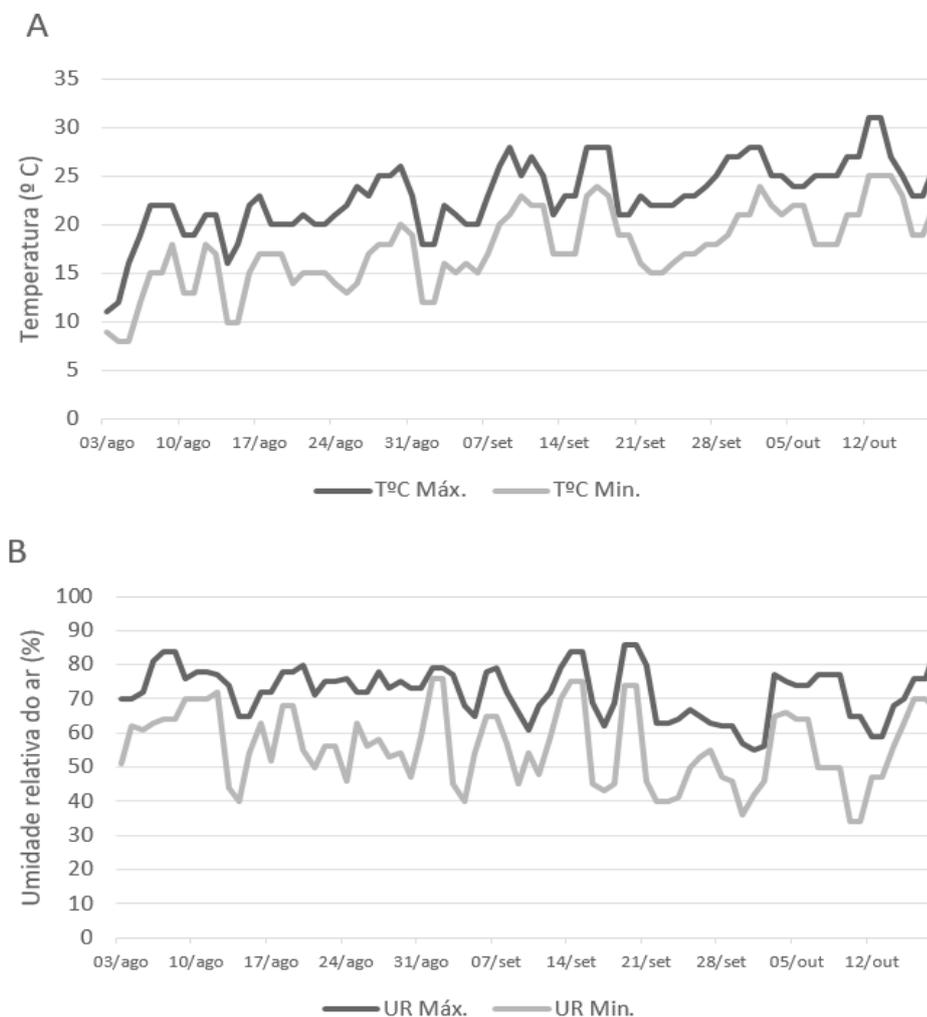
5.1.1 Temperatura e Umidade Relativa do Ar

As temperaturas de máxima ($T^{\circ}\text{C Máx.}$) e de mínima ($T^{\circ}\text{C Mím.}$) (Figura 7 A) ao longo do experimento foram de 31°C (dias 12 e 13 de out.) e 8°C (dias 4 e 5 de ago.), respectivamente. A umidade relativa máxima (UR Máx) e mínima (UR Mím), dispostas na Figura 7 B, foram de 86% (dias 19 e 20 de set.) e 40% (p_v/p_{vs}) (dia 14 de ago.).

As condições do ambiente de produção (*indoor*), temperatura e umidade do ar, estão dentro dos limites necessários para a produção do morangueiro. A temperatura permaneceu na maior parte do tempo decorrido no experimento, dentro do intervalo de crescimento ótimo, entre 20°C e 26°C , e em nenhum momento foram alcançadas temperaturas inferiores a 7°C que, de acordo com Fagherazzi, A. F. (2013, p. 30), é o limite inferior para que, abaixo deste, as plantas sessem o desenvolvimento ou tenham um desenvolvimento ínfimo e sem significância relativa. A temperatura é considerada por Verdial (2004) o fator ambiental de maior importância para a cultura do morangueiro.

O valor médio da UR, ao longo de todo o experimento, foi de 64%. A UR que, de acordo com Ashrae (1981), os efeitos sobre as plantas ocorrem indiretamente e estão relacionados com a diferença de potencial hídrico entre o ar, a planta e o solo, além de estar relacionada com a obtenção dos meios para a reprodução e disseminação de patógenos e outras pragas agrícolas. Para o bom desenvolvimento do morangueiro, os valores da UR não devem ser muito altos nem muito baixos, Lieten (2000) considera que o intervalo entre 65% e 75% de UR é o ideal para o desenvolvimento dos morangueiros. Valores muito baixos impedem a transpiração das plantas, que sessa devido à diferença de potencial hídrico entre atmosfera, planta e solo. A ausência de transpiração faz com que a superfície das folhas aqueça, mesmo havendo disponibilidade hídrica (LIETEN, P., 2000).

Figura 7 – Gráficos de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (UR%), máximas e mínimas, do ambiente de produção no período entre 6 de agosto e 19 de outubro do ano de 2019, mensuradas com termohigrômetro. São Lourenço do Oeste - SC, 2019.



5.1.2 Condutividade Elétrica

A CE média da solução drenada dos slabs foi de $0,8 \text{ mS cm}^{-1}$. A CE no plantio das mudas era de $0,7 \text{ mS cm}^{-1}$ e foi remanejada para que gradativamente se alcançassem valores perto do indicado por Gonçalves *et al.* (2016) e Cocco *et al.* (2016). Os valores medidos da CE (Figura 8) ficaram $0,2 \text{ mS cm}^{-1}$ abaixo do recomendado pela literatura, que é de $1,00$ a $1,2 \text{ mS cm}^{-1}$, mas, este valor para a CE, não justifica um baixo crescimento do índice de área foliar que, demonstrado por Portella, Peil e Rombaldi (2012, p. 266-273) em seu trabalho, diminui com o

aumento da CE da solução nutritiva (no aumento de 0,7 para 1,7 mS cm⁻¹, ocorrendo redução de 30,5% da parte aérea vegetativa) e, no intervalo entre 0,5 mS cm⁻¹ e 1,2 mS cm⁻¹ (o ponto em que se obteve o maior índice de área foliar), houve uma diferença de aproximadamente 0,3 m² m⁻² em relação ao índice de área foliar, um acúmulo de área foliar consideravelmente baixo se comparado com o acúmulo de área foliar total, ocorrido ao longo do experimento do autor citado.

Figura 8 – Gráfico da condutividade elétrica (CE) da solução drenada dos slabs entre os dias 06 de agosto e 19 de outubro de 2019. São Lourenço do Oeste - SC, 2019.



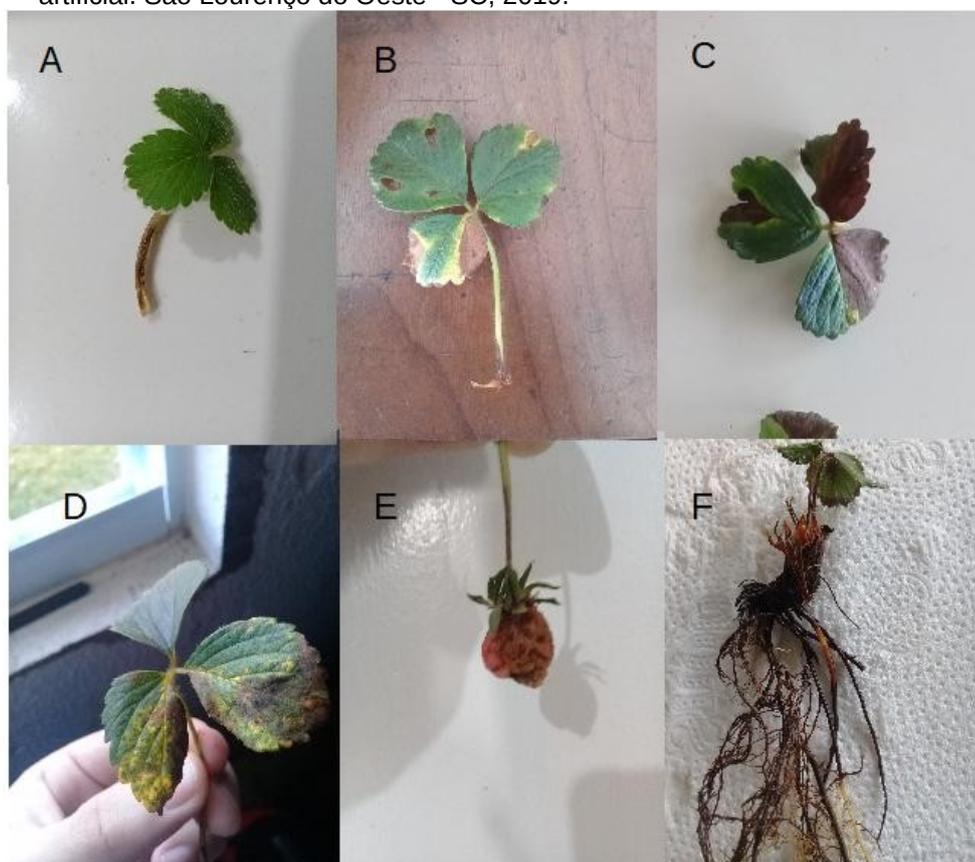
5.1.3 Sintomas de Deficiência Nutricional

Durante o cultivo foi possível observar a presença de alguns sintomas de deficiência nutricional, como: escurecimento do pecíolo (semelhante ao sintoma de deficiência de potássio), manchas necróticas em regiões diversas, encurtamento das pontas dos folíolos (semelhante à deficiência de cálcio), clorose internerval (formando pequenas manchas angulares nas folhas), formação de alguns frutos disformes (semelhante à deficiência de boro) e escurecimento e má formação das raízes (Figura 9).

A presença de sintomas de deficiência nutricional pode ter sido ocasionada pela falta de energia livre (ATP e NADPH⁺) utilizada para geração de trabalho e movimento (VIEIRA *et al.* 2010, p. 18) necessários para a construção de tecido vegetal e na produção de mais energia livre responsável pelo transporte ativo

de nutrientes para a planta e ao longo da planta (SONDERGAARD; SCHULZ; PALMGREN, 2004, p. 2475 – 2482). De acordo com Peres e Kerbauy (2000), o crescimento radicular é controlado por certos fatores, entre eles estão a disponibilidade de fotoassimilados e nutrientes disponíveis para a absorção. Existe a probabilidade de a qualidade da luz ter influenciado indiretamente no metabolismo da planta, e nos fatores determinantes para o seu bom desenvolvimento, já que vem daí a energia livre utilizada nos processos metabólicos.

Figura 9 – Sintomas de deficiência nutricional variados em cultivo de morangueiro *indoor* sob luz artificial. São Lourenço do Oeste - SC, 2019.



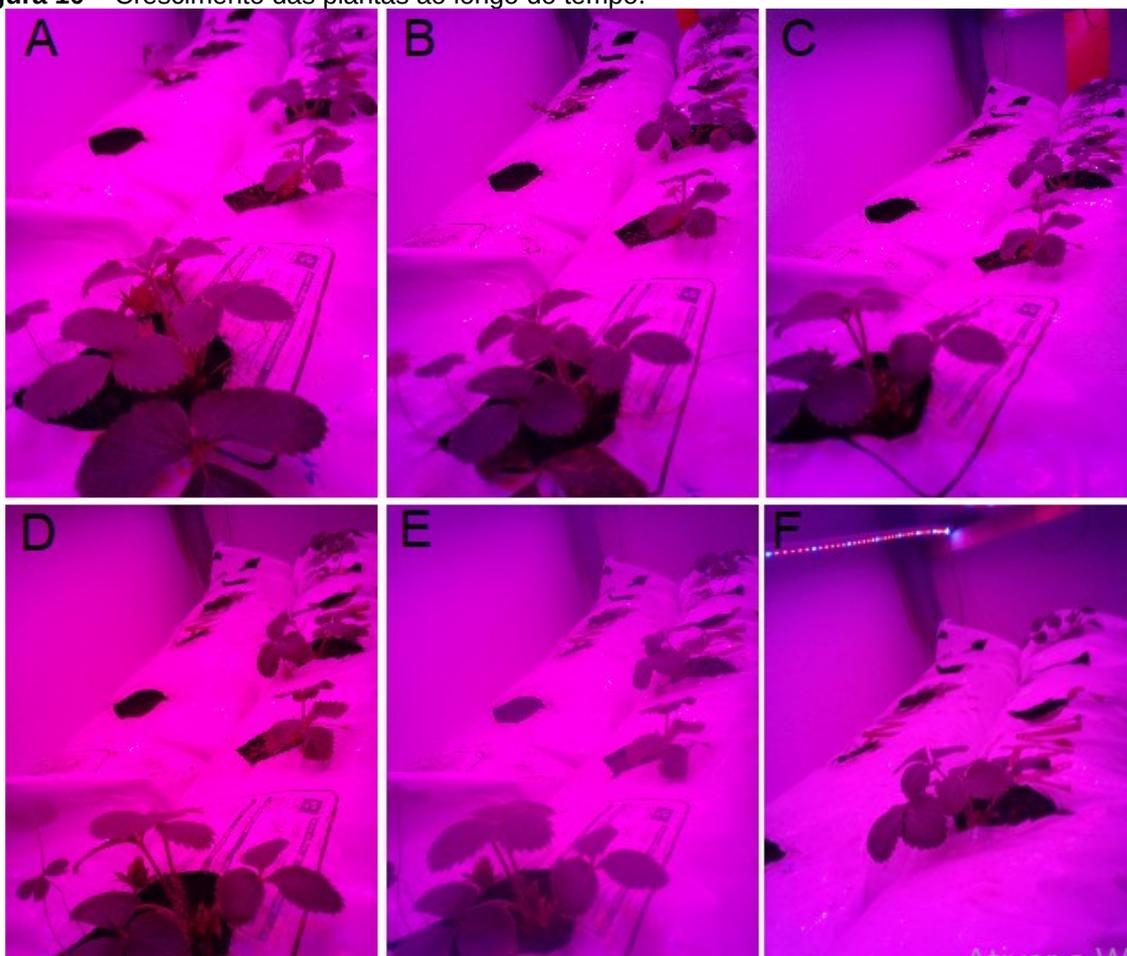
(A) Escurecimento do pecíolo; (B) Manchas necróticas em regiões diversas; (C) Encurtamento da ponta do folíolo; (D) Pequenas manchas angulares; (E) Fruto disforme; (F) e escurecimento e má formação das raízes.

5.2 ANÁLISE DE CRESCIMENTO

Durante o experimento foi possível verificar comportamentos distintos entre as plantas, o que indica uma variância amostral alta entre as plantas, promovida pela desuniformidade das mudas. Uma parte de plantas senesceu a partir

da sexta semana após o transplântio. Outro grupo de plantas perdurou até o final do experimento (do dia 6 de agosto até 19 de outubro). A Figura 10 ilustra o ocorrido ao longo da condução do experimento, em que parte das plantas foram gradativamente reduzindo a área foliar com a senescência de folíolos e/ou folhas.

Figura 10 – Crescimento das plantas ao longo do tempo.



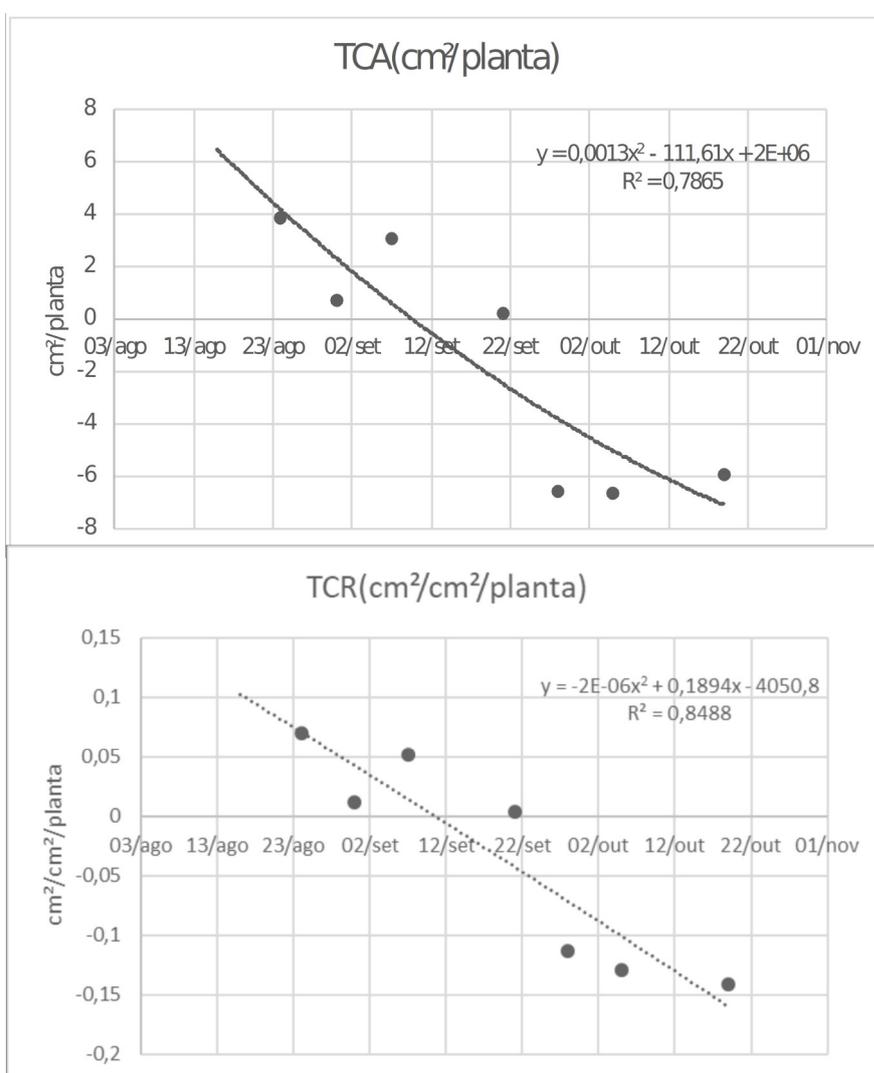
Plantas em diferentes épocas ao longo do experimento. (A) dia 25 de ago; (B) 14 de set; (C) 21 de set; (D) 29 de out; (E) 04 de out; (F) 10 de out.

5.2.1 Crescimento da Área Foliar e Número de Folhas

A taxa de crescimento absoluta da parte aérea do conjunto de todas as plantas variou significativamente com a análise de variância (ANOVA) entre os valores adquiridos ao longo do tempo, à nível de 5% de probabilidade de erro. A taxa de crescimento média foi decaindo ao longo do tempo e, a partir da sexta semana, a média da taxa de variação da área foliar passou a decrescer devido à

senescência das folhas e morte das plantas em maiores proporções do que o crescimento da área foliar. É possível observar, na Figura 11, um comportamento parcialmente uniforme, com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,78, aproximadamente, o que significa que, a distribuição dos pontos no gráfico da equação quadrática, estão 78% de acordo com a curva de tendência ilustrada na Figura 11.

Figura 11 – Gráfico da distribuição, ao longo tempo, da taxa de crescimento absoluto (TCA) (em $\text{cm}^2 \cdot \text{Planta}^{-1}$) e taxa de crescimento relativo (TCR) (em $\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{planta}^{-1}$) de morangueiros cultivados com luz artificial provida por LED. São Lourenço do Oeste – SC, 2019.



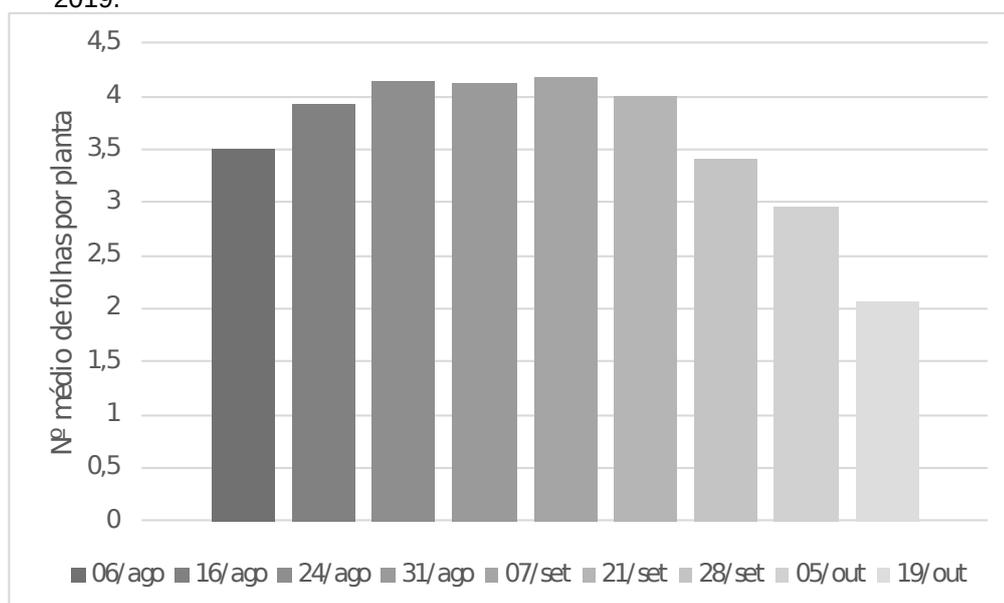
A ANOVA não indicou variação significativa da TCR da parte aérea do conjunto de todas as plantas, à nível de 5% de probabilidade de erro, entre os intervalos de tempo em que foram feitas as avaliações. A Figura 11 indica uma

tendência da TCR, que seguiu semelhante à da TCA, com a diferença de que, na expressão gráfica, a linha de tendência teve uma declividade menos acentuada, isto é, uma variação em menores proporções dos valores da TCR nos períodos. A declividade menor significa que a produção de área fotossinteticamente ativa aumentou com o acúmulo de área foliar.

Os valores da TCR decaíram ao longo do tempo e, a partir da sexta semana, a média da taxa de variação da área foliar sobre o acúmulo de área acrescida passou a ficar negativada devido à senescência das folhas e morte das plantas em maiores proporções do que o crescimento da área foliar sobre a área foliar acumulada. O coeficiente de determinação (R^2) foi de aproximadamente 0,85, indicando uma tendência paramétrica no comportamento das plantas ao longo do tempo (Figura 11).

A dinâmica do número médio de folhas das plantas ao longo do tempo pode ser vista na Figura 12. O número de folhas entre os períodos não diferiram significativamente a 5% de probabilidade de erro com ANOVA. A figura mostra uma tendência das plantas terem um acréscimo do número de folhas no período inicial do experimento, até o dia 24 de agosto, quando, a partir daí, até o dia 07 de setembro, houve uma estabilização do número médio de folhas e, em seguida, uma queda do número médio de folhas por planta.

Figura 12 – Gráfico da distribuição, ao longo tempo, do número médio de folhas por planta de morangueiros cultivados com luz artificial provida por LED. São Lourenço do Oeste – SC, 2019.

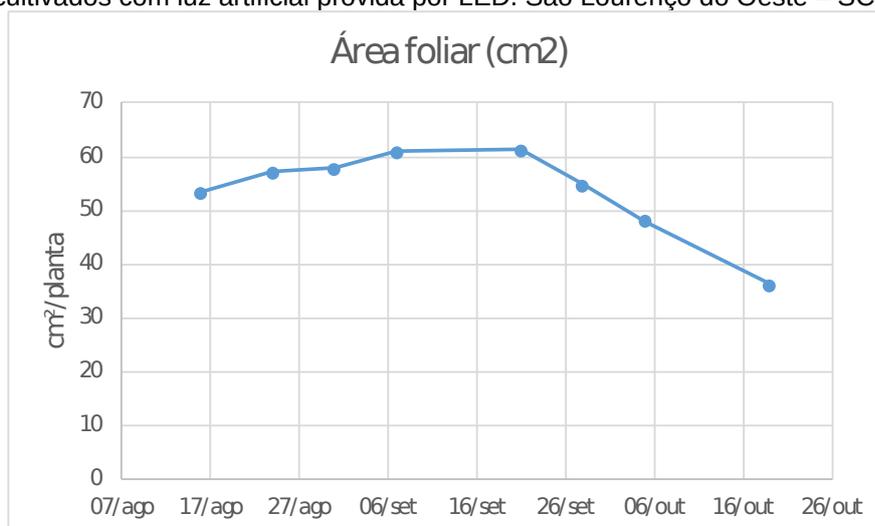


Este comportamento está de acordo com a dinâmica da taxa de crescimento da área foliar ao longo do tempo, que permaneceu positiva até perto do dia 21 de setembro, momento em que o número de plantas que começaram a perder folhas ou morrer se sobrepôs ao número de plantas que permaneciam vivas e ou saudáveis.

5.2.3 Dinâmica de Crescimento da Área Foliar

A dinâmica de crescimento da área foliar deste trabalho está representada na Figura 15. A totalidade das plantas senesceu antes do 70º dia após o plantio, das quais, a maioria antes do 40º dia. No trabalho de Pivoto (2016), a dinâmica de crescimento da área foliar demonstrou-se diferente à do presente trabalho, em que o crescimento da área foliar foi constante e permaneceu até o final do ciclo da planta, aos 270º dia após o plantio. No trabalho de Pivoto foi registrado uma leve queda na taxa de crescimento ao 90º dia após o plantio, mas nada nas mesmas proporções ocorridas com as plantas avaliadas no presente trabalho (Figura 15). A área foliar registrada pelo mesmo autor foi consideravelmente maior que a registrada no presente trabalho, igual ou superior ao dobro da área.

Figura 13 – Gráfico da dinâmica da área foliar ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) ao longo do tempo dos morangueiros cultivados com luz artificial provida por LED. São Lourenço do Oeste – SC, 2019.



O morangueiro sofre influência na área foliar dos fatores ligados a intensidade luminosa, visto que, no trabalho de Jurik, Chabot e Chabot (1982), é

relatada a diferença entre a medida da área foliar de morangueiros quando expostos a dois tipos de intensidades luminosas diferentes, $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $406 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Os valores de área foliar são maiores quando a intensidade luminosa é maior.

A qualidade da luz é outro fator que pode ter influenciado no baixo crescimento da área foliar, pois Naznin *et al.* (2016), constatou que a utilização da relação entre luz vermelha e azul de 5/1 (vermelha/azul) possui uma eficiência efetiva em indicadores de crescimento (massa seca, massa fresca, altura da inflorescência, número de flores, número de folhas, número de coroa por planta) menor do que quando a relação entre luz vermelha e azul for maior (10/1 e 19/1), devido a maior eficiência quântica relativa da luz vermelha em comparação à luz azul.

As plantas cultivadas foram replantadas tardiamente, algumas com as células já diferenciadas, o que fez com que a média de crescimento decaísse até certo ponto. A temperatura do ar é um dos fatores determinantes para a emissão de novas folhas (MENDONÇA *et al.*, 2012).

6 CONCLUSÕES

O crescimento do morangueiro *indoor* sob as circunstâncias de produção do trabalho, analisado com a taxa de crescimento absoluto e relativo, não foi significativo, apesar de ter sido observado uma tendência paramétrica no início do experimento que indicava um aumento da área foliar gradativo até determinado período de tempo, quando, a partir de então, o crescimento médio aparente cessou.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível verificar uma manutenção das respostas das plantas à luz artificial no que se diz respeito ao crescimento vegetativo, em que as plantas emitiram novas folhas e aumentaram a área foliar de forma perceptível, porém não significativa.

A literatura mostra que com concentrações maiores (do que a que foi utilizada neste trabalho) de comprimentos de onda de luz perto de 660 nm (luz vermelha) o crescimento e desenvolvimento do morangueiro são mais eficientes. Também mostra que com diferentes espectros de luz, existem diferentes resultados nas características indicativas de crescimento e produção. Com isso, cabe à comunidade científica aprofundar as pesquisas quanto a qualidade e intensidade de luz adequada para que o cultivo do morangueiro possa ser realizado visando um maior desempenho adaptativo do sistema de produção *indoor* para a cultura.

Outro tema a ser estudado é a escolha das cultivares mais adequadas para o sistema de produção *indoor* com luz artificial. Considerando que as cultivares têm respostas diferentes entre si para cada tipo de condições de produção, a escolha, ou até mesmo o melhoramento genético, para a obtenção de uma cultivar que se adéque ao sistema de produção, pode ser um caminho para viabilizar a cultura do morangueiro com bons índices produtivos.

A escolha das mudas é um fator determinante para o cultivo de morangueiros em qualquer sistema de produção. As mudas utilizadas neste trabalho não estavam em plenas capacidades de desenvolvimento, por serem mudas salvas de vários cultivos atrás e por estarem com pouca reserva (material vegetal desenvolvido) enquanto algumas plantas já entravam no período de desenvolvimento reprodutivo (devido ao atraso na implantação do cultivo). Através da análise dedutiva, eliminando todos os fatores que poderiam ter sido os responsáveis pelo decréscimo das plantas, foram relevados dois, que podem ter contribuído mutuamente para tal, que são: a qualidade da luz e mudas de qualidade duvidosa.

REFERÊNCIAS

- ALBRIGHT, Louis D. *et al.* **Environment control for animals and plants**. American Society of Agricultural Engineers, 1990.
- ARNOLD, C. Y. **Maximum-Minimum temperature as a basis for computing heat units**. Horticultural Science, San Francisco, v. 76, n.1, 1960, p. 682-692.
- ASHRAE, Chapter 9. Environment control for animals and plants, p. 9.1-9.18. **Ashrae Handbook of Fundamentals**, 1981.
- BANTIS, F., SMIRNAKOU, S., OUZOUNIS, T., KOUKOUNARAS, A., NTAGKAS, N., & RADOGLU, K. **Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs)**. Scientia Horticulturae, 235, 2018, p. 437-451.
- BLANKENSHIP, Robert E. Photosynthesis: The Light Reactions. In: TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo (Orgs.). **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2013. cap. 7. p. 163-197.
- BLEIHOLDER, H. *et al.* **Growth stages of mono-and dicotyledonous plants**. BBCH monografia. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, Berlin/Braunschweig, Germany, p. 158, 2001.
- BUENO, SCS *et al.* **Florescimento de 17 cultivares de morangueiro (*Fragaria x Ananassa* DUCH.)**, em São Bento do Sapucaí-São Paulo. In: Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 27. Belém, 2002.
- CALVETE, Eunice; NIENOW, Alexandre; WESP, Cristiane De Lima; CESTONARO, Lucas; MARIANI, Franciele; FIOREZE, Irineo; CECCHETTI, Dileta & CASTILHOS, Tatiana; **Produção hidropônica de morangueiro em sistema de colunas verticais, sob cultivo protegido**. Revista Brasileira De Fruticultura, v. 29, p. 524-529, 2007.
- CASTRO, Ricardo Lima de. **Melhoramento genético do morangueiro: avanços no Brasil**. 2º Simpósio Nacional do Morango 1º Encontro de Pequenas Frutas e Frutas Nativas, 2004, p. 22-36.
- CHOI, Hyo Gil *et al.* **Effect of different light emitting diode (LED) lights on the growth characteristics and the phytochemical production of strawberry fruits during cultivation**. Korean Journal of Horticultural Science and Technology, v. 31, n. 1, p. 56-64, 2013.
- EPAGRI. Monitoramento do frio. Disponível em: www.ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=510&Itemid=480. Acesso em: 05 Jan. 2020.
- COCCO, Carine, *et al.* **Produção de mudas**. Luis Eduardo Corrêa Antunes Carlos Reisser Júnior José Ernani Schwengber, 2016, p. 79.

COSTA, Edilson *et al.* **Avaliação da produção do morangueiro em sistemas hidropônicos, utilizando casas de vegetação com diferentes níveis tecnológicos.** 2004.

DONADELLI, A.; KANO, C.; FERNANDES JÚNIOR, F.; FERRARA, L. M.; AZEVEDO FILHO, J. A. **Rentabilidade da cultura do morango no solo e em sistema sem solo em função da estrutura de sustentação.** Pesquisa & Tecnologia, v. 8, n. 2, 2011.

EMATER-MINAS GERAIS. **Dados confirmam que cultivo de morango cresce cada vez mais na agricultura familiar.** 2008.

FAGHERAZZI, A. F. *et al.* **Strawberry production progress in Brazil.** In: VIII International Strawberry Symposium 1156. 2016. p. 937-940.

FAGHERAZZI, Antonio Felipe *et al.* **Avaliação de cultivares de morangueiro no planalto sul catarinense.** 2013.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAOSTATS). 2017. **Production of strawberries 2014.** Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> Acesso em: 10 Jun. 2020.

FAO, U. **How to Feed the World in 2050.** In: Rome: High-Level Expert Forum, 2009. Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2018. Retirado de: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> Acesso em: 15 May 2018.

FOSKET, Donald E. Crescimento e Desenvolvimento. In: TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo (Orgs.). **Fisiologia vegetal.** 5 ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2013. cap. 16. p. 453-492.

GIMENEZ, Gustavo; ANDRIOLO, Jerônimo; GODOI, Rodrigo. **Cultivo sem solo do morangueiro.** Cienc. Rural, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 273-279, Feb. 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782008000100048&lng=en&nrm=iso Acesso em: 26 Mar. 2020.

GODOI, R. S.; ANDRIOLO, J. L.; FRANQUEZ, G. G.; JANISCH, D. J.; CARDOSO, F. L.; VAZ, M. A. B. **Produção e qualidade do morangueiro em sistemas fechados de cultivo sem solo com emprego de substratos.** Ciência Rural, v. 39, n. 4, 2009, p. 1039-1044.

GONÇALVES, Michél Aldrighi *et al.* **Produção de Morango Fora do Solo.** Embrapa Clima Temperado-Documents (INFOTECA-E), 2016.

GONZALÍAS, Yesid Ramos; LASSO, Eduardo Ramírez. **Desarrollo de un sistema de iluminación artificial LED para cultivos en interiores-Vertical Farming (VF).** Informador Técnico, v. 80, n. 2, p. 111, 2016.

HANCOCK, James F. **Plant evolution and the origin of crop species.** CABI, 2012.

HIDAKA, Kota *et al.* **Effect of photoperiod of supplemental lighting with light-emitting diodes on growth and yield of strawberry.** Environmental Control in Biology, v. 52, n. 2, p. 63-71, 2014.

- HIDAKA, Kota *et al.* **Effect of supplemental lighting from different light sources on growth and yield of strawberry**. *Environmental Control in Biology*, v. 51, n. 1, p. 41-47, 2013.
- HOPKINS, William G; HÜNTER, Norman P. A. **Introduction to plant physiology**. 3rd ed. New Jersey, USA: J. Wiley, 2004.
- IBGE Censo Agropecuário. **Brasil, grandes regiões e Unidades da Federação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.
- MENEZES JÚNIOR, Francisco Olmar Gervini; VIEIRA NETO, João; RESENDE, Renata Sousa. **Produção de cultivares de morangueiro em sistema semihidropônico sob diferentes substratos e densidades populacionais**. *Revista Thema*, v. 15, n. 1, p. 79-92, 2018.
- KIRSCHBAUM, Daniel Santiago. **Temperature and growth regulator effects on growth and development of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.)**. 1998. Dissertação de Mestrado. University of Florida.
- LIETEN, Philip. **The effect of humidity on the performance of greenhouse grown strawberry**. In: IV International Strawberry Symposium 567. 2000. p. 479-482.
- LISBOA, Joana; DA GRAÇA PALHA, Maria; OLIVEIRA, Cristina M. **Influência do substrato na fenologia, na biometria e produtividade das cultivares de morangueiro Camarosa, Rábida, San Andreas e Portola**. V Colóquio Nacional da Produção de Pequenos Frutos, v. 26, p. 19, 2016.
- LOESSL, Maximilian. **Agricultura vertical: do conceito à realidade**. In: *Revista de Agricultura Urbana (Orgs.)*. Cultivar a cidade: Inovações na agricultura urbana. n. 28, 2014, p. 116-121.
- MACHADO, José Tobias Marks. **Desempenho de morangueiro frente a diferentes espectros de radiação artificial complementar em cultivo sem solo**. 2015.
- MASSA, G. D., Kim, H. H., Wheeler, R. M., & Mitchell, C. A. **Plant productivity in response to LED lighting**. *HortScience*, 43(7), 2008, p. 1951-1956.
- MELO, George. Wellington Bastos; BORTOLOZZO, Adriane Regina; VARGAS, Leandro. **Produção de morangos no sistema semi-hidropônico**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2006.
- MENDONÇA, Heloisa Ferro Constâncio *et al.* **Estimativa do filocrono de morangueiro em sistemas consorciado e solteiro em ambientes protegidos**. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 34, p. 15-23, 2012.
- MORAIS, Michele de Araújo; FRANCO, Ana Carolina Domingos Oliveira; GONÇALVES, Luciano Donizete. **Produção de morangos em regiões não tradicionais**. VI Semana de Ciência e Tecnologia IFMG, 2013.
- NAZNIN, M. T; LEFSRUD, M; GRAVEL, V. & HAO, X. **Using different ratios of red and blue LEDs to improve the growth of strawberry plants**. In VIII International Symposium on Light in Horticulture 1134. 2016, p. 125-130.

OLIVEIRA, Gabriel Alessandro de. **Gráfico da função de 2º**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/matematica/grafico-funcao.htm>. Acesso em 09 de janeiro de 2020.

PEIXOTO, Clóvis Pereira; PEIXOTO, Maria de Fátima da Silva Pinto. **Dinâmica do crescimento vegetal: Princípios básicos**. In: DE CARVALHO, Carlos Alfredo Lopes *et al.* Tópicos em Ciências Agrárias. [S.l.]: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2009. cap. 4, p. 36-53

PERES, Lázaro Eustáquio Pereira; KERBAUY, Gilberto Barbante. **Controle hormonal do desenvolvimento das raízes**. Universa, Brasília, v. 8, n. 1, p. 181-196, 2000.

PURQUERIO, Luis Flipe Villani; TIVELLI, Sebastião Wilson. **Manejo do ambiente em cultivo protegido**. Manual técnico de orientação: projeto hortalimento. São Paulo: Codeagro, p. 15-29, 2006.

SANHUEZA, Rosa Maria Valdebenito; HOFFMANN Alexandre; ANTUNES, Luís Eduardo C. & FREIRE, Japiassú de Melo. **Sistema de Produção de Morangos para Mesa na Região da Serra Gaúcha e Encosta Superior do Nordeste**. Embrapa Uva e Vinho; Bento Gonçalves, 2005.

SHARKEY, Thomas *et al.* Fotossíntese: Considerações Fisiológicas e Ecológicas. In: TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo (Orgs.). **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2013. cap. 9. p. 243-270.

SONDERGAARD, Teis E.; SCHULZ, Alexander; PALMGREN, Michael G. **Energization of transport processes in plants. Roles of the plasma membrane H⁺-ATPase**. Plant Physiology, v. 136, n. 1, p. 2475-2482, 2004.

TAZZO, IVONETE FATIMA *et al.* **Exigência térmica de duas seleções e quatro cultivares de morangueiro cultivado no planalto catarinense**. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal, v. 37, n. 3, p. 550-558, Sept. 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452015000300550&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 17 Mar. 2020. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-097/14>

TIMM, Luís Carlos *et al.* Manejo da água. In: ANTUNES, Luis Eduardo Corrêa; JUNIOR, Carlos Reisser; SCHWENGBER, José Ernani (Orgs.). **Morangueiro**. 1 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2016. cap. 13. p. 281.

VERDIAL, M. F. **Frigoconservação e vernalização de mudas de morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.) produzidas em sistema de vasos suspensos**. 2004. 71 p. Diss. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro; SILVEIRA, José Maria Ferreira Jardim da. **Mudança tecnológica na agricultura: uma revisão crítica da literatura e o papel das economias de aprendizado**. Rev. Econ. Sociol. Rural, Brasília, v. 50, n. 4, p. 721-742, Dec. 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032012000400008&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 01 June 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032012000400008>.

YOON, Sang Jun; WOUDSTRA, Jan. **Advanced Horticultural Techniques in Korea:** The Earliest Documented Greenhouses. *Garden History*, 2007, p. 68-84.

ZEIST, André Ricardo *et al.* Comparação de métodos de estimativa de área foliar em morangueiro. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v. 20, n. 1/2, p. 33-41, 2014.