



C A P Í T U L O 1

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE MORANGO EM CULTIVO INDOOR

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.519172513111>

Paulo Alexandre Fernandes Rodrigues de Melo

Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade, São Luis-MA

Janaina Marques Mondego

Instituto Estadual de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IEMA), São José de Ribamar-MA

Willians César Carrega

Universidade Estadual do Paulista – UNESP, Jaboticabal, SP.

Edmilson Igor Bernardo Almeida

Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Chapadinha-MA

RESUMO: A Revolução Verde marcou o período de maior segurança alimentar, sendo caracterizado pelo aumento na produção e distribuição mundial de alimentos. Embora se tenha dobrado a produção, houve efeitos colaterais devido à degradação ambiental e à perda de biodiversidade, com uso excessivo de agroquímicos. Não obstante, a segurança alimentar favoreceu o crescimento urbano no mundo e crescente urbanização, levando a inversão na distribuição da população entre o campo e as cidades. Estima-se que em 2050, aproximadamente 80% da população mundial viva nas cidades e, até lá, a agricultura precisará produzir quase 100% mais alimentos. Por isso, o objetivo do projeto foi avaliar o desenvolvimento das plantas e a produtividade de morangos cv. San Andreas em cultivo indoor. A unidade de produção de morangos em plant factory urbana será dimensionado em agricultura vertical e ambiente compacto para suporte de crescimento das plantas de morango da cultivar San Andreas. Para estabilização das variáveis ambientais o módulo de

produção estilo container com 60m², isolado termicamente com resíduos da indústria pesqueira com EPs de isopor. Para o controle das variáveis atmosféricas serão instalados os seguintes equipamentos: sistema atmosférico, temperatura, injeção de CO₂ e controle da umidade relativa do ar. Designer de cultivo dimensionado com barras de alumínio como suporte para fileiras de Slabs suspensas (36 slabs/fileira preenchidos com substrato de palha de arroz carbonizada) e luminárias de LEDs rosa (10unid/m²) posicionados entre os corredores de cultivo. Os painéis luminosos possuem mobilidade horizontal para criar espaços internos para o manejo operacional, manutenção e para regular uma irradiância constante de 90 µmol m⁻² s⁻¹ de luz que chegam as plantas (28 plantas/m²) com fotoperíodo de 16h (6 às 22h). Uma estação equipada com reservatórios, bombas elétricas e filtro osmose reversa com deionizador (4 estágios) purificará a água e/ou a solução de descarte quando necessário. A solução nutritiva foi formulada para a fase vegetativa e outra na fase de frutificação, sendo distribuída em sistema de fertirrigação por gotejadores com vazão de 2 L/h inseridos entre as plantas. Como conclusão pôde verificar um aspecto inovador eco fisiológico para o morangueiro no cultivo indoor foi realizado a partir deste estudo, principalmente quanto ao isolamento térmico utilizando Eps de isopor da indústria pesqueira. No entanto, precisa-se otimizar a intensidade da luz e inserir diferentes espectros de luz artificial. Avaliando a irradiância luminosa em cada estágio de crescimento do morangueiro, para poder permitir atingir uma alta produtividade.

PALAVRAS CHAVES: Cultivo indoor, hidroponia, morangueiro, San Andreas.

EVALUATION OF STRAWBERRY PRODUCTION IN INDOOR CULTIVATION

ABSTRACT: The Green Revolution marked a period of greater food security, characterized by increased global food production and distribution. Although production has doubled, there have been side effects due to environmental degradation and loss of biodiversity, with the excessive use of agrochemicals. Nevertheless, food security has favored urban growth worldwide and increasing urbanization, leading to a reversal in the distribution of the population between the countryside and cities. It is estimated that by 2050, approximately 80% of the world's population will live in cities, and by then, agriculture will need to produce almost 100% more food. Therefore, the objective of the project was to evaluate the development of the plants and the productivity of strawberries cv. San Andreas in indoor cultivation. The urban plant factory strawberry production unit will be designed for vertical farming and a compact environment to support the growth of San Andreas strawberry plants. To stabilize environmental variables, a 60m² container-

style production module was used, thermally insulated with waste from the fishing industry and polystyrene foam. The following equipment will be installed to control atmospheric variables: atmospheric system, temperature control, CO₂ injection, and relative humidity control. Designed grow tent with aluminum bars as support for rows of suspended slabs (36 slabs/row filled with carbonized rice straw substrate) and pink LED lights (10 units/m²) positioned between the grow aisles. The light panels have horizontal mobility to create internal spaces for operational handling, maintenance, and to regulate a constant irradiance of 90 µmol m⁻² s⁻¹ of light that reaches the plants (28 plants/m²) with a photoperiod of 16h (6 am to 10 pm). A station equipped with reservoirs, electric pumps, and a reverse osmosis filter with deionizer (4 stages) will purify the water and/or waste solution when necessary. The nutrient solution was formulated for the vegetative phase and another for the fruiting phase, being distributed in a fertigation system using drippers with a flow rate of 2 L/h inserted between the plants. An innovative eco-physiological aspect for indoor strawberry cultivation was achieved through this study, primarily regarding thermal insulation using EPS (expanded polystyrene) from the fishing industry. However, it is necessary to optimize light intensity and incorporate different spectra of artificial light. Evaluating light irradiance at each stage of strawberry growth is crucial to achieving high productivity.

KEY WORDS: Indoor cultivation, hydroponics, strawberry, San Andreas.

INTRODUÇÃO

No mundo é crescente o número de consumidores, focados na alimentação saudável em produtos frescos e de alta qualidade. Estudos demonstram que a nutrição personalizada deverá dobrar nos próximos 5 anos dos US\$ 8bi para US\$ 16bi, e em 20 anos, chegará em US\$ 64bi no planeta. No Brasil devido aos centros urbanos cada vez mais urbanizados com consumidores cada vez mais conscientes em hábitos de consumo saudáveis, potencializou o mercado de alimentos hortaliças frescas certificadas. Este mercado no país passou de 250 milhões para o incrível patamar 4.5 bilhões de reais, apenas nos últimos oito anos. No país grande parte da produção de hortícolas concentra-se nas Regiões Sul/Sudeste devido a fatores climáticos favoráveis e uso de tecnologia. Por isso, o transporte de alimentos hortícolas para cidades ultra urbanizadas das demais regiões do tem se tornando um grande problema no país, devido à sua extensa dimensão territorial, sendo a principal causa da queda de qualidade dos produtos hortícolas (RUSSO et al., 2017; ARMANDA, GUINÉE e TUKKER, 2019).

Nos últimos anos, devido a crescente urbanização e protagonismo dos consumidores uma tendência crescente é a reconfiguração do sistema agroalimentar.

Com a consolidação das cadeias curtas de produção em ambiente protegido, próximas aos centros urbanos. Principalmente, porque nas grandes cidades a segurança alimentar tem sido complementada por produtores urbanos que cultivam em áreas próximas. Contudo, a horticultura urbana enfrenta questões de insegurança alimentar, como o uso competitivo da terra, riscos de poluição do ecossistema e contaminação dos produtos alimentares por metais pesados e orgânicos KALANTARI et al., 2018; MANOS e XYDIS, 2019).

No Brasil 90% dos produtores de morango no país se concentram no Sul e Sudeste. Além disso, existe um problema na cadeia de produção, pois, os frutos de morangos são colhidos com 50% de maturação especificamente para suportar o transporte a longas distâncias. O que explica sua baixa qualidade física, estética e sensorial no mercado nos mercados do Norte e Nordeste. No mercado o transporte causa problemas logísticos como atraso nas entregas, menor tempo de prateleira do produto e para o meio ambiente a emissão de poluentes com a queima de combustíveis. Além disso, o transporte a longas distâncias é uma das principais causas de perdas pós colheita (campo (10%), transporte (50%) centrais de abastecimento e manuseio (30%) e supermercados e consumidor final (10%)) que promovem a queda exponencial na qualidade estética, nutricional e sanitária do morango (KHOSHNEVISAN, RAFIEE e MOUSAZADEH, 2013; SPECHTAB e SANYÉ-MENGUAL, 2020).

Além da preocupação com a segurança alimentar os sistemas de produção do morangueiro utilizados no Brasil, são responsáveis por diversos danos ambientais. Grande parte do morango produzido no país, produzido em cultivo protegido são baseados na plasticultura. Além disso, a maior parte dos sistemas de produção são abertos, com isso há descarte de resíduos líquidos da solução nutritiva e/ou resíduos plásticos no meio ambiente a cada safra, que contribuem para a degradação ambiental e à perda de biodiversidade. Pode-se afirmar, com precisão, que boa parte dos produtores lançam milhões de litros dos excessos da drenagem da solução nutritiva no meio ambiente causando danos aos lençóis freáticos todos os anos no Brasil. E apresentam dificuldade com o clima cada vez mais difícil, já que o morango é sensível as mudanças climáticas (COSTA et al., 2012; TYAGI, 2016; STAMM et al., 2015).

Com a popularidade e adoção da agricultura vertical em cultivo indoor a hidroponia é uma técnica crescente para produção de hortaliças no mundo. Especialmente, como estratégias competitivas de mercado e segurança alimentar. Pois, o potencial para cultivar alimentos em espaços reduzidos com ambientes controlados reduz variáveis ambientais, como pragas e doenças, clima e até estações do ano, permitindo rendimentos produtivos anuais previsíveis, ecológico e de maneira barata. Principalmente, porque diminui a distância da fazenda à mesa, sendo vantagens estratégicas de mercado em um contexto urbano. Outro ponto

positivo são as vantagens do cultivo indoor em relação ao sistema convencional é que neste sistema há uma considerável redução no uso de fertilizantes, pois os excessos da fertirrigação são reaproveitados e voltam ao sistema fechado de nutrição das plantas, evitando o lançamento destes compostos químicos no ambiente (ANTUNES, REISSEER JÚNIOR e SCHWENGBER, 2016; MARTIN e MOLIN, 2019).

A taxa de desperdício de alimentos hortícolas é de cerca de 35% no planeta. Aspecto preocupante para em um futuro ultra urbanizado, uma vez que a degradação ambiental de alimentos é responsável pela emissão de 10% dos gases de efeitos estufa. no Brasil a taxa de desperdício de alimentos hortícolas chega a 50%, ou seja, de tudo que é produzido quase a metade vai para o lixo. E que se torna mais grave a cada ano, uma vez que a estratégia agrícola convencional, para atender à crescente demanda por alimentos e compensar o desperdício é a solução desastrosa de abertura de novas áreas de cultivo, com o desmatamento dos biomas brasileiros. Certamente, uma plant factory urbana em cultivo indoor produzindo alimentos ao mesmo tempo que se gerencia os recursos naturais no Nordeste do Brasil é um avanço tecnológico, já que apesar desta região abrigar 37% da população, dispõe apenas 3% da água doce do país (RUSSO et al., 2017; SPECHTAB e SANYÉ-MENGUAL, 2020). Por isso, o objetivo do projeto foi avaliar o desenvolvimento das plantas e a produtividade de morangos cv. San Andreas em cultivo indoor.

MATERIAIS E MÉTODOS

Protocolo de produção de morangos em plant factory

A unidade de produção de morangos em *plant factory* urbana foi dimensionado em agricultura vertical e ambiente compacto. Para estabilização das variáveis ambientais o módulo de produção estilo container com 60m² (12 x 5 x 4m Comprimento, largura e altura) isolado termicamente com resíduos da indústria pesqueira, especificamente, EPs de isopor (0.30 x 0.20 x 0.10m, comprimento, largura e espessura). Para aumentar a eficiência do isolamento térmico, assepsia interna, melhor distribuição da incidência de luz e economia de energia elétrica toda a superfície interna foi revestida com manta termo refletora adesiva. Quanto as variáveis atmosféricas o ambiente foi mantido a injeção de CO₂ (720µmol/CO²/mol⁻¹ ar acionado em três períodos de 30 minutos entre 8 e 10 horas da manhã), exaustores e ventoinhas para promoveram a circulação e troca de ar interno. A umidade relativa do ar (UR), realizado por desumidificador e umidificador industrial, para manter o ambiente durante a floração ($\pm 80\%$). No entanto, o padrão de regulação da UR foi estabilizado em 60% durante o dia e 90% durante a noite.

A temperatura controlada com unidade condensadora e evaporadora de ar forçado, com automação interligadas com a luz artificial para simular o fotoperíodo do dia e noite. Durante o dia a oscilação térmica foi de $20 \pm 5^\circ\text{C}$ e durante a noite de $10 \pm 5^\circ\text{C}$. Quanto ao designer de cultivo foi dimensionado com barras de alumínio como suporte para manter os cultivos em quatro fileiras de *Slabs* suspensas (36 *slabs*/fileira). Uma estrutura metálica similar permite a sustentação de quatro painéis formados por luminárias de LEDs rosa (10unid/m²) posicionados entre os corredores de cultivo. Os painéis luminosos possuem mobilidade horizontal para criar espaços internos para o manejo operacional, manutenção e para regular uma irradiação constante de $90\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de luz que chegam as plantas (28 plantas/m²) com fotoperíodo de 16h (6 às 22h). Para auxiliar no controle fitossanitário utiliza-se luzes de LED UV-C germicida programado funcionamento durante 4h (22 às 2h).

O cultivo vertical é realizado com uso de *slabs* (200x33cm) preenchidos com substrato de palha de arroz carbonizada para suporte de crescimento das plantas de morango da cultivar San Andreas. Foram utilizadas duas soluções nutritivas, uma formula pronta Plantpar® (morango 1 e morango 2, 500g de cada misturados) para o crescimento vegetativo e uma solução nutritiva formulada na fase de frutificação segundo a metodologia descrita por Furlani, (2002), sendo distribuída em sistema de fertirrigação por gotejadores autocompensantes com vazão de 2 L/h inseridos entre as plantas. Com monitoração diária por aparelhos para medir o pH e a condutividade elétrica da solução nutritiva e do excesso drenado em calhas no sistema semi-hidropônico em ciclo fechado.

| Produto - Morango 1 | Componentes | Garantias (%) |
|---------------------|-------------|---------------|
| Plantpar® | Nitrogênio | 9.0 |
| | P2O5 | 12.0 |
| | K2O | 29.0 |
| | Magnésio | 2.5 |
| | Enxofre | 5.0 |

| Produto - Morango 2 | Componentes | Garantias (%) |
|---------------------|-------------|---------------|
| Plantpar® | Nitrogênio | 13.0 |
| | Cálcio | 18.0 |
| | Ferro | 0.1 |
| | Manganês | 0.02 |
| | Cobre | 0.01 |

| | |
|------------|-------|
| Zinco | 0.01 |
| Boro | 0.02 |
| Níquel | 0.001 |
| Molibdênio | 0.004 |

Tabela 1. Fontes de adubo para solução nutritiva com fórmula pronta para cultivo indoor do morangueiro cv. San Andreas. São Luís, UEMA 2025.

O protocolo de produção foi avaliado durante dois anos consecutivos, verificando a influência da dosagem e tempo de aplicação das métricas ambientais sobre o desenvolvimento e produtividade do morango. Foram avaliadas plantas em quadrantes (plantas/m² localizadas na parte superior, mediana e inferior de cada *slab* ao longo do contêiner) para que em cada setor sejam realizadas as seguintes avaliações:

1. Índices fisiológicos em cultivo Indoor – Foram determinados mensais os índices de troca gasosa, taxa de assimilação (A), condutância estomática (Gs), eficiência do uso da água (EUA) e taxa de transpiração (E), com as avaliações realizadas nos intervalos de 2 e 5hs após o acionamento da iluminação artificial, utilizando folhas localizadas na parte mediana do dossel da planta. Será utilizado um analisador de gás infravermelho (IRGA, Infrared Gas Analyzer, LI-6400 XT, Licor Ltda, USA). No momento da avaliação das plantas (30 DAT), a luz artificial estará regulada a 90 μ mol m⁻² s⁻¹. Nessa época, serão avaliadas 100 plantas ao acaso durante dois anos consecutivos em cada quadrante, utilizando a folha mais expandida. Durante as avaliações, a concentração inicial do CO₂ no contêiner mantida em 720 μ mol/CO₂/mol⁻¹ ar.

2. Análises quantitativas e qualitativas dos frutos - foram realizadas leituras dos sólidos solúveis (graus Brix) e firmeza dos frutos a cada safra. Assim, como a avaliação da produtividade que foi determinada em kg/m²/ano⁻¹ e o registro do número de colheitas ao longo do ano. Para cada avaliação da colheita será determinada o rendimento de produção em gramas/planta, número de frutos/planta e o número de classes comerciais obtidas pelo tamanho e nível de qualidade dos frutos. O peso unitário foi medido em balança de precisão, os sólidos solúveis em refratômetro e a firmeza com um penetrômetro de frutas digital.

3. Diagnóstico nutricional - Foi avaliado o estado nutricional das plantas, por meio, da análise da seiva, através de coletas de amostras foliares semanais, pela manhã 3 horas após o acionamento da iluminação artificial, sendo retiradas de 10 a 20 folhas centrais abertas sem sintomas aparentes, selecionando as plantas ao acaso em cada quadrante. Para analisar a cinética de absorção de nutrientes ao longo do ciclo por meio de extração da seiva, a fim de ajustar uma adubação

adequada. Na oitava semana foram realizadas as medições nos teores de Potássio (K^+) e Cálcio (Ca^{+2}) e Nitrogênio (NO^{-3}), com medidor LAQUATwin® de íons e medidor da Nitrachek® 404, respectivamente, devido à importância da relação entre desses nutrientes para a qualidade dos frutos. Foram retiradas amostras para análise de seiva do pecíolo foram retiradas em apenas alguns setores com plantas dos quadrantes inferior, mediano e superior.

4. Emissão da fluorescência da clorofila a trocas gasosas - As avaliações da eficiência fotoquímica, por meio do rendimento quântico máximo do FV/FM, IF, e a densidade de centros de reação ativos do fotossistema II (RC/ABS), foram determinadas na folha mais desenvolvida fisiologicamente e a de maior área mensalmente. Para tanto, será utilizado o fluorímetro não-modulado modelo Pocket PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech, UK). Antes das avaliações da emissão da fluorescência, foi colocado uma pinça nas folhas para a adaptação de 30 minutos ao escuro. Esta adaptação foi realizada para que os centros de reações permaneçam completamente abertos com uma perda mínima de calor. Procedido a adaptação, um pulso de luz ($3500\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) foi aplicado por três diodos emissores de luz (650nm).

Para a avaliação taxa fotossintética líquida/taxa de assimilação de CO_2 (A), foi utilizado o analisador de gás infravermelho (IRGA®, Infrared Gas Analyzer) (LI-6400 XT, Licor Ltda, USA). Por meio do analisador LI6400 XT, e a uma intensidade de 100 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, determinada a taxa fotossintética líquida (A) ($\mu\text{mol}/CO_2/\text{m}^2\text{s}^{-1}$). As avaliações foram feitas 2 horas após os LEDS do módulo de produção serem ligados. Tanto para as medições da fluorescência como para as trocas gasosas foram utilizadas uma folha de 100 plantas escolhidas ao acaso e localizadas em cada quadrante ao longo do contêiner.

Para as fases de floração e frutificação a solução nutritiva foi formulada apartir de fontes de adubos com um grau de pureza elevada (**Tabela 2**). Ao longo do desenvolvimento vegetativo das plantas de morangueiro observou-se que as plantas começaram a expressar sintomas de deficiência em ferro e cálcio, provavelmente devido à baixa temperatura da solução nutritiva e devido à alta intensidade luminosa, respectivamente. Pôde notar ainda um acúmulo de nitrato nas folhas do morangueiro em cultivo indoor. Por isso, incluímos o uso de adubação foliar de molibdato de sódio para estimular a absorção eficiente utilizando o nitrato foliar (**Tabela 2**).

| Componentes | Concentração g/L ⁻¹ (fase inicial) | Concentração g/L ⁻¹ (frutificação) |
|------------------------------|--|--|
| Nitrato de cálcio | 475 | 630 |
| Sulfato de potássio | 370 | 450 |
| Sulfato de magnésio | 240 | 120 |
| Nitrato de potássio | 180 | 360 |
| MAP – fosfato monoamônio | 115 | 19 |
| MKP – fosfatomonopotássico | 70 | 150 |
| Sulfato de ferro quelatizado | 18 | 18 |
| Sulfato de mangânes | 1.85 | 1.85 |
| Sulfato de zinco | 0.22 | 0.22 |
| Sulfato de cobre | 0.20 | 0.20 |
| Ácido bórico | 1.72 | 1.72 |
| Molibdato de sódio | 0.13 | 0.13 |

Tabela 2. Fontes de adubo indicados para o morangueiro no Brasil, mas com grau de pureza elevado. São Luís, UEMA 2025.

Foi estabelecido um protocolo de adubação foliar mais robusta para complementar a nutrição das plantas em cultivo indoor (**Tabela 3**). Para manter o sistema a configuração da irrigação consiste em injetores de fertilizantes concentrados, gotejadores autocompensantes 2L/hora⁻¹, com monitoramento constante do pH do substrato que mantemos na faixa 5.0 – 5.5. Com um medidor de pH e condutividade elétrica continuamos a monitorar a saída do excedente ao final da calha que recolhia a solução nutritiva drenada 30% do total fornecido, isso para inibir o acúmulo de sais juntos as raízes.

| Componentes | Concentração | Frequência | Fase do ciclo |
|--|--------------------------|----------------|---------------|
| *Plenan® CaB Mg | 350ml/100L ⁻¹ | a cada 7 dias | Enraizamento |
| Plenan® P start | 300ml/100L ⁻¹ | a cada 15 dias | Vegetativo |
| Silicato de potássio | 250ml/100L ⁻¹ | a cada 15 dias | Frutificação |
| Calbit® C | 400ml/100L ⁻¹ | a cada 7 dias | Vegetativo |
| Genetics® One | 4ml/L ⁻¹ | a cada 7 dias | Vegetativo |
| Bloom & Grow Iron® (Fe ⁺³) | 180ml/100L ⁻¹ | a cada 7 dias | Vegetativo |

| | | | |
|---------------------|--------------------------|---------------|------------|
| Flex® Zinco 21 | 250ml/100L ⁻¹ | a cada 7 dias | Vegetativo |
| Molibidato de sodio | 25mg/L ⁻¹ | a cada 7 dias | Vegetativo |

* Plenan CaB Mg - Fertilizante foliar que contém Cálcio, Boro e Magnésio

Tabela 3. Produtos comerciais para adubação foliar suplementar em Macro e Micronutrientes e frequência de aplicação para o cultivo de morango cv. San andreas em cultivo indoor vertical. São Luís, UEMA 2025.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso, com os tratamentos distribuídos em quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, enquanto as médias serão comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Ainda foram utilizadas análises quantitativas em tabelas na coleta e interpretação de dados numéricos e mensuráveis. Com objetivo é medir variáveis, identificar padrões, testar hipóteses e, muitas vezes, generalizar os resultados.

RESULTADOS E DISCURSÃO

Nas avaliações de trocas gasosas pode-se observar que nos dois anos de cultivo indoor avaliados, a capacidade fotossintética foi superior nas plantas dos quadrantes mediano e do inferior, quando comparadas as plantas do quadrante superior. Para condutância estomática e transpiração novamente nas plantas dos quadrantes mediano e inferior os resultados foram superiores, não diferindo entre si estatisticamente (**Tabela 4**). Quanto à eficiência do uso de água, os resultados não mostraram diferenças estatísticas entre as plantas avaliadas independentemente do quadrante onde estão localizadas, respectivamente. Para latrou, (2015), trabalhando com morangueiro em hidroponia a escassez de nutrientes e o estresse hídrico podem limitar a fotossíntese. Segundo Hatfield e Dold, (2019), seus resultados demonstram que a cultivar San Andreas pode ser eficiente fotossinteticamente por apresentar menor perda de água, o que é um fator importante quando se considera a aclimatação de espécies a diferentes ambientes de cultivo.

Apesar das variáveis climáticas em cultivo indoor serem controladas, provavelmente a redução na condutância estomática ocorre devido a interação entre o substrato poroso de 100% de casca de arroz carbonizada, tamanho dos slabs (0.20 x 0.33m, comprimento e diâmetro, respectivamente) e a disposição em cultivo vertical (BALDIN et al., 2023). Isso possivelmente potencializa a baixa capacidade de retenção do substrato em água e nutrientes que podem não estar disponível em volume adequado para as raízes do morangueiro do quadrante superior. Resultando em uma redução potencial na absorção de água e nutrientes pelas plantas, o que pode resultar em diminuições na taxa de fotossíntese, condutância estomática e taxa de transpiração. Isso pode explicar ainda oscilação nos parâmetros ambientais e consequentemente nos resultados relacionados as trocas gasosas foliares.

| Trocas gasosas foliares | | | | |
|-------------------------|--|--|--|-------------------------------|
| 1º ano de cultivo 2024 | | | | |
| Plantas | Taxa Fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) | Condutância estomática (mol $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) | Transpiração (mol $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) | Eficiencia/uso da água (EUA) |
| Quadrante/ superior | 4,53c | 0,09b | 0,91b | 4,73a |
| Quadrante/ mediano | 6,75ab | 0,21a | 1,82a | 3,75a |
| Quadrante/ inferior | 6,94a | 0,25a | 2,01a | 3,92a |
| Trocas gasosas foliares | | | | |
| 2º ano de cultivo 2024 | | | | |
| Plantas | Taxa Fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) | Condutância estomática (mol $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) | Transpiração (mol $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) | Eficiencia/ uso da água (EUA) |
| Quadrante/ superior | 4,61c | 0,07b | 0,90b | 4,51a |
| Quadrante/ mediano | 6,32ab | 0,20a | 1,87a | 4,12a |
| Quadrante/ inferior | 7,16a | 0,26a | 2,54a | 3,78a |

Tabela 4. Taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração e eficiência do uso da água de folhas de 100 plantas de cada quadrante (30 DAT) de morango cv. San Andreas em cultivo indoor vertical nas safras 2023 e safra/2024. São Luís, UEMA 2025.

A intensidade da luz (NGUYENNA et al., 2019), a proporção de cores (KALMATSAYA et al., 2019) e fotoperíodo (YAN et al., 2019) têm um impacto significativo nas características morfológicas e fisiológicas do morango. Para o presente estudo encontrar a melhor combinação de luz para o desempenho do morango San Andreas, baseou-se na proporção de 70 e 30% de luz vermelha e azul, respectivamente, bem como na eficiência fotossintética da planta. No entanto, a área total das folhas não foi robusta e, podem ter influenciado negativamente na absorção de luz. Maior intensidade de luz provavelmente resultará em maior acúmulo de biomassa da parte área. Apesar da irradiação constante de $90\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de luz e aumento da concentração de CO_2 no contêiner mantida em $720\mu\text{mol/CO}_2\text{mol}^{-1}$ ar, utilizados nesta pesquisa não foram suficientes para obtenção de taxas fotossintéticas elevadas. Certamente, deve-se no mínimo dobrar a irradiação de fôtons que chegam as plantas de morango San Andreas, além de estudar a adição de outros espectros de luz como o branco e/ou o verde.

Para Guiamba et al. (2022), a combinação de espectro de 50% de tons de vermelho, 20% de verde e 30% de azul foi o tratamento mais eficaz para aumentar a matéria seca nas folhas do morangueiro, além de uma maior alocação de fotossintatos para as raízes. Portanto, provavelmente os resultados inferiores quanto a área foliar, taxa fotossintética neste estudo podem estar associados a falta do espectro de luz adequado e uma maior irradiação de fótons em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ /plantas.

Pelos dados inseridos nas **Tabelas 5 e 6** referentes ao primeiro ano de cultivo safra/2023 e ao segundo ano de cultivo safra/2024, verifica-se que independentemente das plantas inseridas nos quadrantes superior, mediano ou inferior, nota-se que as concentrações de nitrato (NO_3ppm), potássio (K^+ppm) e fosforo (Pppm) reduziram a partir do avanço do ciclo fenológico das plantas do morangueiro San Andreas. A única exceção foi o cálcio (Ca^+ppm) cuja elevação foi detectada, contudo, mesmo após a poda para iniciar o segundo ano de cultivo houve variação nas concentrações deste nutriente na seiva do pecíolo do morangueiro (**Tabelas 5 e 6**).

Para cada nutriente avaliado verifica-se que o teor de NO_3 na seiva do pecíolo de folha foi constante da oitava semana até a décima segunda semana (600ppm). A partir desse período da décima sexta semana até a vigésima quarta semana os teores de NO_3 reduziram drasticamente em valores entre 500 a 300ppm. Esse padrão se manteve até mesmo no segundo ano de cultivo, mesmo com suplementação foliar das plantas (**Tabelas 5 e 6**). Estes resultados são consistentes com os relatados por Martin e Molin (2019), que constatou que o teor de nitrato nos vegetais tende a diminuir durante o avanço dos estágios de crescimento fenológico do morangueiro.

Ainda no primeiro ano de cultivo pôde-se verificar para o potássio que a concentração entre a oitava até a últimas semanas de avaliação houve redução à medida que as plantas ficavam mais velhas (3000 a 1500ppm). Adicionalmente, no segundo ano de cultivo observou-se a mesma tendência de redução associada ao potássio (2750 a 1500ppm) No entanto, as plantas de morangueiro na safra/2024 apresentaram leituras inferiores, quando comparadas a safra/2023, normalizando o conteúdo de potássio na seiva apenas a partir da décima sexta semana. Provavelmente devido a suplementação foliar com silicato de potássio, que ocorreu a partir da frutificação (**Tabela 3**).

| Diagnóstico nutricional - Análise de seiva do pecíolo da cv. San Andreas | | | | | |
|--|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------|
| 1º ano de cultivo 2023 | | | | | |
| Semana | Plantas | Nitrato NO ₃ (ppm) | Potassio K ⁺ (ppm) | Calcio Ca ⁺ (ppm) | Fosforo P (ppm) |
| 4 | Quadrante superior | - | - | - | - |
| | Quadrante mediano | - | - | - | - |
| | Quadrante Inferior | - | - | - | - |
| 8 | Quadrante superior | 600 | 3000 | 35 | 180 |
| | Quadrante mediano | 600 | 3000 | 55 | 200 |
| | Quadrante superior | 600 | 3000 | 70 | 200 |
| 12 | Quadrante superior | 600 | 2500 | 35 | 220 |
| | Quadrante superior | 600 | 2500 | 50 | 220 |
| | Quadrante superior | 600 | 2500 | 68 | 220 |

| | | | | | | |
|----|--------------------|--|-----|------|-----|-----|
| | | | 500 | 2000 | 55 | 280 |
| 16 | Quadrante superior | | 500 | 2000 | 70 | 280 |
| | | | 500 | 2000 | 82 | 280 |
| | | | 400 | 1800 | 120 | 280 |
| 20 | Quadrante superior | | 400 | 1800 | 120 | 280 |
| | | | 400 | 1800 | 120 | 280 |
| | | | 300 | 1500 | 140 | 260 |
| 24 | Quadrante superior | | 300 | 1500 | 140 | 260 |
| | | | 300 | 1500 | 140 | 260 |
| | | | 300 | 1500 | 140 | 260 |

Tabela 5. Análises quantitativas e qualitativas dos frutos de 100 plantas de cada quadrante do morangueiro cv. San Andreas em cultivo indoor vertical safra/2023. São Luís, UEMA 2025.

Para o cálcio houve aumento progressivo, mas com variações na concentração desse nutriente na seiva dos pecíolos das plantas do quadrante superior, mediano e inferior oscilando em valores de 35 a 140ppm (**Tabelas 5 e 6**). No entanto, as variações nos níveis de cálcio foram mais evidentes da oitava semana até a décima sexta semana. Provavelmente, devido a diversos fatores, associados ao fato que o cálcio é um nutriente imóvel na planta. Diferentemente de outros nutrientes, o mesmo é absorvido pelas raízes e transportado para a parte aérea quase que exclusivamente pelo fluxo de água no xilema, impulsionado pela transpiração. Portanto, quanto mais alta a transpiração maior a troca gasosa de vapor d'água pelos estômatos, maior o fluxo de água e, consequentemente, maior a absorção e o transporte de cálcio para as folhas e frutos.

Quanto ao fosfato o teor na seiva do pecíolo do morangueiro San Andreas apresentou pequenas oscilações a partir da oitava semana onde as plantas do quadrante superior seguiram a tendência relatada para o cálcio, com elevação sistemática de seus teores em valores entre 180 a 280ppm independentemente do ciclo anual avaliado (**Tabelas 5 e 6**). Estes resultados corroboram apenas em parte com os obtidos por Muller et al. (2017), que relataram que durante o ciclo fenológico do morangueiro os nutrientes N, P, K e Ca diminuíram do estágio vegetativo até o período principal de colheita e se estabilizaram depois disso.

| Diagnóstico nutricional - Análise de seiva do pecíolo cv. San Andreas | | | | | | |
|---|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|---|
| 2º ano de cultivo 2023 | | | | | | |
| | | Nitrato NO ₃ (ppm) | Potassio K ⁺ (ppm) | Calcio Ca ⁺ (ppm) | Fosforo P (ppm) | |
| Semana | Plantas | | | | | |
| 4 | Quadrante superior | - | - | - | - | - |
| | Quadrante mediano | - | - | - | - | - |
| | Quadrante Inferior | - | - | - | - | - |
| 8 | Quadrante superior | 600 | 2750 | 32 | 180 | |
| | Quadrante mediano | 600 | 2750 | 50 | 200 | |
| | Quadrante superior | 600 | 2750 | 62 | 200 | |
| 12 | Quadrante superior | 600 | 2450 | 36 | 220 | |
| | Quadrante superior | 600 | 2450 | 65 | 220 | |
| | Quadrante superior | 600 | 2450 | 75 | 220 | |

| | | | | | |
|----|--------------------|-----|------|-----|-----|
| | Quadrante superior | 500 | 2000 | 52 | 280 |
| 16 | Quadrante superior | 500 | 2000 | 74 | 280 |
| | Quadrante superior | 500 | 2000 | 80 | 280 |
| | Quadrante superior | 400 | 1800 | 120 | 280 |
| 20 | Quadrante superior | 400 | 1800 | 120 | 280 |
| | Quadrante superior | 400 | 1800 | 120 | 280 |
| | Quadrante superior | 300 | 1500 | 140 | 260 |
| 24 | Quadrante superior | 300 | 150 | 140 | 260 |
| | Quadrante superior | 300 | 1500 | 140 | 260 |

Tabela 6. Análises quantitativas e qualitativas dos frutos de plantas de cada quadrante do morangueiro cv. San Andreas em cultivo indoor vertical, safra/2024. São Luís, UEMA 2025.

A poda drástica realizada no segundo ano de cultivo neste estudo remove parte da massa foliar, sendo um estresse para a planta. Após a poda, o objetivo do morangueiro será a rápida emissão de novas folhas (AL-KODMANY, 2018) Nessa fase de rebrota intensa, a demanda por nutrientes, incluindo o potássio, é alta. Portanto, é possível na presente pesquisa que o manejo da fertirrigação deveria ter sofrido ajustes para atender a essa nova demanda. Essa poderia ser a causa dos baixos níveis de potássio na seiva do pecíolo do morangueiro San Andreas na safra/2024 com índices abaixo dos avaliados na safra/2023, com valores entre 2750 a 2450ppm entre a oitava e décima segunda semana, respectivamente (**Tabelas 5 e 6**). Teoricamente outras causas são relatadas, como o envelhecimento das raízes

no segundo ano de cultivo. Plantas mais velhas, podem apresentar uma menor eficiência na absorção de nutrientes ao longo do tempo. Por outro lado, existe a possibilidade de desequilíbrio temporário de potássio na seiva do pecíolo devido para a nova brotação, sendo regularizada posteriormente por meio da adubação foliar aplicada no início da frutificação (**Tabela 3**).

Para atingir alto nível de rendimento de produção os resultados de (Hochmuth e Hochmuth, 2022) relataram que para o nitrato do pecíolo a concentração nunca deve estar abaixo de 500ppm. Para estes mesmos autores, para obtenção de uma produção precoce e robusta os níveis de nitrato devem atingir 3000 - 4000ppm nas fases de crescimento até a frutificação. No presente trabalho os nutrientes não estavam em concordância com as faixas de suficiência relatadas como ótimas com altas produtividades. Além disso, como já mencionado, nesta pesquisa a irradiação constante de $90\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de luz e aumento da concentração de CO_2 mantida a $720\mu\text{mol/CO}_2\text{/mol}_{-1}$ no ar, não foram combinações suficientes para elevar a fotossíntese. Em taxas correlacionadas a parâmetros que propiciem alta produtividade do morango. Certamente, deve-se no mínimo dobrar ou até triplicar a irradiação de fôtons que chegam as plantas de morango San Andreas, e estudar a adição de outros espectros de luz como o branco e/ou o verde.

Um dos principais entraves da produção em ambiente protegido é a fertilização das culturas, que devido a sua importância pode resultar no insucesso do sistema. Para Dominguez et al., (2020) os conteúdos de N, P, K⁺ e Ca⁺ foram menores em folhas crescendo em altas concentrações de CO_2 do que naquelas em baixas. Para estes mesmos autores um nível elevado de CO_2 acima de 750ppm levou a uma deficiência geral de macronutrientes em estufa. No entanto, no atual estudo em cultivo indoor com o morango, utilizou-se taxa de CO_2 de 720ppm. Porém, as taxas de alguns nutrientes se mantiveram bem abaixo, apesar do protocolo de suplementação foliar utilizado. No presente trabalho as plantas em cultivo indoor permaneceram com um desenvolvimento foliar abaixo do normal, quando comparado ao cultivo em estufa.

Devido à importância de um suprimento constante de nitrogênio na produção de morango, a análise de nitrato-nitrogênio (NO_3) nos pecíolos é recomendada. Os níveis de NO_3 avaliados durante a análise da seiva deveria pressupor as necessidades de nitrogênio no tecido foliar e deveriam servir como base para determinações semanais da taxa de nitrogênio, como ocorre normalmente em cultivos no campo e em estufa. Provavelmente outras fontes de nitrogênio com NH_4 amoniacal deveria ser considerada em pesquisas futuras. Principalmente, a medida que a frutificação pesada começar, contudo, esta hipótese só poderá ser testada em estudos futuros.

Quanto aos dados referentes as análises quantitativas e qualitativas dos frutos quanto aos sólidos solúveis, verifica-se que os níveis de 6,5 de °Brix estavam em média próximos aos obtidos em morangueiros cultivados em estufa no Brasil. Da mesma forma, apresentaram firmeza de fruto em valores entre 0,45 a 0,55N foram resultados adequados e caracterizam uma boa resistência mecânica (**Tabela 7 e 8**), o que favorece o manejo pós-colheita. Existe a probabilidade que os frutos apresentaram um nível de firmeza adequado, devido ao controle das variáveis ambientais em cultivo indoor. Visto que o excesso de água e umidade sob os frutos torna-os amolecidos e com menor tempo de prateleira tanto no cultivo em campo e até mesmo em estufas (BIASIO et al., 2015).

De acordo com o Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura (PBMH) e Produção Integrada de Morango (PIMo) as duas principais classes comerciais são 15 e 35, sendo a classe 15, que agrupa frutas de 15 a 35 mm e classe 35, a que possui frutas com diâmetro acima de 35 mm. Quanto aos dados referentes as análises quantitativas e qualitativas dos frutos de morango San Andreas, verifica-se que as plantas localizadas no quadrante superior de cultivo obtiveram a menor produção. Isso independente do ano de cultivo avaliado com produtividade entre 165 e 212g/planta⁻¹ obtidas na safra/2024 e safra/2023, respectivamente (**Tabelas 7 e 8**).

No presente estudo os morangos San Andreas foram colhidos quanto atingiram 75% de maturação em cultivo indoor. No entanto, a média de frutos por planta se manteve entre 9 e 13 frutos, tanto para o primeiro ano de cultivo e para o segundo ano de cultivo. Quanto aos sólidos solúveis, verifica-se que os níveis obtidos nos dois anos de cultivo entre 5.16 e 5.56°Brix estavam bem abaixo dos 6.5°Brix, obtidos em morangueiros San Andreas cultivados em estufa no Brasil. No entanto, para a firmeza de fruto os resultados foram adequados em valores entre 0.45 a 0.55N, que caracterizam uma boa resistência mecânica e favorece o manejo pós-colheita (**Tabelas 7 e 8**).

| Análises quantitativas e qualitativas dos frutos de morango | | | | | | |
|---|--------------------|---------------------|--------------------|-----------|-------------|---|
| 1º ano de cultivo 2023 | | | | | | |
| Nº colheitas | Plantas | Produção (g/planta) | Frutos (nº/planta) | °Brix (%) | Firmeza (N) | Produtividade (kg/m ²) ±20 plantas/m ² |
| 1º Colheita | Quadrante superior | 212 | 12 | 5.25 | 0.46 | 4.24 |
| | Quadrante mediano | 220 | 13 | 5.46 | 0.45 | 4.40 |
| | Quadrante Inferior | 222 | 13 | 5.52 | 0.48 | 4.44 |

| | | | | | | |
|-------------|--------------------|-----|----|------|------|------|
| | Quadrante superior | 267 | 13 | 5.33 | 0.45 | 5.34 |
| 2º Colheita | Quadrante mediano | 289 | 12 | 5.56 | 0.50 | 5.78 |
| | Quadrante superior | 298 | 14 | 5.50 | 0.46 | 5.96 |
| | Quadrante superior | 240 | 10 | 5.22 | 0.49 | 4.80 |
| 3º Colheita | Quadrante superior | 252 | 12 | 5.54 | 0.52 | 5.04 |
| | Quadrante superior | 252 | 13 | 5.52 | 0.50 | 5.04 |
| | Quadrante superior | 241 | 10 | 5.26 | 0.50 | 4.82 |
| 4º Colheita | Quadrante superior | 254 | 12 | 5.50 | 0.49 | 5.08 |
| | Quadrante superior | 267 | 13 | 5.54 | 0.58 | 5.34 |

Tabela 7. Análises quantitativas e qualitativas dos frutos de plantas de cada quadrante do morango cv. San Andreas em cultivo indoor, safra/2024. São Luís, UEMA 2025.

| Análises quantitativas e qualitativas dos frutos de morango | | | | | | |
|---|--------------------|---------------------|--------------------|-----------|-------------|---|
| 2º 2º ano de cultivo 2024 | | | | | | |
| Nº colheitas | Plantas | Produção (g/planta) | Frutos (nº/planta) | °Brix (%) | Firmeza (N) | Produtividade (kg/m ²) ±20 plantas/m ² |
| | Quadrante superior | 165 | 9 | 5.16 | 0.45 | 3.30 |
| 1º Colheita | Quadrante mediano | 180 | 10 | 5.38 | 0.48 | 3.60 |
| | Quadrante Inferior | 195 | 12 | 5.50 | 0.46 | 3.90 |

| | | | | | | |
|-------------|--------------------|-----|----|------|------|------|
| | Quadrante superior | 180 | 10 | 5.21 | 0.52 | 3.60 |
| 2º Colheita | Quadrante mediano | 198 | 11 | 5.16 | 0.49 | 3.96 |
| | Quadrante superior | 205 | 11 | 5.22 | 0.54 | 4.10 |
| 3º Colheita | Quadrante superior | 167 | 10 | 5.42 | 0.47 | 3.34 |
| | Quadrante superior | 189 | 13 | 5.64 | 0.50 | 3.78 |
| | Quadrante superior | 177 | 12 | 5.32 | 0.48 | 3.54 |
| 4º Colheita | Quadrante superior | 161 | 12 | 5.61 | 0.55 | 3.22 |
| | Quadrante superior | 188 | 12 | 5.56 | 0.49 | 3.76 |
| | Quadrante superior | 175 | 10 | 5.49 | 0.51 | 3.50 |

Tabela 8. Análises quantitativas e qualitativas dos frutos de plantas de cada quadrante do morangueiro cv. San Andreas em cultivo indoor, safra/2024. São Luís, UEMA 2025.

A produtividade do morangueiro San Andreas pode chegar a mais de 1kg/planta⁻¹ em um ciclo anual, o que significa que pode produzir morangos por 4 a 6 meses ou até o ano todo, dependendo das condições climáticas e do manejo (BALDI et al., 2023). Nesta pesquisa foram realizadas quatro colheitas em aproximadamente 20plantas/m², localizadas nos quadrantes superior, mediano e inferior. Contudo, a média de produção foi muito abaixo quando comparado ao rendimento em estufa, na atual pesquisa foram apenas 4 colheitas por ciclo com produtividade entre 4.20 e 5.96kg/20plantas/m². Isso no primeiro ano de cultivo, porque no segundo ano de cultivo a produção a cada 20plantas/m² foi ainda menor em valores de 3.30 a 4.10kg/20plantas/m² (**Tabelas 7 e 8**). Queda no rendimento em produtividade de uma safra para outra pode ocorrer para o morangueiro San Andreas. Contudo, neste estudo os resultados diferem dos obtidos por Choi, Moon e Kang (2016), que relatam que as primeiras flores produzem os maiores frutos, sendo que, em algumas cultivares, a massa fresca média desses frutos foi até duas vezes superior à produzida na florada seguinte.

O tamanho do fruto do morango também pode estar relacionado ao número de pistilos sobre o receptáculo, pois uma flor inicial pode comportar 500 pistilos, enquanto uma flor final comporta apenas 50 pistilos (HATFIELD et al., 2013; FUNDOS et al., 2018; DOMÍNGUEZ et al., 2020). Provavelmente, outros aspectos foram responsáveis pelos frutos em tamanho reduzidos, uma vez que as estratégias de polinização foram adequadas. Embora as flores do morangueiro sejam capazes de se autopolinizar, cada pistilo deve receber polinização adequada. Outra correlação importante é o número de frutos por planta com a produtividade em kg/m² e estas estavam abaixo do esperado. Uma vez que a tendência é o morangueiro apresentar maior produtividade com um bom número de coroas, já que se trata de uma estrutura importante na planta de morango. Além disso, seu diâmetro está positivamente relacionado ao acúmulo de biomassa, contudo, em cultivo indoor tivemos um baixo número de coroas nas plantas de morangueiro San Andreas.

A primeira fazenda vertical de larga escala no mundo foi oficialmente inaugurada na cidade de Richmond, Virgínia, nos Estados Unidos. A Fazenda Plenty Richmond foi projetada para o cultivo de morangos em torres de nove metros em um espaço fechado. Com a primeira safra disponibilizada nas prateleiras dos supermercados no início de 2025. Contudo, o sucesso desta fazenda vertical é fruto de anos de pesquisa e desenvolvimento, precisamente uma década de dedicação ao projeto de inovação de um sistema de cultivo indoor para morangos. A fazenda utiliza inteligência artificial para analisar mais de 10 milhões de pontos de dados diariamente em 12 salas de cultivo, otimizando o ambiente para cada fase do crescimento das plantas (KNUTSSON et al., 2024).

Da mesma forma para a atual pesquisa mais estudos serão necessários para ajustar características morfológicas, bioquímicas e fisiológicas estudadas. Uma vez que os dados obtidos nesta pesquisa não foram suficientes para compreender os efeitos da intensidade, qualidade da luz, fotoperíodo, controle de temperatura e taxas de CO₂ no crescimento das plantas de morangos San Andreas em cultivo indoor. Especialmente os resultados obtidos foram tão diferentes estão dos apresentados por Choi, Moon e Kang (2016), avaliando morango em cultivo protegido em estufa. Uma vez que estes autores obtiveram alta produção de frutos de morango correlacionaram alto rendimento produtivo em morangueiro a alta taxa fotossintética e baixos níveis de transpiração e condutância estomática.

CONCLUSÃO

Um aspecto inovador eco fisiológico para o morangueiro no cultivo indoor foi realizado a partir deste estudo, principalmente quanto ao isolamento térmico utilizando Eps de isopor da indústria pesqueira. No entanto, precisa-se otimizar

a intensidade da luz e inserir diferentes espectros de luz artificial. Avaliando a irradiação luminosa em cada estágio de crescimento do morango, para poder permitir atingir uma alta produtividade.

AGRADECIMENTO

A agência federal que fomentou esta pesquisa científica e tecnológica e a inovação no Brasil. O CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelos recursos concedidos por meio da Chamada CNPq/SEMPI/MCTI nº 021/2021 - Programa RHAE (Recursos Humanos em Áreas Estratégicas).

REFERÊNCIAS

AL-KODMANY, K. The vertical farm: a review of developments and implications for the vertical city. **Buildings**, v. 24, n. 8, p. 1-36, 2018.

ANTUNES, L.E.C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. Morango. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. 590p. **Disponível em:** <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/179724/1/Luis-Eduardo-MORANGUEIRO-miolo.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2020.

ARMANDA, D. T.; GUINÉE J. B.; TUKKER A. The second green revolution: Innovative urban agriculture's contribution to food security and sustainability – A review. **Global Food Security**, v. 22, n. 4, p. 13-24, 2019.

BIASIO, R.; DANI, D.; ECKERT, A.; MECCA, M.S. Determinação do custo e da rentabilidade na cultura do morango em uma pequena propriedade agrícola situada em Flores da Cunha/RS. **Custos e @gronegócio on line**, v. 11, n. 1, p. 29-37, 2015.

BALDIN, K. B.; NEGRELLI, W. S.; LIMA, C. S. M.; LEANDRINI, J. A.; RUFATO, L.; OLIVEIRA, J. R. Agronomic characterization of third cycle strawberry plants grown in substrate. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 22, n. 4, p. 594-604, 2023.

CHOI, H.G.; MOON, B.Y.; KANG, N.J. Correlation between Strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) Productivity and Photosynthesis-Related Parameters under Various Growth Conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 2, p. 100-121, 2016.

COSTA, R.C., CALVETE, E.O., SCHONS, J., REGINATTO, F.H. Chlorophyll content in strawberry leaves produced under shading screens in greenhouse. **Acta horticulturae**, v. 926, n. 3, p. 321-324, 2012.

Hochmuth, G.; Hochmuth, R. Plant Petiole Sap-Testing for Vegetable Crops. **Horticultural Sciences**, v. 5, n. 3, 2022.

KALANTARI, F.; TAHIR, O.M.; JONI, R.A.; FATEMI, E. Opportunities and challenges in sustainability of vertical farming: a review. **Journal of Landscape Ecology**, v. 11, n. 1, p. 35-60, 2018.

KHOSHNEVISON, B.; RAFIEE, S.; MOUSAZADEH, H. Environmental impact assessment of open field and greenhouse strawberry production. **European Journal of Agronomy**, v. 50, n. 3, p. 29-37, 2013.

MARTIN, M.; MOLIN, E. Environmental assessment of an urban vertical hydroponic farming system in Sweden. **Sustainability**, v. 41, n. 3, p. 1-14, 2019.

MANOS, D.P.; XYDIS, G. Hydroponics: are we moving towards that direction only because of the environment? A discussion on forecasting and a systems review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 5, p. 12662-12672, 2019.

MULLER, A.; FERRE, M.; ENGEL, S.; GATTINGER, A.; HOLZKÄMPER, A.; HUBER, R.; MÜLLER, M.; SEIS, J. J. Can soil-less crop production be a sustainable option for soil conservation and future agriculture?. **Land Use Policy**, v. 69, n. 5, p. 102-105, 2017.

SPECHTAB, K.; SANYÉ-MENGUAL, E. Risks in urban rooftop agriculture: Assessing stakeholders' perceptions to ensure efficient policymaking. **Environmental Science & Policy**, v. 69, n. 2, p. 13-21, 2020.

STAMM, C.; STADUTO, J.A.R.; LIMA, J.F.; WADI, Y.M. Urban population and dissemination of medium size cities in Brazil. **INTERAÇÕES**, v. 14, n. 2, p. 251-265, 2015.

TYAGI, A. C. Towards a second green revolution. **Irrigation e Drainage**, v. 65, n. 4, p. 388-389, 2016.

RUSSO, A.; ESCOBEDO, F.J.; CIRELLA, G.T.; ZERBE, S. Edible green infrastructure: an approach and review of provisioning ecosystem services and disservices in urban environments. **Agriculture Ecosystems e Environment**, v. 242, n. 3, p. 53-66, 2017.