



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
PRODUÇÃO VEGETAL E BIOPROCESSOS ASSOCIADOS**

**CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE ALFACE PARA *BABY LEAF* SOB
DIFERENTES DENSIDADES DE FLUXO DE FÓTONS FOTOSINTETICAMENTE
ATIVOS EM CULTIVO VERTICAL *INDOOR***

FERNANDA ABDUCHE GALVÃO PIMENTEL

Araras

2024



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
PRODUÇÃO VEGETAL E BIOPROCESSOS ASSOCIADOS**

**CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE ALFACE PARA *BABY LEAF* SOB
DIFERENTES DENSIDADES DE FLUXO DE FÓTONS FOTOSSINTETICAMENTE
ATIVOS EM CULTIVO VERTICAL *INDOOR***

FERNANDA ABDUCHE GALVÃO PIMENTEL

ORIENTADOR: Prof. Dr. FERNANDO CÉSAR SALA

CO-ORIENTADOR: Dr. LUÍS FELIPE VILLANI PURQUERIO

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Produção
Vegetal e Bioprocessos Associados
como requisito parcial à obtenção do
título de MESTRE EM PRODUÇÃO
VEGETAL E BIOPROCESSOS
ASSOCIADOS

**Araras
Fevereiro**

Abduche Galvão Pimentel, Fernanda

CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE ALFACE PARA
BABY LEAF SOB DIFERENTES DENSIDADES DE
FLUXO DE FÓTONS FOTOSSINTETICAMENTE ATIVOS
EM CULTIVO VERTICAL INDOOR / Fernanda Abduche
Galvão Pimentel – 2024.

78f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São
Carlos, campus Araras, Araras

Orientador (a): Fernando César Sala

Banca Examinadora: Fernando César Sala, Sandra
Regina Ceccato Antonini, Arthur Bernardes Cecílio Filho

Bibliografia

1. Cultivo vertical indoor. 2. Iluminação artificial. 3.
Melhoramento genético. I. Abduche Galvão Pimentel,
Fernanda. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8
7083



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias

Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Fernanda Abduche Galvão Pimentel, realizada em 07/02/2024.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Fernando César Sala (UFSCar)

Profa. Dra. Sandra Regina Ceccato Antonini (UFSCar)

Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho (UNESP)

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre me deu forças, perseverança e saúde para continuar com o meu trabalho, além de, permitir que eu alcançasse todos os objetivos que almejei.

Aos meus pais, irmã e meu namorado, que estiveram ao meu lado em cada batalha e em cada conquista, sempre me incentivando, encorajando e rezando por mim para que eu continuar a trilhar meu caminho e alcançar os meus objetivos. Suas palavras e conselhos foram essenciais para que eu me mantivesse de pé.

Ao meu orientador e co-orientador, Fernando César Sala e Luís Felipe Villani Purquerio, que não mediram esforços para me ajudar em cada detalhe da execução e elaboração de todo o trabalho, ambos foram essenciais para que hoje o trabalho esteja concluído. Além de todos os ensinamentos, orientações e paciência, que me ajudaram para que eu chegasse até aqui.

Além deles, outras pessoas me ajudaram muito durante todo o processo, como, a professora Christiane de Fátima Martins França, a professora Marta Regina Verruma-Bernardi, aos técnicos dos laboratórios, João e Silvia, e diversos colegas de profissão, Wellima, Matheus, Laleska, Bianca, Tiago, todos os que participaram de forma anônima da análise sensorial, aos membros do grupo GEHORT e todos que de alguma forma me auxiliaram ao longo dos procedimentos desenvolvidos no experimento. A todos eu dou os meus sinceros agradecimentos, sei que sem cada um dos envolvidos, não seria possível ter concluído o meu trabalho.

A Universidade Federal de São Carlos e ao Programa de Mestrado em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados, pela oportunidade de realizar este curso. As secretárias do departamento, sempre atenciosas e dispostas a resolver meus problemas.

A CAPES pelo apoio financeiro.

Aos que estiveram presente na minha banca da qualificação e da defesa da dissertação.

O tempo foi longo e o trabalho foi intenso, porém muito gratificante e repleto de novos aprendizados, sendo cada momento essencial para minha formação

profissional e meu crescimento pessoal. A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, minha eterna gratidão.

SUMÁRIO

INDICE DE TABELAS	i
INDICE DE FIGURAS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS E HIPÓTESE	3
3. REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1 Novas tecnologias de cultivo.....	4
3.2 Alternativa de produção: sistema de cultivo vertical <i>indoor</i>	5
3.3 Condições ambientais controladas dentro do sistema vertical <i>indoor</i> : iluminação artificial	6
3.4 Genótipos de alface tropicalizados para o sistema <i>indoor</i> verticalizado.....	8
3.5 <i>Baby leaf</i> de alface cultivado no sistema vertical <i>indoor</i>	10
3.6 Interação entre luz e genótipos de alface no sistema <i>indoor</i> verticalizado.....	11
4. MATERIAL E MÉTODOS	16
4.1 Condução dos experimentos.....	16
4.2 Primeiro experimento	17
4.2.1 Avaliações no primeiro experimento	18
4.2.2 Análise estatística	19
4.3 Segundo experimento.....	19
4.3.1 Avaliações no segundo experimento	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1 Primeiro experimento	24
5.1.1 Análise da cor instrumental.....	30
5.2 Segundo experimento.....	36
5.2.1 Avaliações físico-químicas.....	42
5.2.2 Avaliação sensorial.....	52
4.3 Considerações finais.....	55
5 CONCLUSÃO	57
6 LITERATURA CITADA	58
APÊNDICE	66

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Altura do dossel (ALTD) e número de folhas (NF) de genótipos de alface produzidas em cultivo vertical indoor de baby leaf.	27
Tabela 2. Cor instrumental (a^* , b^* , L^* , C^* , hue) de diferentes genótipos de baby leaf de alface produzidos em cultivo vertical indoor.	34
Tabela 3. Variação total da cor (ΔE) comparando os três genótipos entre si, quando submetidos a cada densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (80, 110, 140 e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).	43
Tabela 4. Variação total da cor (ΔE) comparando cada densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF), referente a cada genótipo.	45
Tabela 5. Análise físico-química da clorofila a (CFA), clorofila b (CFB), clorofila total (CFT), carotenoides (CRT) para os diferentes genótipos de baby leaf de alface produzidas em cultivo vertical indoor.	48
Tabela 6. Análise sensorial para observação de cor, brilho e preferência dos avaliados para comparação entre as densidades de fluxo de fótons fotossintéticos (80, 110, 140 e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para cada genótipo individualmente.	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de espaço de cor da Comissão Internacional de l'Eclairage (CIELab).....	19
Figura 2. Distribuição das amostras de alface em três bancadas distintas para análise sensorial de quatro amostras de cada genótipo.....	23
Figura 3. Comparação entre o genótipo Rouxai (A) e o 240.409-1-2 (B) que apresentaram o menor e o maior altura do dossel, respectivamente.....	26
Figura 4. Número de folhas de alface para baby leaf produzida em cultivo vertical indoor em função da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos.	27
Figura 5. Massa de matéria fresca (A), massa matéria seca (B) e produtividade (C) de alface para baby leaf produzida em cultivo vertical indoor em função da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos.	29
Figura 6. Valores de hue (A) e L* (B) da cor instrumental de alface para baby leaf produzida em cultivo vertical indoor em função da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos.....	31
Figura 7. Genótipos 38G-1-4-1 (A), 252G-1-1-1 (B), 204-1-1-1 (C), 226-1-3-3 (D), F10-160-2-1 (E), F9-39-4-0 (F), 184-5-3-1 (G), 281-3-2-2 (H), 240-409-1-2 (I), 293-6-1-1 (J), F9-195-1 (K) e Rouxai (L) sob as quatro DFFFs, respectivamente.....	35
Figura 8. Altura do dossel (A) e número de folhas (B) de alface para baby leaf produzida em cultivo vertical indoor em função da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos.....	37
Figura 9. Massa fresca de alface para baby leaf produzida em cultivo vertical indoor em função da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos.	39
Figura 10. Área foliar de alface para baby leaf produzida em cultivo vertical indoor em função da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos.	40
Figura 11. Genótipo 293-6-2-1 cultivado na densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (A), 110 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (B), 140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (C) e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (D) para observação da diferença entre as características agronômicas.....	41

Figura 12. Teores de Cinzas de alface para baby leaf produzida em cultivo vertical indoor em função da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos.50

Figura 13. Teores de Sólidos Solúveis Totais de alface para baby leaf produzida em cultivo vertical indoor em função da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos. ...52

CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE ALFACE PARA *BABY LEAF* SOB DIFERENTES DENSIDADES DE FLUXO DE FÓTONS FOTOSSINTETICAMENTE ATIVOS EM CULTIVO VERTICAL *INDOOR*

Autor: FERNANDA ABDUCHE GALVÃO PIMENTEL

Orientador: Prof. Dr. FERNANDO CÉSAR SALA

Co-orientador: Prof. Dr. LUÍS FELIPE VILLANI PURQUERIO

RESUMO

Sistemas de cultivo *indoor* têm ganhado destaque nos últimos anos, onde, a densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFF) é um dos parâmetros da iluminação artificial que pode influenciar no desenvolvimento das plantas. Pesquisas com cultivares de alfaces tropicalizadas são inexistentes, sendo necessário aperfeiçoar a produção de *baby leaf* com uso de iluminação artificial, a fim de encontrar a DFFF ideal. o objetivo do presente trabalho foi verificar se genótipos de alface respondem diferentemente a DFFF, a fim de encontrar a melhor DFFF e os melhores genótipos. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório *indoor* do IAC em Campinas SP. Nas estantes de cultivo, foram distribuídos quatro tratamentos, em blocos ao acaso, sendo DFFFs de 80, 110, 140 e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente. No primeiro experimento, foram utilizados onze genótipos e uma cultivar comercial e no segundo, com as mesmas irradiâncias, três genótipos, selecionados do primeiro. Em ambos foram realizadas avaliações de altura do dossel, número de folhas, massa de matéria fresca e seca, produtividade e cor instrumental. Somente no segundo, foi feita análise de área foliar, teor de clorofilas a e b, total, carotenóides, umidade, cinzas, pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais e sensorial. No primeiro experimento, foi possível observar interação entre os genótipos e as DFFFs, referente às características observadas. No segundo experimento, não houve diferença entre os genótipos de alface para as características agronômicas, porém, para as DFFFs aplicadas, a de 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, garantiu as maiores produtividades das plantas (3,54 kg m^{-2}), maiores teores de clorofila a (0,43 mg g^{-1}) e maior preferência pelos consumidores. Sendo assim, recomenda-se os genótipos 281-3-2-2 (crespa), 293-6-1-1 (mimosa) e 204-1-1-1 (lisa), conduzidas com a DFFF de 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em sistema de cultivo *indoor* para produção de *baby leaf* de alface, pois, assim todas apresentaram os melhores valores para as características analisadas.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L.; DFFF; iluminação artificial; cultivo vertical *indoor*, melhoramento genético.

CHARACTERIZATION OF LETTUCE GENOTYPES FOR BABY LEAF UNDER DIFFERENT PHOTOSYNTETICALLY ACTIVE PHOTON FLUX DENSITIES IN INDOOR VERTICAL CULTIVATION

Author: FERNANDA ABDUCHE GALVÃO PIMENTEL

Adviser: Prof. Dr. FERNANDO CÉSAR SALA

Co-adviser: Prof. Dr. LUÍS FELIPE VILLANI PURQUERIO

ABSTRACT

Indoor cultivation systems have gained prominence in recent years, where photosynthetically active photon flux density (PPFD) is one of the artificial lighting parameters that can influence plant development. Research with tropicalized lettuce cultivars is non-existent, making it necessary to improve baby leaf production using artificial lighting in order to find the ideal PPFD. The objective of the present work was to verify whether lettuce genotypes respond differently to PPFD, in order to find the best PPFD and the best genotypes. The experiments were conducted at the IAC indoor laboratory in Campinas SP. Four treatments were distributed in the cultivation racks, in randomized blocks, with PPFDs of 80, 110, 140 and 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectively. In the first experiment, eleven genotypes and one commercial cultivar were used and in the second, with the same irradiances, three genotypes were used, selected from the first. In both cases, assessments of canopy height, number of leaves, fresh and dry matter mass, productivity and instrumental color were carried out. Only in the second, analysis was carried out on leaf area, total chlorophyll a and b content, carotenoids, moisture, ash, pH, total titratable acidity, total soluble solids and sensorial. In the first experiment, it was possible to observe an interaction between the genotypes and the PPFDs, referring to the observed characteristics. In the second experiment, there was no difference between lettuce genotypes for agronomic characteristics, however, for the PPFDs applied, 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, guaranteed the highest plant productivity (3.54 kg m^{-2}), higher levels of chlorophyll a (0.43 mg g^{-1}) and greater preference among consumers. Therefore, genotypes 281-3-2-2 (curly), 293-6-1-1 (mimosa) and 204-1-1-1 (smooth) are recommended, conducted with a DFFF of 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ in an indoor cultivation system for the production of lettuce baby leaves, as they all presented the best values for the analyzed characteristics.

Key-words: *Lactuca sativa* L.; PPFD; artificial lighting; indoor vertical cultivation, sustainability, genetic improvement.

1. INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento acelerado da população, a Organização das Nações Unidas (ONU) estima que em 2050, a população mundial chegue a 10 bilhões de pessoas. Por isso, será necessário a adoção de novas tecnologias de cultivo que possam contribuir para a produção de alimentos de forma sustentável de acordo com todas as necessidades dessa expansão prevista (Amato-Lourenço *et al.* 2021; Martin; Molin, 2019; Purquerio *et al.* 2016; Purquerio *et al.* 2018).

Sistemas de cultivo *indoor* verticalizados vêm ganhando destaque nos últimos anos, sendo desenvolvido dentro de ambientes fechados, com uso de iluminação artificial, temperatura e disponibilidade de água de forma controlada (Lima, 2022; Silva *et al.* 2022).

As chamadas *urban farms* possuem vantagens, como a redução no uso de fertilizantes, defensivos agrícolas e de recursos naturais, maior produtividade, menor custo no transporte de alimentos devido à maior proximidade com o consumidor, a possibilidade de realizar um cultivo programado, encurtar o ciclo de cultivo das plantas, obtendo produtos de qualidade e com crescimento uniforme (Banke; Tomkins, 2017; Despommier, 2010; Matysiak *et al.* 2022). A iluminação artificial é um dos principais fatores a serem controlados e estabelecidos dentro do cultivo *indoor*, para economia do processo produtivo, assim, espera-se que o cultivo utilizando a mesma seja relevante para atender a demanda da produção de alimentos (Paucek *et al.* 2020).

O uso dos diodos emissores de luz (LED), dentro de sistemas de cultivo *indoor*, apresenta diversas vantagens quando comparada às fontes convencionais de luz (Bourget 2008; Massa *et al.* 2008; Marrow, 2008). Dentre as propriedades da luz, a densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFF), quantificada em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, é um parâmetro que pode variar de acordo com a distribuição da luz na área de cultivo (Pattison *et al.* 2018; Paucek *et al.* 2020).

A quantidade de DFFF absorvidos pelas folhas e a eficácia em que as plantas convertem energia luminosa em energia química por meio da fotossíntese está relacionada não só a produção de biomassa da mesma, como à expressão gênica da planta. Assim, a DFFF aplicada, pode influenciar diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas (Bian *et al.* 2018; Radin *et al.* 2003).

Hortaliças folhosas vem sendo uma realidade de grande sucesso no cultivo em sistema vertical *indoor*, com destaque para a produção de *baby leaf* de alface. *Baby leaf* consiste em plantas que são colhidas antecipadamente, sendo consumidas as folhas ainda jovens, apreciadas pela maciez e sabor (Purquerio *et al.* 2016). *Baby leaf* são promissoras para cultivo em sistema vertical *indoor*. Além disso, *baby leaf* de alface é uma alternativa de consumo dessa hortaliça, pois traz vantagens ao consumidor e aos produtores, trazendo praticidade de consumo e agregando valor ao produto (Purquerio; Melo, 2011).

No Brasil, devido as condições climáticas no verão, diante muitos avanços de melhoramento genético, criou-se e fez-se necessário o uso de cultivares tropicalizadas, sendo essas resistentes a condições de altas temperaturas, não permitindo com que a planta apresente um pendoamento precoce e por consequência encurtamento do ciclo, baixo porte e folhas mais rígidas e amargas (Silva, 2023).

Diversos estudos relatam a influência que a luz de LED pode ter no desenvolvimento e na qualidade da cultura da alface, como Kitaya *et al.* (1998); Leconsole *et al.* (2019); Matysiak *et al.* (2022); Sala; Costa, (2008); Silva *et al.* (2022) Zang *et al.*, (2018).

Sabe-se que muitos fatores estão envolvidos para um manejo eficiente do sistema de cultivo *indoor* verticalizado, dentre eles, a espécie e a variedade que está sendo cultivada (Barbieri *et al.* 2023). Além disso, o conteúdo de compostos bioativos e a composição mineral da alface, depende da sua genética, de fatores ambientais e do sistema de cultivo, envolvendo condições de temperatura, qualidade, intensidade e duração da luz (Matysiak *et al.* 2023).

Assim, de acordo com o exposto, a determinação da DFFF fornecida pela iluminação artificial por LED em cultivo *indoor* verticalizado para produção de *baby leaf* de alface, é de grande importância para garantir e aumentar a qualidade e produtividade.

Porém são inexistentes os estudos para a produtividade de alface *baby leaf* no sistema de cultivo *indoor*, com genótipos tropicalizadas, de diferentes tipologias, faz-se necessário mais pesquisas referentes a produção de *baby leaf* com uso iluminação LED, a fim de encontrar a DFFF ideal para garantir melhor e maior produtividade e qualidade desta hortaliça folhosa.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESE

2.1 Objetivo Geral

Verificar se genótipos de alface respondem diferentemente a DFFF.

2.2 Objetivos Específicos

Realizar a caracterização agronômica, físico-química e análise sensorial de genótipos de alface tropicalizada do Banco de Germoplasma da Universidade Federal de São Carlos em cultivo vertical *indoor* para produção de *baby leaf*.

Identificar genótipos de alface que possam ser indicados para uso específico do cultivo vertical *indoor* como *baby leaf*.

Encontrar a DFFF que contribui para melhores características dos genótipos de alface no cultivo vertical *indoor*.

Avaliar os genótipos que apresentem as melhores características físico-químicas, mediante as DFFF aplicadas.

Avaliar a diferença e preferência visual dos genótipos avaliados.

2.3 Hipótese

Há interação entre genótipos e DFFF na produção de *baby leaf* em sistema *indoor* vertical.

Há influência da DFFF em características agronômicas, físico-químicas e sensoriais dos genótipos.

O fator genético influencia para expressão das características.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Novas tecnologias de cultivo

O crescimento populacional acelerado, a escassez de alimentos, a ocorrência frequente de eventos climáticos adversos e a menor disponibilidade de água e terras, são entraves que, têm tornado cada vez mais desafiador o uso de técnicas agrícolas convencionais e incentivado a busca por novas alternativas de produção agrícola (Kozai *et al.* 2019; Yeh; Chung, 2009).

Segundo projeções da Organização das Nações Unidas (ONU), em 2050 a população mundial tende a chegar a mais de 10 bilhões de pessoas, ocasionando redução das terras agrícolas per capita em todo o mundo (Alexandratos; Bruinsma, 2012; FAO, 2018; ONU, 2019).

Por isso, são necessárias novas tecnologias e novos insumos para produção dos alimentos, que possam contribuir com os suprimentos necessários para expansão prevista da população, devendo ter alternativas que atendam às necessidades do mercado, com sustentabilidade e eficiência no uso de recursos naturais (Martin; Molin, 2019; Purquerio *et al.* 2016; Purquerio *et al.* 2018). Uma interessante alternativa para enfrentar esses desafios, é o uso de tecnologias que possam integrar a produção de alimentos e os grandes centros urbanos (Purquerio *et al.* 2018).

A agricultura urbana possuiu um grande potencial, com boas perspectivas para ser instalada dentro de estado de São Paulo, visando não só a possibilidade de produção de alimentos mais próximo aos consumidores finais, mas frente ao cenário das mudanças climáticas, poderá trazer diversos benefícios, como expansão da cobertura vegetal, aumento da biodiversidade, da umidade do ar e da permeabilidade do solo e conciliada a métodos agroecológicos, é um forte aliado a amenizar questões locais das mudanças climáticas (Amato-Lourenço *et al.* 2021).

A agricultura em ambientes controlados, sendo operada adequadamente por meio de fábricas de plantas em áreas urbanas, poderá contribuir significativamente em todos estes contextos mencionados. Contudo, para que estes sistemas tenham sucesso na produção, é necessário atenção ao sistema de produção, à cultura empregada, ao controle do ambiente e à automação aplicada (Shamshiri *et al.* 2018).

3.2 Alternativa de produção: sistema de cultivo vertical *indoor*

O sistema de cultivo *indoor* na vertical, vem ganhando destaque nos últimos anos, devido à possibilidade de grandes produções em pequenos espaços, garantindo ainda energia renovável e reciclagem de resíduos (Silva *et al.* 2022). O cultivo *indoor* verticalizado consiste em um sistema desenvolvido dentro de ambientes fechados, com uso de iluminação artificial, temperatura e disponibilidade de água controlados (Lima, 2022; Silva *et al.* 2022).

Desde 2011, especialmente após o lançamento do livro do norte-americano Dickson Despommier: “*The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century.*”, as fazendas verticais vêm ganhando espaço (Yida, 2021). O cultivo *indoor* realizado em grande escala dentro de centros urbanos é chamado de *urban farms* ou *vertical farms*. Estima que, possui diversas vantagens em comparação ao sistema convencional, como a redução do uso de defensivos agrícolas e fertilizantes, maior produtividade quando as condições são otimizadas para a cultura, redução do uso de recursos naturais como a água e contribuição para a redução da pegada de carbono. Todos esses fatores contribuem para atingir os objetivos da “Agenda 30”, que apresenta metas de desenvolvimento sustentável que devem ser cumpridas nas próximas décadas (Despommier, 2010).

O cultivo *indoor* tem por objetivo aumentar as áreas agrícolas de forma verticalizada, por meio do uso de estantes de cultivo de plantas com diversos andares. Além disso, dentro deste sistema pode ser utilizado o modelo do cultivo hidropônico que diminui problemas relacionados ao cultivo em solos. Outras vantagens estão relacionadas ao menor custo com transporte dos alimentos, devido à proximidade do consumidor, sendo possível ainda, realizar um cultivo programado, com condições para desenvolvimento da planta otimizadas em virtude do ambiente controlado. Por ser um sistema fechado e controlado, ocorre a recirculação da água e menor evaporação, o que reduz a utilização de água (Benke; Tomkins, 2017). Outra grande vantagem desse sistema é a possibilidade de encurtar o ciclo de cultivo da alface em 40 a 50%, com produtos de qualidade e crescimento uniforme ao longo de todo o ano (Matysiak *et al.* 2022).

As fazendas verticais são modelos de plantio, dentro de um ambiente fechado (*indoor*), sem a utilização do solo, com métodos de irrigação eficientes, com a área de cultivo de forma verticalizada, com diversos andares e controle do ambiente (França

et al. 2022), que vêm crescendo em importância no Brasil e exterior. No Brasil, ainda existem poucas unidades produtivas neste modelo de cultivo, em diferentes dimensões, como as grandes empresas, como a Pinkfarm, médias como a Fazenda Cubo e de pequena escala, a Bioma, Matinhos microverdes e Amaná – Fazenda Vertical Brasileira. Todas essas empresas estão sediadas no estado de São Paulo.

3.3 Condições ambientais controladas dentro do sistema vertical *indoor*: iluminação artificial

Na produção em fazendas verticais, é realizado o controle de todas as condições ambientais, tais como, pressão de CO₂ do ar, umidade relativa, temperatura do ar, intensidade e qualidade da luz (Freitas, 2020).

A iluminação é um dos fatores principais a serem controlados e estabelecidos dentro do cultivo *indoor*, visto que a iluminação artificial nestes sistemas vem como substituição a luz solar, utilizada como fonte de energia no processo fotossintético que possibilita o crescimento das plantas (Paucek *et al.* 2020).

A iluminação artificial é recebida por pacotes conhecidos como fótons (França *et al.* 2022). Os diodos emissores de luz (LEDs) são aqueles que vem sendo mais estudados, desde 1990, para o crescimento de plantas e utilizados dentro do sistema de cultivo *indoor* em substituição a luz solar, pois permitem combinar os melhores comprimentos de onda de acordo com a cultura de interesse (Paucek *et al.* 2020; Silva *et al.*, 2022; Yida, 2021)

O uso dos diodos emissores de luz (LED) comparada às fontes convencionais (lâmpadas fluorescentes, incandescente e vapor de sódio) apresentam diversas vantagens, como longa vida útil, superfície de emissão fria, pequeno peso e tamanho, possibilidade de escolha da composição espectral, ajuste da DFFF e baixo consumo de energia (Bourget, 2008; Massa *et al.* 2008; Morrow, 2008).

Diversos aspectos são estudados referente a iluminação artificial, dentre eles a qualidade da luz que consistem em seu comprimento de onda, a intensidade e a DFFF. Todos esses fatores interferem diretamente na qualidade e produtividade do produto, custos de instalação e consumo de energia das lâmpadas empregadas no sistema (Lima, 2022).

A radiação emitida pelas lâmpadas é caracterizada pela densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFF) que atingem determinada área por segundo,

quantificada em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Pattison *et al.* 2018). A DFFF pode variar de acordo com a distância entre a iluminação e a copa da planta ou mediante a distribuição de luz não uniforme na área de cultivo (Paucek *et al.* 2020).

As luzes de LED têm por característica a baixa emissão de calor radiante, e, portanto, as mesmas podem ser colocadas próximas às plantas mesmo com a alta intensidade da radiação, e posicionadas a alturas inferiores do dossel. Isso possibilita um maior aproveitamento da radiação emitida, o ajuste da mesma de acordo com o distanciamento entre a planta e o LED, além de explorar a luz nas áreas mais críticas e com menor atividade (Freitas, 2020; Massa *et al.* 2008; Pattison *et al.* 2018; Yeh; Chung, 2009).

Em trabalhos já realizados para comparar a luz de LED com lâmpadas fluorescentes, incandescentes e de vapor de sódio, aplicando a mesma DFFF, foi observado que o LED obteve maior produtividade do que as lâmpadas fluorescentes e incandescentes, enquanto que, o comprimento do hipocótilo e a altura do dossel diminuiram nos tratamentos com LED quando comparado as luzes de vapor de sódio (Kopsell *et al.* 2014; Vastakaite; Virsile, 2015).

Segundo Kozai (2018), em cultivo *indoor* o custo com iluminação artificial pode corresponder até 70% dos gastos com energia elétrica e a 30% do custo total de produção, por isso, encontrar uma melhor relação entre gasto de energia elétrica com a biomassa produzida, está diretamente relacionada com o custo de produção, determinando assim a viabilidade econômica de muitos projetos.

Além disso, diferentes das luzes mais comuns, que convertem apenas 30% da energia em luz utilizável, havendo perdas significativas de radiação na forma de calor, as iluminações LEDs convertem cerca de 50% da eletricidade em luz, resultando em uma economia e melhor rendimento energético (Paucek *et al.* 2020).

Sendo possível observar vantagens do uso da luz de LED, direcionadas à sustentabilidade ambiental, como a obtenção de até 80% de redução de consumo de energia elétrica (Freitas, 2020; Lima, 2022). Há manutenção de 70% da iluminação original, mesmo operando por mais de 50.000 horas, além de não conter mercúrio e nem superfícies de vidro que possam provocar ferimentos ou contaminação (Morrow, 2008).

Diversas são as vantagens na implementação das luzes de LED para produção comercial na horticultura, mostrando que estas são particularmente adequadas para fins de agricultura vertical, contudo, embora os preços venham diminuindo, ainda são

altos os custos para aquisição e instalação. Além disso, mais estudos são necessários para observar a influência da luz transmitida por essas lâmpadas de acordo com o tempo, horário de exposição e etapa de desenvolvimento da cultura, para que seja feito um melhor aproveitamento dessa tecnologia (Mitchell *et al.* 2012).

Para qualquer cultura, a luz não é apenas a principal fonte para a fotossíntese, mas também um indicativo importante para regular a expressão gênica da planta, considerando que a intensidade, a composição espectral, a direção da luz e o fotoperíodo influencia diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas. Além de existir estudos que mostram que o estresse artificial moderado causado pelas luzes de LEDs podem melhorar significativamente a qualidade da nutrição das plantas (Bian *et al.* 2018).

Assim, a quantidade da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelas folhas e a eficácia com que cada espécie cultivada consegue converter energia luminosa em energia química através da fotossíntese está relacionada com a produção de biomassa pelas mesmas (Radin *et al.* 2003).

3.4 Genótipos de alface tropicalizados para o sistema *indoor* verticalizado

O sistema *indoor* verticalizado vem sendo uma realidade na produção de hortaliças, especialmente as hortaliças folhosas (Despommier, 2010). A alface é considerada a principal hortaliça de folha do mundo (Vieira, 2021). Em todo o território brasileiro, existem cerca de 108,4 mil estabelecimentos que cultivam alface, produzindo 671,5 mil toneladas, visto que 82,2% dessa produção vem de produtores de agricultura familiar, com destaque para a região Sudeste com 64,1% da produção nacional (IBGE, 2020) sendo o cultivo, predominantemente, convencional.

No mercado, diversos tipos de alface estão à disposição do consumidor, como: Romana, Mimosa, Lisa, Crespa, Americana e Minialface. Ao longo dos anos, os consumidores tem se tornado cada vez mais exigentes, havendo uma maior busca por qualidade e quantidade (Silva, 2023).

No Brasil, devido as condições climáticas e especialmente as altas temperaturas e pluviosidades no verão, faz-se necessário o uso de alfaces tropicalizadas, sendo essas resistentes a condições de altas temperaturas, não permitindo com que a planta apresente um pendoamento precoce e por consequência

encurtamento do ciclo, baixo porte e folhas mais rígidas e amargas (Silva, 2023). A alface 'Regina' da tipologia lisa, desenvolvida pelo Dr. Cyro Paulino da Costa na USP-ESALQ foi uma nova cultivar que trouxe melhorias para a alface brasileira, pois a mesma possui uma arquitetura de planta aberta e sem formação de cabeça, que não permite o acúmulo de água nas folhas, diminuindo suas perdas nas épocas de alta pluviosidade no verão. Porém, a preferência do consumidor brasileiro é pela alface crespa, o que fez com que houvesse a mudança no padrão de alface lisa para o segmento crespa, além da coloração verde claro e das características favoráveis para o cultivo no verão brasileiro que estão presentes na alface crespa (Sala; Costa, 2012).

'Gloriosa' é uma alface americana tropicalizada desenvolvida no Brasil, apresenta como principais características, a precocidade, boa cobertura foliar, formação de cabeça não compacta e pendoamento lento, considerada a primeira alface americana tropicalizada, atendendo as necessidades de formação de cabeça não compacta que é compatível com o período chuvoso das principais regiões produtoras do país e o pendoamento lento mesmo em condições de altas temperaturas no verão (Sala; Costa, 2012).

Porém, no sistema *indoor* verticalizado, são inexistentes estudos com genótipos tropicalizados de diferentes tipologias, especificamente com os desenvolvidos pelo Programa de Melhoramento Genético de Alface Tropicalizada da Universidade Federal de São Carlos, não sabendo o comportamento dos mesmos dentro de ambientes fechados com condições de iluminação artificial e temperaturas controladas. Assim, conforme o conceito de alface tropicalizada, seria interessante observar dentro de um ambiente controlado o quanto a DFFF da luz poderia influenciar positivamente ou negativamente para o desenvolvimento dessas plantas.

O que já se sabe é que muitos fatores estão envolvidos para um manejo eficiente do sistema de cultivo *indoor* verticalizado, dentre eles, a espécie e a cultivar da cultura que está sendo cultivada, são de grande importância (Barbieri *et al.* 2023). As condições de cultivo como, qualidade e quantidade da luz, irrigação, solução nutritiva e temperatura, além do genótipo da planta, podem afetar a qualidade da alface, principalmente em termos fitoquímicos e aparência visual (Shin *et al.* 2021).

O conteúdo de compostos bioativos e a composição mineral da alface, depende da genética da hortaliça, de fatores ambientais e do sistema de cultivo, envolvendo condições de temperatura, qualidade, intensidade e duração da luz (Matysiak *et al.* 2023).

Leconsole *et al.* (2019) observaram a ocorrência de *tipburn* nas folhas de alface quando em condições de alto DFFF ($194,54 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Além disso, outros autores relataram que a ocorrência desse distúrbio também está relacionada com o genótipo da planta (Birlanga *et al.* 2021).

De acordo com Abedi *et al.* (2023), já é conhecido que as culturas possuem uma recomendação específica de luz integral diária (DLI) de acordo com cada espécie e cultivar, para que assim haja uma taxa de crescimento maximizada.

Com a literatura, sabe-se que o fator genético é de grande importância para monitorar o desenvolvimento e qualidade das plantas no sistema *indoor* verticalizado, porém, os trabalhos mencionados, não avaliaram alfaces tropicalizadas, por isso, a necessidade de avaliar estes genótipos neste sistema. Por isso, estudos com essas alfaces, poderiam contribuir para lançar novas cultivares de coloração verde claro, tropicalizadas e com bons desenvolvimentos no sistema de cultivo *indoor* verticalizado, podendo ser algo promissor para o mercado da alfacecultura brasileira.

3.5 Baby leaf de alface cultivado no sistema vertical *indoor*

Além da alface ser a principal hortaliça folhosa comercializada e consumida em todo o mundo, existem diversas formas de consumo da mesma, uma delas é conhecida como *baby leaf* ou folhas *baby*, sendo um tipo de produto que vem ganhando espaço dentro do cenário econômico do Brasil e do mundo. No Japão, Europa e Estados Unidos, as *baby leaf* tem seu nicho de mercado já reconhecido. No Brasil, as mesmas ainda são restritas a mercados específicos, e são comercializadas de forma individual ou podem ser encontradas em combinação com outras hortaliças, de diferentes formatos, coloração, sabores e texturas. Normalmente, o produto comercializado já é higienizado, embalado e pronto para o consumo, de forma atrativa, estimulando o consumo de hortaliças, até mesmo por crianças (Calori *et al.* 2011; Purquerio; Melo, 2011).

A *baby leaf* consiste em plantas que são colhidas antecipadamente, sendo consumidas as folhas ainda jovens, que não estão completamente expandidas. Essas plantas são apreciadas pela maciez, sabor, e podem apresentar uma variação de cores e formatos, de acordo com a tipologia cultivada (Purquerio *et al.* 2016). Devendo as folhas apresentar tamanho que varie entre 3 a 15 cm de comprimento, dependendo da espécie (Purquerio *et al.* 2016).

Porém, o conceito de *baby leaf* para alface, não se baseia somente na colheita antecipada da mesma, é necessário cultivares específicas que apresentem, folhas mais alongadas, mais espessas, com nervura central mais grossa e limbo foliar mais estreito. Porém, no Brasil há cultivares melhoradas para o mercado de *baby leaf* (Sala; Costa; 2012).

Associado a isso, a importância do melhoramento genético, que visa lançar novas cultivares tropicalizadas, que possuam folhas com coloração verde clara e com o ciclo mais precoce, poderiam ser uma ótima opção para o mercado de *baby leaf* (Sala; Costa; 2012). Além disso, *baby leaf* de alface são promissoras para cultivo em sistema vertical *indoor*. Segundo Pattison *et al.* (2018) em estudos de viabilidade econômica do cultivo *indoor*, observaram que, em razão do fluxo de fótons por massa seca produzido, concluíram que plantas de ciclo rápido, são favoráveis para a produção nesse sistema. Além da praticidade de consumo que atraem os consumidores, o alto valor agregado ao produto e o ciclo curto despertam o interesse nos produtores, tornando a *baby leaf* de alface a principal cultura, cultivada no sistema *indoor* (Purquerio; Melo, 2011).

A luz é um dos fatores mais importantes no desenvolvimento e modulação do crescimento das plantas, fornecendo energia adequada que garanta um maior rendimento e qualidade nutricional da alface (Bian *et al.* 2018). Assim, para a produção de *baby leaf* em cultivo *indoor*, é de suma importância o manejo eficiente da luz de LED, garantindo uma densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) otimizada de acordo com a cultura, a fim de garantir um melhor aproveitamento da mesma, com iluminação suficiente para gerar maior produtividade, sem causar estresse a planta (Moe *et al.* 2006).

Por isso a liberação de cultivares tolerantes ao pendoamento, adaptada a condições climáticas do verão e que possam ser estudadas dentro do ambiente *indoor* para produção de *baby leaf*, a fim de buscar condições controladas de cultivo que favoreça a produção das mesmas de acordo com as suas características.

3.6 Interação entre luz e genótipos de alface no sistema *indoor* verticalizado

Diversos estudos vêm observando a influência que a luz de LED pode ter no desenvolvimento da cultura da alface. Kitaya *et al.* (1998), avaliaram mudas de alface

aos 21 dias sob DFFF de 100, 150, 200 e 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, observando um aumento no número de folhas e da massa seca à medida que se aumentou a DFFF. Yanagi *et al.* (1996) colheram mudas de alface com 20 dias, cultivadas em sistema hidropônico sob 16 horas de fotoperíodo e em DFFF de 85 e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, obtendo maior massa seca na maior intensidade luminosa. Contudo, alguns estudos se contrapõem, relatando que para colheita de alface hidropônico sob iluminação com LED aos 35 dias, determinaram que a intensidade luminosa de 210 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ foi a mais adequada (Lin *et al.* 2013), enquanto, Zang *et al.* (2018) afirmaram que a intensidade luminosa de 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ foi mais apropriada para produção comercial de alface, garantindo melhor qualidade nutricional e melhor relação entre consumo de energia e crescimento da planta. Para a produção de *baby leaf* e mudas de alface, alguns autores sugerem o uso de DFFF entre 60 a 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Kwack *et al.* 2015; Lee *et al.* 2010; Lin *et al.* 2013; Meng; Runkle, 2020; Zang *et al.* 2018). Enquanto que, Fu *et al.* (2012) relataram que usando DFFF de 400 a 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ obteve-se valores ideais para a produção de maior biomassa de alface, enquanto que em DFFF de 600 a 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ foi observado saturação com estabilização da produção.

Loconsole *et al.* (2019), observaram que a duração do ciclo vegetativo foi inversamente correlacionada a DFFF (quanto maior a DFFF, menor é a duração do ciclo vegetativo). Os autores observaram que a maior DFFF aplicada (194,54 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), gerou maior produção de biomassa, enquanto que a menor DFFF (165,89 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), teve a menor produção de biomassa onde a maior DFFF induziu a planta a maiores taxas fotossintéticas, contudo as folhas externas apresentaram pontos necróticos, mostrando que o mesmo foi excessivo para as necessidades da planta. Distúrbios fisiológicos e queimaduras nas folhas mais velhas, também foram observados por Silva *et al.* (2022), sob a DFFF de 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e fotoperíodo de 22 e 24 horas de forma generalizada e todas as plantas apresentaram uma necrose foliar marginal nas folhas novas.

De acordo com Matysiak *et al.* (2022) foi observado que para duas cultivares (cv. "Casual" e cv. "Elizium") de alface romana cultivadas durante 30 dias, a cultivar "Casual", sob DFFF de 240 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, apresentou maior massa fresca e seca, maior número de folhas e maior produção de biomassa, do que quando cultivada sob DFFF de 160 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, enquanto que a altura e diâmetro da planta, não apresentaram diferença entre as duas DFFFs aplicadas. Já para cultivar "Elizium", a altura e diâmetro das plantas foram menores, quando cultivadas na DFFF de 240 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Além

disso, os autores observaram que para ambas as cultivares a maior DFFF ($240 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) resultou em aumento das queimaduras nas bordas internas e externas da planta, prejudicando seu valor comercial.

Segundo Zang *et al.* (2018) a intensidade de luz muito alta ou muito baixa pode afetar não só o crescimento das plantas, mas também, o teor de nitrato foliar, o acúmulo de fitoquímicos e até causar distúrbios fisiológicos. Os mesmos autores observaram que utilizando DFFF de 250 e $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e com fotoperíodo mais longo (16h), o teor de nitrato foi menor nas plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico, enquanto nas mesmas condições atingiram maiores teores de vitamina C, açúcar solúveis e proteína solúvel. No trabalho desenvolvido por Matysiak *et al.* (2022), também verificaram a redução no teor do nitrato quando no aumento da DFFF.

Sabe-se que o aumento da intensidade da luz é capaz de induzir o aumento da atividade das principais enzimas envolvidas no metabolismo da vitamina C e do nitrato, pois essa iluminação fornece à planta mais energia para fixar CO_2 , acelerando a síntese de vitamina C e a assimilação de nitrato nas folhas das plantas (Fu *et al.* 2016). Além disso, estudos demonstram que os LEDs azuis podem facilitar a perda de umidade, estimulando a transpiração e a abertura estomática durante o armazenamento pós-colheita, enquanto que, os LEDs vermelhos, podem auxiliar na retenção da umidade nos tecidos vegetais (Hasan *et al.* 2017).

Nguyen *et al.* (2021), estudaram duas cultivares de alface, a americana (“Asia Butterhead”) e a romana (“Ásia Heuk Romaine”), cultivadas em diferentes fontes de luz com quatro DFFF distintas ($129,7$ (RB), $161,1$ (NWL), $172,28$ (SWL1) e $167,55$ (SWL2) $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e observaram que as cultivares apresentaram desenvolvimento diferentes. Nas duas maiores DFFF a alface americana apresentou maior número de folhas e maior área foliar e um aumento no peso fresco foi observado somente nas plantas cultivadas a partir da DFFF de $167,55 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Para alface romana, as maiores DFFF não tiveram efeito sob o número de folhas ou área foliar, e as plantas tratadas a partir da DFFF de $161,1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ tiveram um aumento de até 37% no peso fresco da parte aérea quando comparado a menor DFFF.

Em estudo desenvolvido por Zang *et al.* (2018) que trabalharam com alface roxa (cv. Ziwei) em cultivo *indoor*, observaram que o conteúdo de antocianina foi significativamente afetado pela DFFF, fotoperíodo e qualidade de luz, havendo maior conteúdo da mesma quando em maior intensidade luminosa.

A DFFF também pode afetar o acúmulo de carotenóides, visto que, em estudos desenvolvidos por Brazaityte *et al.* (2015), foi observado que houve um aumento no teor de carotenóides em microverdes de brássicas quando a intensidade luminosa do LED foi aumentada de 220 para 330 e 440 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Além disso, aumentos da DFFF pareceram elevar a concentração de clorofila (Gerovac *et al.* 2016).

Cammariasano; Korner (2022), desenvolveram um trabalho com duas cultivares de alface (alface verde cv. “Aquino” e a alface vermelha cv. “Barlach”), que foram comparadas quando cultivadas em duas condições de luz (luz branca-azul DFFF de 247,6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e luz branca com DFFF de 243,03 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Esses autores relataram que, o teor de clorofila e de carotenóides, foi maior na cultivar “Barlach” quando cultivada sob luz branca-azul, em comparação a outra cultivar tratada da mesma forma.

Zivcak *et al.* (2008) observaram que, para alface, o teor de carotenoides foi maior em plantas cultivadas em DFFF de 140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e, menores, quando cultivadas em DFFF maior (220 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Além disso, para hortaliças, qualidades sensoriais são extremamente importantes para determinar a preferência dos consumidores. Assim, no trabalho desenvolvido por Matysiak *et al.* (2022), na avaliação sensorial foi observado que ambas as cultivares de alface romana cultivadas na DFFF de 240 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, tiveram um nível significativamente mais alto de qualidade geral (corresponde ao sabor doce e crocância) da alface, do que quando cultivadas sob DFFF de 160 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Em estudos já foi comprovado que a luz pode influenciar no acúmulo de açúcares e degradação do nível de nitrato das plantas, pois a mesma pode resultar em alterações nos fitoquímicos da planta, o que impacta diretamente nas suas qualidades sensoriais, pois os açúcares atribuem um sabor mais doce gerando assim maior aceitação pelo consumidor, enquanto que, os baixos níveis de nitrato são mais benéficos a saúde humana (Matysiak *et al.* 2022).

A determinação da DFFF fornecida pela iluminação artificial por LED em cultivo *indoor* verticalizado para produção de *baby leaf* de alface, é de grande importância para garantir e aumentar a qualidade e produtividade do produto. Porém, definir a quantidade específica de luz para a espécie vegetal, não é fácil, pois, isso depende não só da espécie e cultivar da planta, mas de outros fatores como, objetivos ou estágios de crescimento (crescimento vegetativo, floração, frutos ou até qualidade

pós-colheita) e as variáveis ambientais, como luz, umidade e temperatura, devem ser consideradas (Barbieri *et al.* 2023).

Conforme observado, há um efeito varietal na determinação da DFFF ideal. Porém, no Brasil, conforme relatado, são utilizadas cultivares mais tropicalizadas e diferentes das utilizadas internacionalmente, com tipologias distintas, como a crespa, lisa, mimosa, americana e outras. Assim é importante que pesquisas com iluminação LED no cultivo *indoor* vertical sejam conduzidas para determinação da DFFF ideal, especificamente para esses tipos de cultivares para produção de *baby leaf*, no cultivo *indoor* vertical.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Condução dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório *indoor* do Centro de Horticultura do Instituto Agrônomo (IAC) em Campinas SP, em uma sala (5,0 x 4,0 m, pé direito de 3,0 m) construída em alvenaria, sem a incidência de luz natural e climatizada, com condicionador de ar de 18.000 btu mantida a 25 °C. As câmaras de cultivo são construídas em aço (0,6 x 0,9 m e 2,6 m de altura), com distância entre os andares de 0,3 m. Foram instaladas cortinas de policloreto de vinila (PVC) branco fosco na parte interna das estantes, fechando três lados da câmara de cultivo para minimizar a perda de luz para fora das *layers* e evitar interferência entre os tratamentos devido a fuga de fótons de uma câmara para outra.

As luminárias utilizadas são da empresa LEDs-Up (modelo GLP-v.11.7.1-21) e contém diodos emissores de luz com baixa dissipação de calor distribuídos ao longo da estrutura tubular de 30 cm em polipropileno. A instalação das luminárias nas prateleiras das estantes foi feita em linhas de 60 cm contendo duas luminárias em sequência.

A verificação da DFFF de cada tratamento foi determinada pelo sensor de radiação modelo (quantômetro) Li-190 que foi posicionado, a 25 cm da fonte emissora, sendo que essa distância corresponde à altura do dossel vegetativo. Foram distribuídos quatro tratamentos, onde o número de luminárias correspondia ao valor da DFFF, assim, os tratamentos foram de três, cinco, sete e nove linhas de luminárias para 80, 110, 140 e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Sendo fornecido fotoperíodo de 16 horas, ao longo de ambos os experimentos.

De forma geral, os trabalhos tem utilizado maiores DFFFs para cultivo de alface em cultivo vertical *indoor*, porém, utilizamos DFFFs menores com a intenção de ter menor custo energético e observar como seria o desempenho das plantas frente a essas condições, pois, já foi também indicado que a intensidade da luz implica no maior gasto de energia, o que é um dos maiores desafios para o produtor ao trabalhar com este sistema de cultivo.

A qualidade da luz, fator determinado pela composição espectral da radiação emitida pelos diodos, foi caracterizada por espectrômetro portátil *Spectrapen sp 110*. O espectro igual para todos os tratamentos de DFFF, constatando que os picos nos

comprimentos foram de 450 e 645 nm, correspondentes a 57,5% vermelho, 26,4% azul, 5,5% vermelho distante, 9,3% amarelo/laranja e 0,5% verde.

A solução nutritiva utilizada foi a proposta por Furlani *et al.* (1999) e adaptada por Calori *et al.* (2015) para produção de alface *baby leaf*, com os seguintes teores (mmol L^{-1}): N-NO₃: 3,04; N-NH₄: 1,12; P: 0,96; K: 3,68; Ca: 2,88; Mg: 1,28; S: 1,28; B: 0,222; Cu: 0,025; Fe: 0,286; Mn: 0,058; Mo: 0,004 e Zn: 0,007. Estes teores resultam em uma condutividade elétrica (CE) aproximada de 1,7 mS cm^{-1} quando diluídos em água com CE basal de 0,3 mS cm^{-1} . O pH foi mantido a 5,8, fazendo a correção, quando necessário, utilizando ácido fosfórico para manter o valor de pH.

A fertirrigação foi realizada uma vez ao dia de forma manual, durante todo o ciclo de cultivo. Do primeiro ao décimo dia foi aplicado 50 mL/bandeja, do décimo ao décimo quinto dia foi aplicado 90 mL/bandeja e depois foi aplicado 110 mL/bandeja até o final do ciclo.

4.2 Primeiro experimento

O primeiro experimento foi instalado no dia 06 de outubro de 2022. Foram utilizados doze genótipos de alface, sendo seis (184-5-3-1; 226-1-3-3; 281-3-2-2; F10-160-1-2; F9-195-1; F9-39-4-0) da tipologia crespa, quatro (240409-1-2; 252G-1-1-1; 293-6-1-1; 38G-1-4-0) da tipologia mimosa e uma (204-1-1-1) da tipologia lisa, todos esses originários do Programa de Melhoramento Genético de Alface Tropicalizada da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - Centro de Ciências Agrárias do Campus de Araras e um material comercial, a cultivar Rouxai (Rijzk Zaaw), da tipologia crespa roxa.

Os genótipos foram semeados em bandejas de 128 células, dimensões 26 x 52 cm com volume de 20 cm^3 , espaçamento entre plantas 3 x 3 cm e utilizando o substrato o Fibra de coco da empresa Amafibra, tipo 11. Havia três repetições de cada densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFF). Cada repetição foi composta por três bandejas de 128 células. Cada bandeja possui 16 linhas, assim cada uma delas foi dividida em quatro partes (cada parte composta por quatro linhas), totalizando 12 partes onde se distribuiu os 12 genótipos.

Na semeadura foram depositadas três sementes nuas por célula, e após cinco dias foi feita o desbaste do excesso de plântulas, mantendo apenas uma plântula por célula.

O delineamento experimental do primeiro experimento foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial, sendo quatro densidades de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFF) e 12 genótipos. Cada tratamento tinha três repetições.

4.2.1 Avaliações no primeiro experimento

Aos vinte e dois dias após a semeadura (DAS – 28 de outubro de 2022), foram avaliadas as características altura do dossel, medido com auxílio de uma régua e expressa em cm; massa de matéria fresca, utilizando uma balança analítica e expressa em gramas; massa de matéria seca, em que, para a quantificação da mesma, a parte aérea fresca foi colocada em uma estufa de circulação de ar a 75° por 48 h, posteriormente foi pesada em balança analítica e expressa em gramas; número de folhas desenvolvidas, contando todas as folhas, desconsiderando as cotiledonares. A partir dos dados de massa de matéria fresca foi feita uma estimativa da produtividade, que foi expressa em kg m⁻². Para todas as características analisadas, a coleta dos dados foi feita em quatro plantas por repetição, de onde se obteve a média de cada repetição para se proceder a análise estatística de cada tratamento.

Analisou-se a cor instrumental, utilizando o colorímetro Minolta BC-10, realizando a medida em dois pontos distintos em três folhas de quatro plantas de cada repetição, observando os efeitos de coloração, através dos parâmetros (Hunter, 1942; McGuirre, 1992):

L* = representa a luminosidade numa escala de 0 (preto) a 100 (branco);

a* = representa uma escala de tonalidade de vermelho (0+a) a verde (0-a);

b* = representa uma escala de tonalidades de amarelo (0+b) para o azul (0-b);

H° = (ângulo hue) = representa tonalidade e pureza, observadas pelo obtido do ângulo de tonalidade, calculado a partir do arco tangente de b^*/a^* ;

C* = (chroma) = está ligado à saturação, cromaticidade e intensidade de cor, calculado pela fórmula $\sqrt{(b^*)^2 + (a^*)^2}$.

Para melhor compreensão destes parâmetros é interessante observar o diagrama de espaço de cor da Comissão Internacional de l'Eclairage (CIELab) (Figura 1).

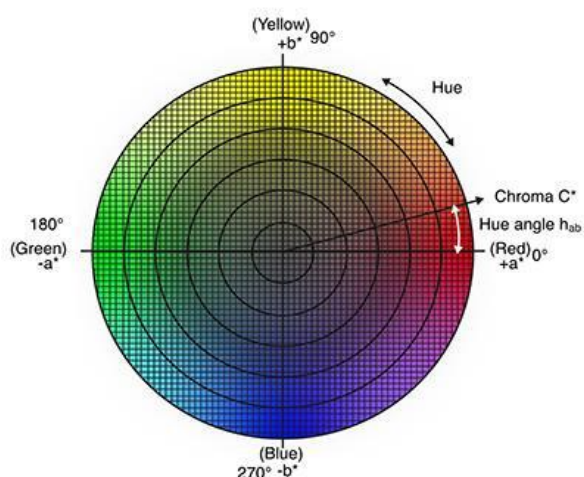


Figura 1. Diagrama de espaço de cor da Comissão Internacional de l'Eclairage (CIE Lab).

Fonte: Site Kinoca Minolta Sensing Americas, Inc.

4.2.2 Análise estatística

A análise estatística dos dados foi realizada utilizando o programa Sisvar, onde foi feita a análise de variância, o teste de Scott-Knott a 5% para comparação entre os genótipos para cada característica analisada. Na sequência, foi realizada análise de regressão para quando houve interação entre os parâmetros analisados ou para quando somente a DFFF foi significativa, observando cada característica em ordem crescente referente às DFFFs, com a determinação do coeficiente (R^2) e da equação linear ou polinomial, de acordo com aquela que foi significativa ($p \leq 0,05$), utilizando o programa OriginPro 8.5.

4.3 Segundo experimento

A semeadura foi realizada no dia 24 de fevereiro de 2023, onde foram utilizados três genótipos, originários do Banco de Germoplasma de Alface da UFSCar – Araras, Mimosa (293-6-1-1), Lisa (204-1-1-1) e Crespa (281-3-2-2).

Os genótipos foram semeados em bandejas de célula única (58 x 28 x 3 cm), distribuindo um genótipo por bandeja, utilizando o substrato o Fibra de coco da empresa Amafibra, tipo 11. Foi utilizado uma bandeja de 128 células para fazer as marcações para semear, com espaçamento entre plantas de 3,5 x 3,5 cm, colocando 3 sementes nuas em cada orifício (ausência de repicagem).

O delineamento foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial sendo quatro DFFF e três genótipos, com três repetições.

4.3.1 Avaliações no segundo experimento

4.3.1.1 Avaliação agrônômica

A avaliação foi realizada dezoito dias após a semeadura (DAS – 15 de fevereiro de 2023), onde foram cortadas as plantas na altura do substrato, colhendo o grupo das três plantas semeadas por orifício, avaliando dois grupos de plantas, assim, foram avaliadas 6 plantas por repetição, para: altura do dossel, medida com auxílio de uma régua e expressa em cm; número de folhas desenvolvidas, sendo contadas todas as folhas desconsiderando as folhas cotiledonares; massa de matéria fresca, utilizando uma balança analítica e expressa em g; massa de matéria seca, em que, para a quantificação da mesma, a parte aérea fresca foi colocada em uma estufa de circulação de ar a 75° por 48 h, posteriormente foi pesada na balança analítica e expressa em g e a área foliar utilizando o equipamento Licor modelo 3100, obtendo o valor em cm². A partir dos dados de massa de matéria fresca, foi estimado o valor de produtividade, expresso em kg m⁻². Foi realizada a média de todas as plantas de cada repetição para realizar análise estatística dos dados.

4.3.1.2 Avaliação físico-química

No Laboratório de Química da UFSCar Araras, foram realizadas avaliações físico-químicas, observando cor instrumental, índice de clorofila a, b e total, carotenóides, acidez total titulável, pH, teor de cinzas, de umidade e sólidos solúveis totais.

Para a cor instrumental foi utilizado o espectrofotômetro Minolta Chroma meter modelo CM-25d, onde se obteve os valores dos parâmetros a*, b*, L*, hue e o Chroma (C*). De acordo com McGuiarre (1992), para folhas de alface as leituras foram realizadas na parte da frente e porção mediana oposta, um ponto em cada parte, em duas folhas de cada repetição, sendo essas folhas coletadas de forma aleatória das plantas contidas dentro da mesma repetição.

Assim, os valores de L*, a* e b* foram utilizados para calcular a diferença de cor (ΔE) entre os tratamentos de luz e os genótipos, de acordo com a fórmula (3): ΔE

$= [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ (3), onde: ΔL^* = diferença em mais claro e mais escuro, Δa^* = diferença em vermelho e verde e Δb^* = diferença em amarelo e azul.

As diferenças totais de cor foram analisadas entre os tratamentos de luz e os genótipos e classificados conforme: ΔE entre 0,0 e 0,5 são diferenças não perceptíveis de cor; entre 0,6 e 1,5 são diferenças indeléveis de cor; entre 1,6 e 3,0 são diferenças visíveis de cor; entre 3,1 e 6,0 são diferenças apreciáveis de cor; entre 6,1 e 12,0 são diferenças muito grandes de cor; e, índices superiores a 12,1 representam diferenças muito óbvias de cor entre as amostras (Fontana *et al.*, 2018).

Os teores de clorofila a, b e total foram determinados de acordo com Lichtenthaler (1987). Para isso, foram macerados em cadinhos de porcelana 0,5 gramas de tecido vegetal das alfaces, de folhas coletadas de forma aleatória das plantas contidas dentro da mesma repetição, misturadas com 5 mL de acetona 80% v/v e uma alíquota de 1 mL de solução de carbonato de cálcio (CaCO_3) a 5% m/v. O extrato foi filtrado em papel filtro qualitativo e recebido em balão volumétrico de 25 mL envolvido por papel alumínio para proteção contra luminosidade. O restante de tecido vegetal que tenha ficado aderido ao cadinho foi lavado com mais 15 mL do solvente (acetona 80% v/v), passado pelo filtro e também coletado no balão. Posteriormente, aferiu-se o volume do balão com acetona 80% v/v para 25 mL (volume final do extrato). O extrato cetônico foi então transferido para tubos falcon também protegidos da luz com papel alumínio e armazenados à 4 °C por 24 horas em BOD, momento em que foram feitas as leituras das absorbâncias em espectrofotômetro BEL-1105 nos comprimentos de onda de 646,8 e 663,2 nm. Os teores de clorofila a, b e total foram obtidos em mg L^{-1} pelas seguintes fórmulas (4, 5 e 6): Clorofila a (Ca) = $12,25 \times A_{663,2} - 2,79 \times A_{646,8}$ (4); Clorofila b (Cb) = $21,50 \times A_{646,8} - 5,10 \times A_{663,2}$ (5) e Clorofila a + b (total) = $7,15 \times A_{663,2} + 18,71 \times A_{646,8}$ (6). Os dados foram convertidos e apresentados em mg g^{-1} .

O teor de carotenoides totais foi determinado de acordo com Lichtenthaler (1987), utilizando o mesmo extrato preparado para a determinação das clorofilas, sendo a leitura da absorbância realizada no comprimento de onda de 470,0 nm. A concentração foi estimada em mg L^{-1} de acordo com a seguinte fórmula (7): Carotenóides totais = $(1000 \times A_{470} - 1,82 \times \text{Ca} - 85,02 \times \text{Cb})/198$ (7). Os dados foram convertidos e apresentados em mg g^{-1} .

Para determinação da acidez total titulável (ATT), foi utilizado 1,0 g da folha coletadas de forma aleatório das plantas contidas dentro da mesma repetição, obtido

da maceração em gral, posteriormente diluído em 29 mL de água destilada, com adição de 2 a 3 gotas do indicador fenolftaleína a 1% e titulação com hidróxido de sódio (NaOH) a 0,1 N, sendo os resultados expressos em gramas de ácido cítrico/100g de folha (Association of Official Analytical Chemists, 1990).

O pH foi determinado a partir da maceração de 1,0 g da folha coletadas de forma aleatório das plantas contidas dentro da mesma repetição, diluído em 29 mL de água destilada, utilizando-se um potenciômetro digital com membrana de vidro, conforme Association of Official Analytical Chemists (1990).

A metodologia utilizada para determinação do teor de cinzas foi a IAL 018/IV e para a umidade foi o IAL 012/IV, de acordo com Instituto Adolfo Lutz (2008).

O conteúdo de sólidos solúveis totais (SST) foi determinado por leitura em refratômetro digital, modelo MA871, com correção automática de temperatura (escala de 0 a 85%), com a leitura determinada em °Brix, a partir da maceração em gral (almofariz) de 10 g folhas coletadas de forma aleatório das plantas contidas dentro da mesma repetição, homogeneização e filtragem, conforme Association of Official Analytical Chemists (1990).

4.3.1.3 Avaliação sensorial

A avaliação sensorial foi realizada no Laboratório de Análise Sensorial do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos. Quanto ao preparo das amostras para avaliação sensorial, as plantas foram cortadas com auxílio de uma tesoura e separadas em amostras de 10 g de material vegetal de alface. As análises foram realizadas em cabines individuais (18 °C \pm 1°C), com luz branca, sendo que, em cada cabine foi apresentado um genótipo codificado com três dígitos. As amostras foram apresentadas em sacos plásticos de acordo com as densidades de fluxos de fótons fotossinteticamente ativos que foram aplicados (80, 110, 140 e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 2).



Figura 2. Distribuição das amostras de alface em três bancadas distintas para análise sensorial de quatro amostras de cada genótipo.

Foi utilizado o teste de ordenação (ISO, 2006) com 34 avaliadores, estudantes e docentes do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos que foram recrutados com base na disponibilidade e interesse. As amostras foram apresentadas simultaneamente e foi solicitado ao avaliador que as ordenassem em ordem crescente de intensidade da cor e brilho, seguido da preferência. Foi solicitado a informação sobre a frequência de consumo (Apêndice 1).

4.3.1.3 Análise estatística

A interpretação dos dados obtidos no teste de ordenação foi realizada de acordo com o teste de Friedman ($p \leq 0,05$) (Newell; MacFarlane, 2006). A análise estatística dos dados foi realizada utilizando o programa Sisvar, onde foi feita a análise de variância, o teste de Scott-Knott a 5% para comparação entre os genótipos para cada característica analisada. Na sequência, foi realizada análise de regressão para quando houve interação entre os parâmetros analisados ou para quando somente a DFFF foi significativa, observando cada característica em ordem crescente referente às DFFFs, com a determinação do coeficiente (R^2) e da equação linear ou polinomial, de acordo com aquela que foi significativa ($p \leq 0,05$), utilizando o programa OriginPro 8.5.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Primeiro experimento

Para a altura do dossel não houve interação significativa entre os 12 genótipos e as quatro DFFFs aplicadas (Apêndice 2). Para cada DFFF utilizada (80, 110, 140 e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), foram observadas as médias de 18,8; 19,4; 21,3 e 20,7 cm, respectivamente, não havendo diferença significativa para essa característica. Entretanto, houve efeito significativo dos genótipos para a altura do dossel (Tabela 1).

Matysiak *et al.* (2022), averiguaram que dependendo do material genético, não ocorriam diferenças com a DFFF utilizada. A cultivar “Casual” de alface Romana não apresentou diferença nas características de acordo com cada DFFF aplicada, enquanto que a cultivar “Elizium” do tipo mini alface romana obtiveram plantas maiores, utilizando uma DFFF menor (160 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), porém, quando comparada as duas cultivares de alface, não houve diferença estatística no crescimento das mesmas.

No trabalho desenvolvido por Kitaya *et al.* (1998), em que foi observado o desenvolvimento da cultivar de alface “Verde-verão” em quatro diferentes DFFF (100, 150, 200 e 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), averiguaram que, conforme o aumento da DFFF observou-se a diminuição do comprimento da planta, até que, no tratamento de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, esta medida ficou estagnada em comparação a última DFFF aplicada (300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), podendo demonstrar que em comparação ao presente trabalho, ambos apresentaram comportamentos normais e já relatados na literatura, que indica que maiores intensidades de luz geram plantas com menor altura, contudo, no presente trabalho, devido ao baixo DFFF utilizado quando comparado ao Kitaya *et al.* (1998), pode ter sido a razão de não haver diferença entre as DFFFs para a altura das plantas.

A cultivar Rouxai possui caule fasciado, o que faz com que a planta seja mais compacta, e foi a que apresentou menor altura do dossel (16,4 cm), apresentando menor crescimento quando comparada aos demais genótipos (grupo d), em especial, o 226-1-3-3 e o 240.409-1-2, com as maiores alturas do dossel (22,0 e 23,1 cm, respectivamente), apresentando maior crescimento quando em comparação às demais (grupo a). O comportamento dessa característica pode ser diferente, de acordo com cada genótipo, conforme observado no presente trabalho. Além disso,

plantas mais baixas podem ser interessantes para o sistema de cultivo *indoor*, pois, cultivar plantas de comprimento diminuto, permitem com que sejam implantados mais andares de cultivo dentro do sistema, possibilitando maior produção.

Além disso, apesar de não ter sido feita análise referente ao comprimento do hipocótilo, foi possível observar (Figura 3) que os genótipos Rouxai e o 240.409-1-2, que foram os que apresentaram a menor e a maior altura do dossel, respectivamente, da mesma forma foram os que apresentaram o menor e maior estiolamento da região do hipocótilo, principalmente quando observado o menor DFFF aplicado ($80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em comparação aos demais, para esses mesmos genótipos.

O comprimento do hipocótilo indica o quanto a planta estiolou, processo este que ocorre, devido ao fato da planta ir em busca da luz. A altura da planta pode ser diretamente relacionada com a baixa luminosidade fornecida a planta, visto que, essas condições provocam o alongamento do pecíolo, que irá buscar maior captação de luz, o que por consequência, provocará o estiolamento das plantas (Dalastra *et al.* 2016). No trabalho desenvolvido por Alrajhi *et al.* (2023) foi observado que diferentes condições de luz geraram um alongamento do caule, relatando que essa característica é prejudicial para a produção de alface, podendo estar associado ao pendoamento, ou seja, consiste em um estágio inicial em direção a floração, que geralmente está associado ao aumento do sabor amargo e redução da preferência do consumidor para a compra.

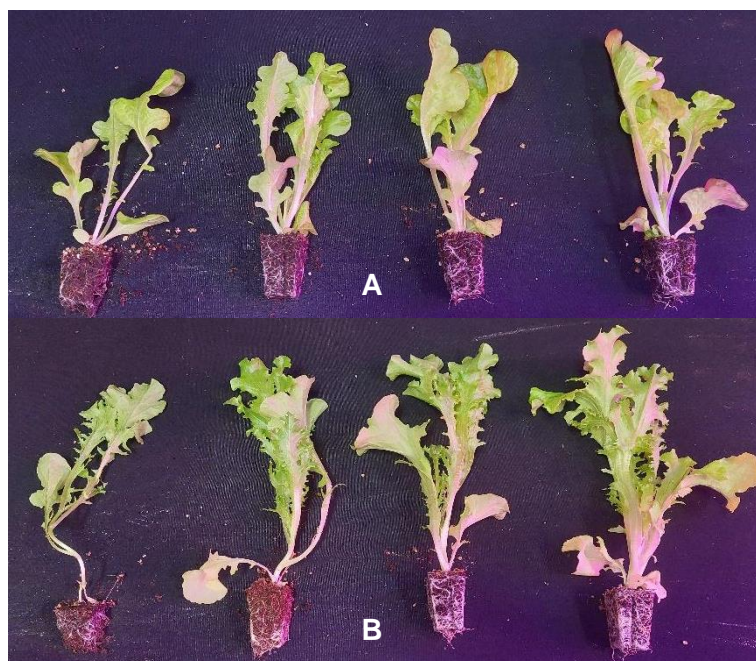


Figura 3. Comparação entre o genótipo Rouxai (A) e o 240.409-1-2 (B) que apresentaram a menor e a maior altura do dossel, respectivamente.

Para o número de folhas, não houve interação entre as DFFFs e os genótipos (Apêndice 2). Contudo, observou-se diferença nesta variável entre os genótipos (Tabela 1). Rouxai, 204-1-1-1 e F10-160-2-1 tiveram o maior número de folhas (5 folhas – grupo a), enquanto os demais genótipos apresentaram menores valores (4 folhas – grupo b) e não diferenciaram entre si. Referente às DFFFs, foi possível observar uma regressão linear em que, aumentando a DFFF de 80 a 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, aumentou o número de folhas (Figura 4).

Matysiak *et al.* (2022), observaram que para duas cultivares de alface romana analisadas, houve aumento no número de folhas quando utilizado a maior DFFF (240 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), sendo interessante condições em que proporcionam as plantas produzirem maior número de folhas.

Mediante os resultados e o que foi citado na literatura até o momento, para as características de altura do dossel e do número de folhas, a melhor DFFFs que poderia ser utilizada, dentre aquelas aplicadas no presente experimento, seria a de 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, independentemente do genótipo.

Tabela 1. Altura do dossel (ALTD) e número de folhas (NF) de genótipos de alface produzidas em cultivo vertical *indoor* de *baby leaf*.

Genótipos	ALTD (cm)	NF
Rouxai	16,5d	5a
204-1-1-1	18,7c	5a
252G-1-1-1	19c	4b
F10-160-2-1	19,2c	5a
281-3-2-2	19,6c	4b
F9-39-4-0	19,7c	4b
293-6-1-1	19,9c	4b
184-5-3-1	20,5b	4b
F9-195-1	20,7b	4b
38G-1-4-0	21,1b	4b
226-1-3-3	22,0a	4b
240.409-1-2	23,0a	4b
CV (%)	9,3	13,0

Médias seguidas de mesma letra para cada variável não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

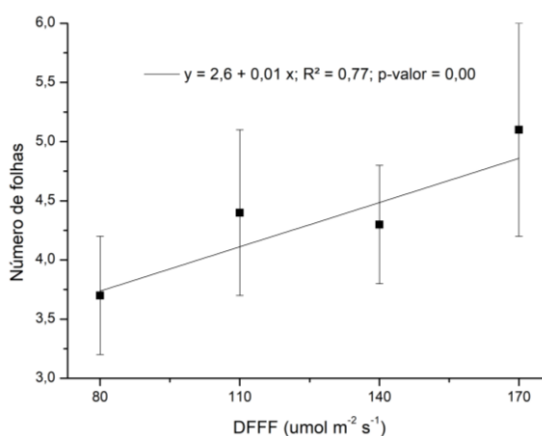


Figura 4. Número de folhas de alface para *baby leaf* produzida em cultivo vertical *indoor* em função da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos.

Referente a massa de matéria fresca e seca foi possível observar uma interação significativa entre os genótipos e as DFFFs aplicadas (Apêndice 2). Todos os genótipos tiveram um comportamento linear, apresentando maior massa de

matéria fresca e seca, com o aumento da DFFF de 80 a 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, destacando o genótipo 226-1-3-3 e o 240.409-1-2, que apresentaram as maiores massas, nas maiores DFFFs (140 e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Segundo Zang *et al.* (2018), ao aumentar a intensidade da luz, geralmente se aumenta a fotossíntese e, portanto, o crescimento da planta, indicando que plantas que possuem um maior desenvolvimento possuem maior eficiência na fixação de carbono, o que justificaria as plantas do presente estudo terem apresentado maior massa de matéria fresca e seca na maior DFFF (Figura 5).

Zang *et al.* (2018) observaram que a massa fresca e seca foi maior na DFFF de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ do que com a DFFF de 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, contudo, a DFFF de 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ foi a de destaque de maiores massas, enquanto que, na maior DFFF aplicada neste estudo (300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) não foi observado diferença nessas medidas em relação a DFFF anterior, indicando que, para a produção de alface sob luz artificial, a DFFF de 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ seria suficiente.

No estudo desenvolvido por Jeong *et al.* (2013) observaram que não houve diferença no crescimento da alface entre as DFFFs de 200, 230 e 260 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mas a DFFF de 290 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ resultou no melhor crescimento e desenvolvimento das plantas.

A produtividade foi calculada levando em consideração a massa de matéria fresca, havendo uma interação significativa entre as DFFFs e os genótipos (Apêndice 2) obtendo um comportamento linear assim como para a massa de matéria fresca, podendo destacar os genótipos 226-1-3-3 e 240.409-1-2 que foram os que apresentaram as maiores produtividades (6,3 e 6,5 kg m^{-2} , respectivamente) na maior DFFF aplicada (170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 5). Para Shamshiri *et al.*, (2018) a produtividade e a qualidade das hortaliças são afetadas pela DFFF. Silva *et al.* (2022) sugerem que o aumento da Luz Diária Integral (LDI) que corresponde a quantidade total de fótons fotossinteticamente ativos fornecido para as plantas dentro de um dia, pode resultar no aumento de biomassa foliar, resultando no aumento da produtividade de alface e/ou no encurtamento do ciclo de produção. Podemos associar ao fato de que a maior DFFF que foi aplicada neste experimento, resultou na maior produtividade de todos os genótipos, quando comparada às demais DFFFs aplicadas.

Para a massa de matéria fresca, seca e produtividade, a melhor DFFFs, dentre as que foram utilizadas no presente experimento, seria a de 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, independente do genótipo avaliado.

No trabalho desenvolvido por Matysiak *et al.* (2022), foi observado a diferença do desenvolvimento de duas cultivares (“Casual” e “Elizium”) de alface romana em diferentes DFFF (160 e 240 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Esses autores verificaram que para cultivar “Casual” o aumento da DFFF estimulou a produção de biomassa, obtendo maior peso fresco e seco das folhas e maior número de folhas por planta. Porém, o aumento da DFFF estimulou o ressecamento das bordas das folhas (*tipburn*), deteriorando o valor comercial do produto, indicando que, o aumento excessivo da DFFF pode ser prejudicial ao desenvolvimento da planta. Para cultivar “Elizium”, o aumento da DFFF também gerou maior produção de biomassa, indicando que, as características podem variar de acordo com a luz.

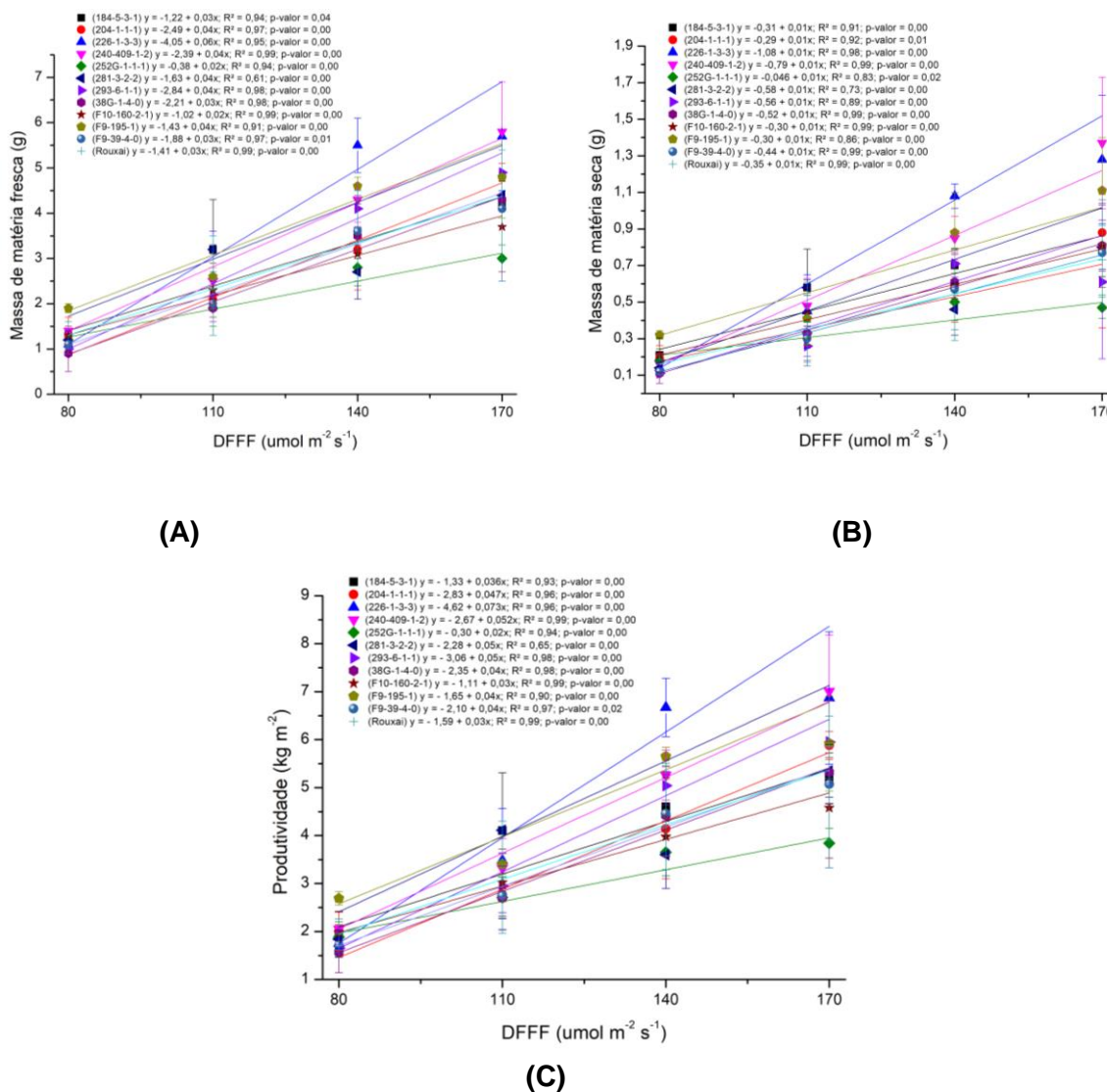


Figura 5. Massa de matéria fresca (A), massa matéria seca (B) e produtividade (C) de alface para *baby leaf* produzida em cultivo vertical *indoor* em função da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos.

5.1.1 Análise da cor instrumental

Quanto às análises de cor instrumental, todos os parâmetros de a^* , b^* , L^* , C^* e hue, não apresentaram interação significativa entre as DFFFs e os genótipos (Apêndice 3). Porém, analisando cada parâmetro individualmente o a^* não apresentou diferença significativa (Apêndice 3) entre as DFFF. Para cada DFFF (80, 110, 140, 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), foram observadas as médias de -11,7, - 12,0, - 11,9 e -12,0, respectivamente. Em todas as DFFFs as alfaces apresentaram coloração verde como observado por Covre *et al.* (2019) em que as alfaces cultivadas em sistema hidropônico apresentaram valores de a^* que variaram de -17,5 a -23,3, de acordo com a tipologia avaliada.

Para o parâmetro b^* não foi observado diferença significativa entre as DFFFs (Apêndice 3). Para cada DFFF (80, 110, 140 e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), foram observadas as médias de 33,6, 33,7, 34,0 e 32,5, respectivamente, indicando que, independentemente da DFFF aplicada, as alfaces apresentaram colorações amareladas, também semelhante ao encontrado no trabalho de Covre *et al.* (2019).

O C^* não apresentou diferença significativa entre as DFFFs (Apêndice 3). Para cada DFFF (80, 110, 140 e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), foram observadas as médias de 35,7, 35,8, 36,0 e 34,7, respectivamente, sendo valores semelhantes ao encontrado por Fontana *et al.* (2018) usando alface Brunela cultivada em três diferentes sistemas de cultivo (convencional, hidropônico e orgânico). O C^* corresponde a um ângulo que indica a pureza ou cromaticidade da cor, onde valores mais altos mostram maior cromaticidade ou dispersão das cores e valores mais baixos indicam menor cromaticidade ou cores mais próximas do cinza (Vieira, 2021). Os valores obtidos no presente experimento diferem dos resultados encontrados por Vieira, (2021) que avaliou duas cultivares distintas de alface (Red Star e Darkland), obtendo valores de C^* de 7,7 e 25,0, respectivamente, e, portanto, comparativamente os dados de C^* do presente experimento estes indicam maior cromaticidade.

Para os parâmetros de L^* e hue houve efeito significativo entre as DFFFs (Apêndice 3), onde em ambos se observou uma regressão linear decrescente à medida que se aumentava a DFFF (Figura 6). O hue indica a variação da tonalidade da cor, sendo que, o ângulo 0° ou 360° representa a cor vermelha e de 90° , 180° e 270° , as cores amarelo, verde e azul, respectivamente (Vieira, 2021). Foi possível observar que independente da DFFF aplicada, todos apresentaram hue próximo de

180° indicando coloração verde (Figura 6A). De acordo com Amarante *et al.* (2008) o parâmetro hue pode ser uma medida indireta do teor de clorofila, onde, a medida em que se tem um maior valor de hue tem-se um maior teor de clorofila, assim, neste caso, na menor DFFF ($80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) poderia ser encontrado os maiores teores de clorofila, pois foi onde obteve maior valor de hue (160,6°).

O parâmetro L^* representa a luminosidade, onde valores maiores indicam verdes mais claros, observou-se que, quanto menor a DFFF, maiores os valores de L^* e, portanto, mais claro o verde se apresentou (Figura 6B). Os resultados obtidos por Meng; Runkle (2023) mostrando que trabalhando com luzes de LED totalmente brancas e com LED branco e verde, ambos com DFFF de $180 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ plantas da cultivar Rouxai apresentaram valores de L^* semelhantes aos relatados neste trabalho, onde as folhas apresentaram verde mais claro do que quando foi trabalhado com outras colorações de lâmpada, na mesma DFFF.

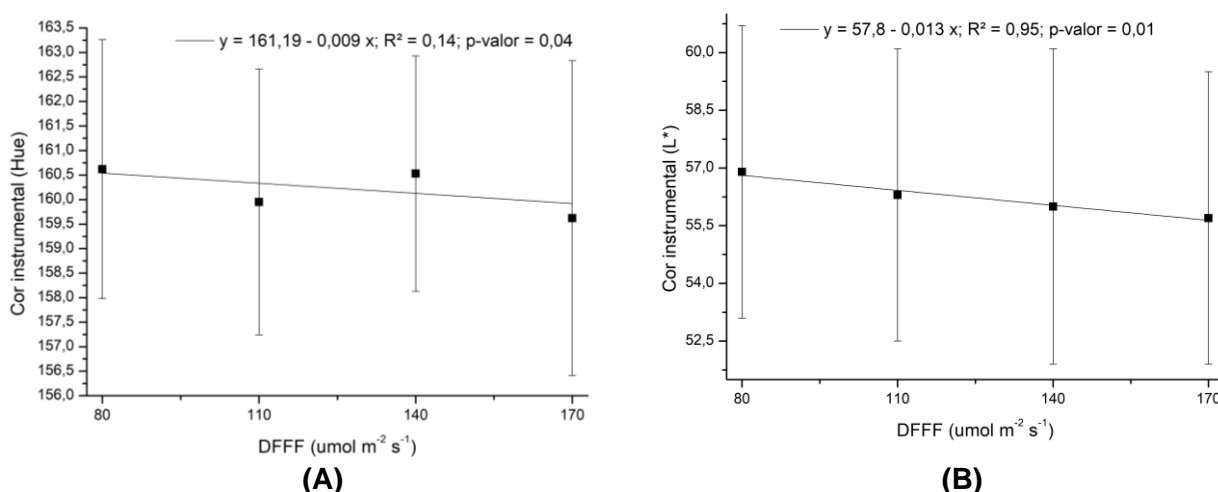


Figura 6. Valores de hue (A) e L^* (B) da cor instrumental de alface para *baby leaf* produzida em cultivo vertical *indoor* em função da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos.

Para todos os parâmetros de cor instrumental se observou efeito significativo dos genótipos (Apêndice 3). Os valores de a^* variaram de -10,7 a -12,5, onde a Rouxai, 38G-1-4-0 e 226-1-3-3 foram os genótipos que apresentaram os menores valores de a^* . Pelo diagrama esses genótipos apresentaram menos verde quando comparadas aos demais, contudo, apesar dessa diferença, todos os genótipos apresentaram valores negativos de a^* , indicando coloração verde. No trabalho desenvolvido por Garcia (2023) que analisou genótipos iguais ao do presente experimento, como o F9 195-1, 281-3-2-2, F9 39-4 e o 184-5-3-1 cultivados em três sistemas de cultivos distintos (coberto com telado, estufa e cultivo convencional no

campo), os valores obtidos para o parâmetro a^* foram todos inferiores aos obtidos no presente trabalho, demonstrando assim, que as condições de cultivo, principalmente referente a luminosidade, interferem na coloração das plantas.

Para o b^* , houve uma variação dos valores, que foi de 27,3 (F10-160-2-1) até 36,3 (281-3-2-2). Os genótipos 204-1-1-1, 252G-1-1-1, 281-3-2-2, F9-39-4-0, 184-5-3-1, F9-195-1, 38G-1-4-0 e 226-1-3-3 foram os que apresentaram os maiores valores de b , apresentando coloração mais amarela de acordo com o diagrama quando comparados aos demais genótipos, porém, apesar de apresentarem diferenças estatísticas, todos obtiveram valores positivos, indicando coloração amarela. Garcia (2023) ao observar o parâmetro b^* dos genótipos F9 195-1, 281-3-2-2, F9 39-4 e o 184-5-3-1, observou valores superiores aos obtidos no presente experimento, confirmando mais uma vez como as condições de cultivo interferem na coloração das plantas.

Quanto ao parâmetro L^* , foi possível observar quatro condições estatisticamente distintas entre os genótipos, onde as tonalidades de cor variam do verde mais escuro para o verde mais claro, quando o L^* é menor ou o L^* é maior, respectivamente. O genótipo F10-160-2-1 apresentou menor L^* (49,0) e, conseqüentemente, verde mais escuro em comparação com os demais. Os genótipos 281-3-2-1 (58,0), 184-5-3-1 (59,4) e 38G-1-4-0 (59,2) com os maiores L^* apresentaram verde mais claro, enquanto os demais genótipos apresentaram valores de L^* intermediários (Tabela 2).

O parâmetro C^* diferenciou as alfaves em três condições estatisticamente distintas. Os genótipos F10-160-2-1 e 240.409-1-2 com menor valor, indicaram menor cromaticidade; Rouxai e 293-6-1-1 apresentaram valores intermediários em comparação aos demais e, por fim, todos os outros genótipos apresentaram valores maiores, representando maior cromaticidade das cores (Tabela 2).

Com os valores de hue, foi possível observar quatro condições estatisticamente distintas, onde o F10-160-2-1 apresentou o menor valor, indicando que esse genótipo apresentou folhas com coloração verde menos intensa. A cultivar Rouxai e os genótipos 281-3-2-2, 184-5-3-1; F9 195-1; 38G-1-4-0 e 226-1-3-3, apresentaram os maiores valores, indicando coloração verde mais intensa, por apresentarem valores de hue mais próximos de 180° e, por fim, todos os outros genótipos apresentaram valores intermediários (Tabela 2).

A cultivar Rouxai apresentou valor de hue de 161,9, indicando que a mesma não apresentou coloração roxa em nenhum dos tratamentos de luz, possivelmente devido ao baixo acúmulo de antocianina, um tipo de flavonóide responsável pelo pigmento de cor roxa/vermelho/azul de alguns vegetais (Shi *et al.* 2022). Porém, ao observar as imagens (Figura 7) obtidas das cultivares em todas as DFFFs, destacando a cultivar Rouxai (Figura 7L) é possível observar a coloração roxa nas extremidades das folhas desta cultivar, porém isso não foi detectado na análise pelo colorímetro.

Em comparação ao trabalho desenvolvido por Tarr *et al.* (2023), observaram que o hue da alface Rouxai RZ foi influenciado pela variação da DFFF de 150 para 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, dado que, à medida que a DFFF aumentou, o hue diminuiu de 110,7° (verde) para 84,4° (amarelo/vermelho), diferente do que foi encontrado no presente experimento que trabalhou com DFFF inferiores ao trabalho mencionado. A quantidade de DFFF empregadas em todos os tratamentos, foram insuficientes para que a planta acumulasse a antocianina necessária para expressar essa coloração em toda a folha.

Referente a cor instrumental, independente do parâmetro que foi analisado, poderia ser indicado a DFFFs de 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, dentre as que foram aplicadas no presente experimento, para todos os genótipos, pois, essa DFFF trouxe a coloração verde-amarelado dentro do quadrante do verde para todos os genótipos, além de, um verde intenso, com brilho e verde claro.

Tabela 2. Cor instrumental (a*, b*, L*, C*, hue) de diferentes genótipos de *baby leaf* de alface produzidos em cultivo vertical *indoor*.

Genótipos	a*	b*	L*	C*	hue
Rouxai	-10,7a	32,3b	54,2c	34,13b	161,9a
204-1-1-1	-12,3b	34,7a	56,7b	36,9a	160,3b
252G-1-1-1	-12,4b	34,4a	56,5b	36,6a	160,1b
F10-160-2-1	-12,4b	27,3c	49,0d	30,1c	155,3d
281-3-2-2	-12,3b	36,3a	58,0a	38,4a	161,2a
F9-39-4-0	-12,5b	34,6a	57,2b	36,8a	159,1b
293-6-1-1	-11,7b	33,1b	56,3b	35,2 b	160,4b
184-5-3-1	-11,8b	35,8a	59,4a	37,7a	161,7a
F9-195-1	-11,9b	34,6a	58,4b	36,6a	160,9a
38G-1-4-0	-11,2a	34,3a	59,2a	36,2a	161,8a
226-1-3-3	-11,2a	34,8a	57,4b	36,6a	162,0a
240409-1-2	-12,1b	29,2c	52,2c	31,6c	157,1c
CV (%)	7,8	7,1	4,6	6,5	1,2

Médias seguidas de mesma letra para cada variável não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.



Figura 7. Genótipos 38G-1-4-1 (A), 252G-1-1-1 (B), 204-1-1-1 (C), 226-1-3-3 (D), F10-160-2-1 (E), F9-39-4-0 (F), 184-5-3-1 (G), 281-3-2-2 (H), 240-409-1-2 (I), 293-6-1-1 (J), F9-195-1 (K) e Rouxai (L) sob as quatro DFFFs, respectivamente.

Para a escolha dos genótipos que seriam utilizados no segundo experimento, todas as características analisadas foram levadas em consideração, averiguando cada uma individualmente e as mesmas de forma conjunta, para que os mais interessantes fossem analisados no segundo experimento. Além disso, foi selecionado três genótipos, um de cada tipologia dos que foram observados no primeiro experimento. Assim, selecionou-se os genótipos 293-6-1-1 (mimosa), 204-1-1-1 (lisa) e 281-3-2-2 (crespa) que apresentaram plantas mais compactas devido a

menor altura do dossel, maiores massa de matéria fresca e seca, maior produtividade e coloração do verde mais claro e mais vivo, de acordo com os resultados obtidos.

5.2 Segundo experimento

Para todas as características analisadas, não houve diferença significativa entre os três genótipos avaliados (Apêndice 4). Para a altura do dossel as médias apresentadas foram de 15,6; 16,9 e 17,3 cm para os genótipos 293-6-1-1; 204-1-1-1 e 281-3-2-2, respectivamente; para o número de folhas, os três genótipos apresentaram média de nove folhas por grupo de três plantas que foram avaliadas; para a massa de matéria fresca e seca, as médias foram 3,0; 2,8 e 3,0 e 0,2; 0,3 e 0,2 g para os genótipos 293-6-1-1; 204-1-1-1 e 281-3-2-2, respectivamente; referente a área foliar as médias foram de 86,7; 85,4 e 81,1 cm² para os genótipos 293-6-1-1; 204-1-1-1 e 281-3-2-2, respectivamente e por fim, a produtividade foi de 7,6; 7,0 e 7,6 kg m⁻², para os genótipos 293-6-1-1; 204-1-1-1 e 281-3-2-2, respectivamente.

Além disso, todas essas características não apresentaram interação significativa entre os genótipos e as DFFFs aplicadas (Apêndice 4). No presente experimento, para a altura do dossel, houve diferença significativa entre as quatro DFFFs aplicadas (Apêndice 4), observando uma regressão polinomial em que, a altura aumentou da primeira para a segunda DFFF, porém, a partir da DFFF de 140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, houve um decréscimo na altura, ficando estagnada até a DFFF de 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A DFFF de 140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ apresentou a maior altura do dossel, enquanto que a DFFF de 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a menor. No sistema de cultivo vertical *indoor*, as plantas apresentarem tamanho mais compacto permitindo que um maior número de prateleiras possa ser implantado no sistema, porém, para determinar a DFFF ideal, dentre as que foram aplicadas no presente trabalho, outras características precisam ser analisadas (Figura 8A).

No trabalho desenvolvido por Matysiak *et al.* (2022), ao analisarem a cultivar “Elizium”, com o aumento da DFFF, apresentou menor altura, e o oposto foi observado quando da menor DFFF. Os mesmos autores, ao observar essa característica para cultivar de alface “Casual”, observaram nenhuma diferença significativa entre as duas cultivares que analisaram (“Elizium” e a “Casual”) quanto a altura do dossel. Neste experimento, os três genótipos não apresentaram diferença entre si.

Para o número de folhas, houve aumento de aproximadamente 47% dessa característica entre a primeira DFFF ($80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a última DFFF ($170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), enquanto nas DFFFs de 80, 110 e $140 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ o número de folhas foram semelhantes. As plantas de alface tiveram uma maior produção do número de folhas quando aplicado a maior DFFF ($170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), sendo assim, o mais indicado nesse caso foi a DFFF de $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, enquanto, na DFFF de $110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ gerou menor número de folhas (Figura 8B).

O mesmo foi observado por Kitaya *et al.* (1998) trabalhando com DFFFs de 100, 150, 200 e $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, observaram que o número de folhas nas mudas de alface aumentou com o aumento da DFFF.

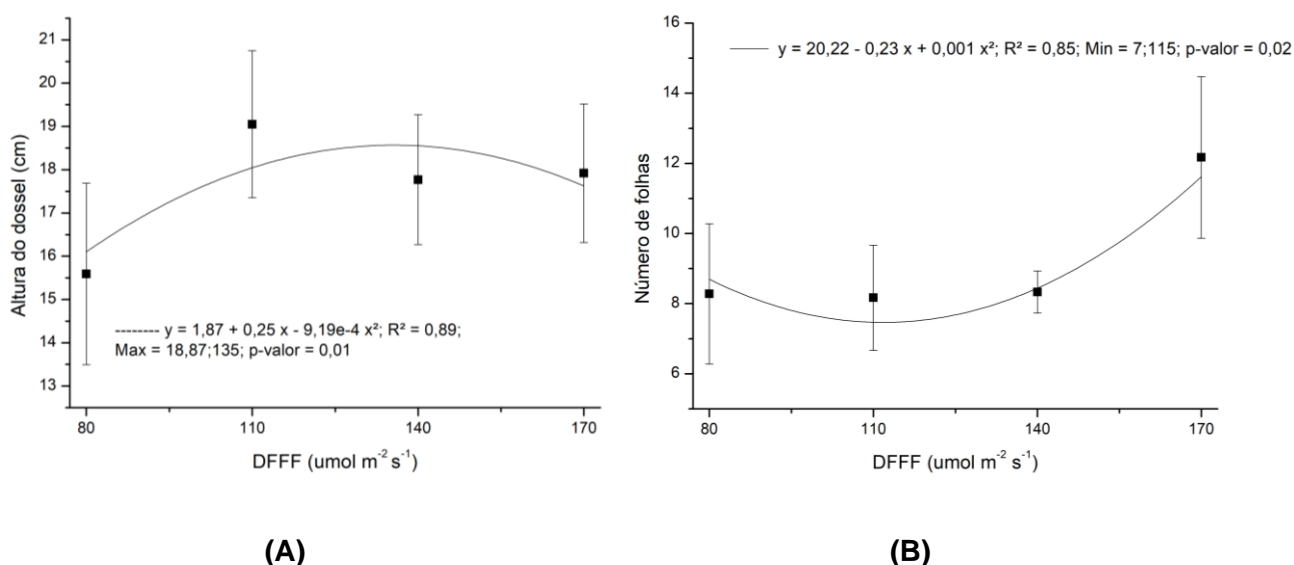


Figura 8. Altura do dossel (A) e número de folhas (B) de alface para *baby leaf* produzida em cultivo vertical *indoor* em função da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos.

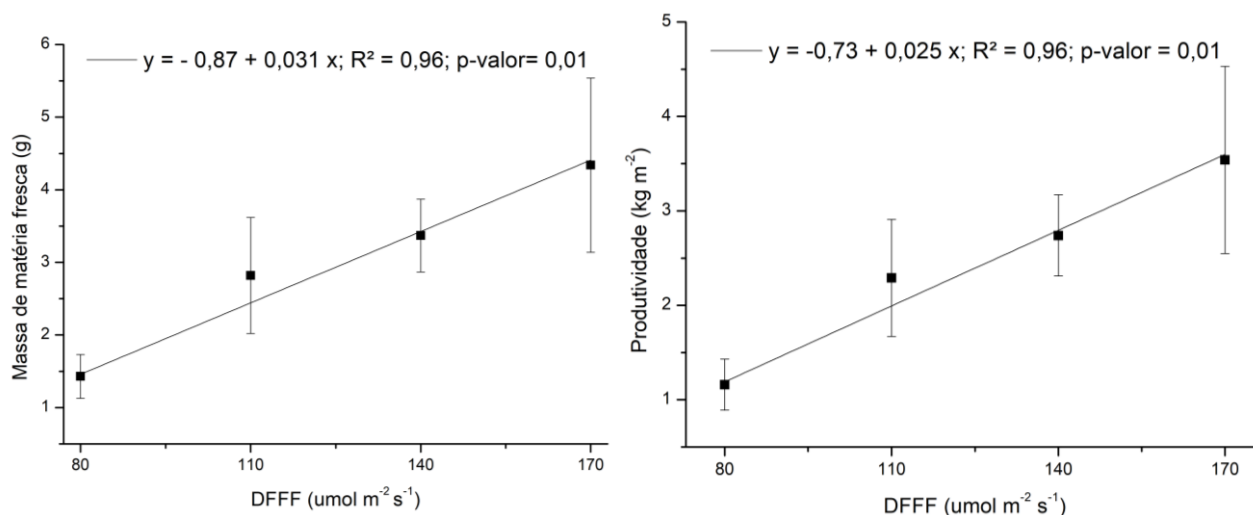
A massa de matéria fresca obteve um crescimento linear de acordo com as DFFFs aplicadas no presente experimento, assim, com a maior DFFF ($170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) obteve-se a maior massa de matéria fresca (Figura 9A). He *et al.* (2019) observaram que a massa fresca das folhas foi afetada significativamente pela DFFF, indicando que as maiores massas foram obtidas na DFFF de $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ atingindo 96g, enquanto que, para o tratamento de $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, obteve-se valores inferiores de massa fresca.

Para a massa de matéria seca, neste experimento, não houve diferença significativa entre as DFFFs aplicadas, onde para cada valor de 80, 110, 140 e $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, foram observadas as médias de massa seca, 0,3; 0,3; 0,2 e 0,2 g, respectivamente. Estudos como os de He *et al.*, (2019) concordam com os dados

obtidos neste experimento, não relatando diferença na massa seca nos diferentes níveis de DFFF. Porém, diversos estudos como Gent (2014); Kozai *et al.* (2019); Silva *et al.* (2022); Yan *et al.* (2019); Zang *et al.* (2018) relataram que, a luz diária integral (LDI), que consiste na quantidade total de fótons fotossinteticamente ativos recebido pela planta em um dia, pode afetar diretamente o acúmulo de biomassa da alface. O aumento no LDI, gera maior acúmulo de biomassa (na maioria), podendo variar mediante outras condições de cultivo ou dos materiais genéticos trabalhados.

A produtividade está associada ao número de folhas. À medida que aumentava as DFFFs aplicadas, houve aumento no número de folhas e da produtividade (aproximadamente 205% da DFFF de $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para a de $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). As plantas de alface avaliadas neste experimento, obtiveram maior produtividade e maior número de folhas quando expostas a DFFF de $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 9B). No trabalho desenvolvido por He *et al.* (2019), o mesmo foi observado, em que as plantas de alface desenvolvidas sob DFFF de $230 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ quando combinado o uso de LED vermelho e azul, apresentaram número de folhas semelhantes, porém as cultivadas somente com a luz azul, tiveram o menor valor dessa variável. Além disso, outros experimentos realizados pelos mesmos autores, indicaram que, com a DFFF mais alta, mesmo que em comprimentos de onda mais curtos, aumentou o crescimento e a taxa fotossintética foliar em mudas de alface.

Além disso, sabe-se por meio de outros estudos que determinar qual a densidade de fluxo de fótons ideal de uma espécie e cultivar é importante, pois afeta diretamente a sua produtividade e qualidade (Cavalcante, 2022; Kelly *et al.* 2020). Referente as DFFFs aplicadas no presente experimento, observou que a de $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ apresentou os maiores valores de produtividade.



(A)

(B)

Figura 9. Massa de matéria fresca (A) e produtividade (B) de alface para *baby leaf* produzida em cultivo vertical *indoor* em função da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos.

Para a área foliar houve diferença significativa entre as diferentes DFFFs aplicadas, apresentando um desenvolvimento linear crescente com o aumento da DFFF em aproximadamente 222% na área foliar das plantas (Figura 10). Nguyen *et al.* (2021) avaliando o desenvolvimento da alface americana e romana em diferentes combinações de comprimentos de onda com luzes vermelha, verde e azul e com diferentes DFFFs de 129,7; 161,1; 172,2 e 167,5 μmol m⁻² s⁻¹, observaram que do primeiro para o último tratamento, houve um aumento da área foliar para a alface americana, concordando com o presente estudo. Kitaya *et al.*, (1998) analisaram a área foliar de alface “Summer-green” em diferentes DFFFs (100, 150, 200 e 300 μmol m⁻² s⁻¹), observaram que aumentando as DFFFs, havia diminuição na área foliar, não apresentando diferença dessa característica entre as duas últimas DFFFs aplicadas.

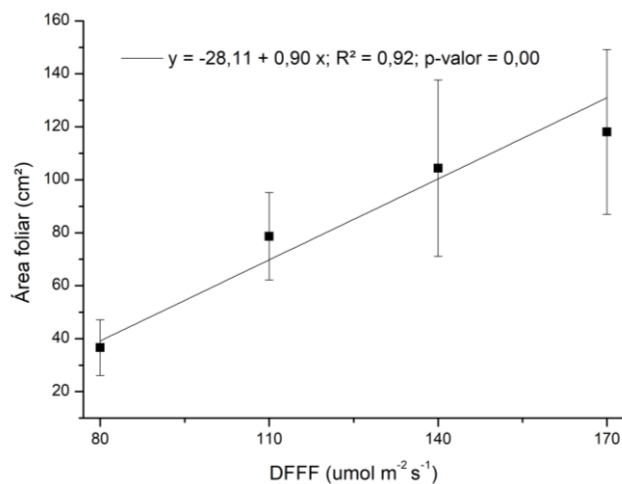


Figura 10. Área foliar de alface para *baby leaf* produzida em cultivo vertical *indoor* em função da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos.

De forma geral, para todas as características agrônômicas avaliadas, dentre as DFFFs que foram aplicadas no presente experimento, a melhor foi a de $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, independentemente do genótipo (Figura 11).



Figura 11. Genótipo 293-6-2-1 cultivado na densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (A), $110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (B), $140 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (C) e $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (D) para observação da diferença entre as características agrônômicas.

5.2.1 Avaliações físico-químicas

Referente a análise de cor instrumental, todos os parâmetros observados de a^* , b^* , L^* , C^* e hue, não apresentaram interação significativa entre as DFFFs e os genótipos (Apêndice 5). Mesmo analisando cada fator individualmente, nenhum parâmetro apresentou diferença significativa entre as DFFFs aplicadas (Apêndice 5). Para cada DFFF, foi observado as respectivas médias para o parâmetro a^* -6,1; -5,6; -5,9 e -7,1, para o b^* 32,5; 33,3; 32,8 e 34,6, para o L^* 60,5; 60,8; 60,6 e 58,7, para o C^* 33,1^o; 33,7^o; 33,3^o e 35,4^o, e para o hue 100,7^o; 99,5^o; 100,0^o e 101,5^o.

Os genótipos não apresentaram diferença significativa entre si (Apêndice 5). Para os parâmetros de cor instrumental os valores obtidos de a^* foram -6,1; -5,8 e -6,6, de b^* foram 32,7; 32,8 e 34,4, de L^* foram 61,2; 60,3 e 59,9, de C^* foram 33,2^o; 33,3^o e 35,0^o e de hue foram 100,6^o; 98,8^o e 100,7^o, para os genótipos 281-3-2-2, 293-6-1-1 e 204-1-1-1, respectivamente. De acordo com Covre *et al.* (2019); Fontana *et al.* (2018); Meng; Runkle, (2023); e Tarr *et al.* (2023), os resultados observados não corroboram com os encontrados nesse experimento, pois de acordo com esses trabalhos mencionados, quando havia mudança do material genético, variação da DFFF ou diferentes sistemas de cultivo, ocorria variação nos parâmetros analisados da cor instrumental.

Todos os valores obtidos de a^* foram negativos, indicando que todas as plantas apresentaram coloração verde, e os valores de b^* por serem positivos, indicam que as plantas apresentaram coloração amarela. De acordo com Vieira (2021), os parâmetros a^* e b^* indicam os índices de vermelho-verde e amarelo-azul, respectivamente, assim, as plantas apresentaram coloração verde-amarelado, mas já no quadrante do verde. Para Filgueira (2013) a coloração da alface varia de verde-amarelado até verde-escura, onde a coloração verde das folhas indica a qualidade da alface.

No trabalho desenvolvido por Vieira (2021) na cultivar Darkland, foi observado os parâmetros L^* , C^* e hue com os respectivos valores 45,0; 25^o e 114,1^o; sendo que esses mesmos parâmetros no presente trabalho, obteve-se os respectivos valores de 60; 33^o e 100^o. Comparando os dados do presente trabalho com os de Vieira (2021), é possível afirmar que neste experimento, as plantas apresentaram coloração verde

mais clara, com maior cromaticidade e coloração mais amarelada, de acordo com a análise desses três parâmetros.

Para o ΔE foi possível observar que a variação total de comparação representa que a diferença entre os genótipos é visível de cor, com exceção da diferença entre os genótipos 204-1-1-1 x 293-6-1-1 na DFFF de $110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e os genótipos 293-6-1-1 x 281-3-2-2 na DFFF de $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, que apresentaram diferenças indeléveis de cor (Tabela 3). Assim, mesmo que os parâmetros da cor instrumental não tenham apresentado diferença significativa entre as colorações dos genótipos, no cálculo do ΔE para comparação entre os genótipos, entre todos foi possível observar uma mínima diferença de cor.

No trabalho desenvolvido por Fontana *et al.* (2018) foi observado a diferença de coloração (ΔE) para a cultivar “Brunela” e “Crocantela” de alface, em três sistemas diferentes de cultivo (convencional, hidropônico e orgânico), sendo interessante que, independentemente do sistema de cultivo que estava sendo comparado, a cultivar “Brunela” sempre apresentou valores maiores de ΔE . O fator genético pode influenciar que cada cultivar tenha diferenciação na coloração, de acordo com as condições em que ela se desenvolve. No presente experimento, os maiores valores obtidos estão entre as comparações dos genótipos 204-1-1-1 x 281-3-2-2, enquanto os demais, apresentaram valores inferiores, indicando comportamentos específicos para cada genótipo.

Tabela 3. Variação total da cor (ΔE) comparando os três genótipos entre si, quando submetidos a cada densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (80, 110, 140 e $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Comparação entre os genótipos	DFFF ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			
	80	110	140	170
	ΔE			
204-1-1-1 x 293-6-1-1	2,0	1,3	1,7	5,5
204-1-1-1 x 281-3-2-2	2,1	2,9	2,5	5,3
293-6-1-1 x 281-3-2-2	1,7	2,0	1,7	0,7

Para os cálculos do ΔE para comparação entre as DFFFs, observou-se que entre as DFFFs de 80 e $110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, o genótipo 293-6-1-1 apresentou diferenças

visíveis de cor (2,0), enquanto, os demais apresentaram diferenças indeléveis de cor (1,10 e 1,47, para os genótipos 204-1-1-1 e 281-3-2-2, respectivamente). Entre as DFFFs de 80 e 140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ somente o genótipo 281-3-2-2 apresentou diferenças visíveis de cor (1,7), enquanto os demais apresentaram diferenças indeléveis de cor (0,7 e 1,4, para os genótipos 293-6-1-1 e 204-1-1-1, respectivamente). Entre as DFFFs de 80 e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, o genótipo 204-1-1-1 apresentou diferenças muito grandes de cor (6,1), enquanto os demais genótipos apresentaram diferenças visíveis de cor (1,7 e 2,5, para os genótipos 293-6-1-1 e 281-3-2-2, respectivamente). Nas comparações com a DFFF de 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, à medida que aumentava as DFFFs, mais nítida era a diferença de cores entre os tratamentos de luz aplicados em cada genótipos, indicando o quanto as DFFFs tiveram influência na expressão da coloração e que quanto maior a DFFF fornecida, mais visível era a intensidade da coloração nas plantas (Tabela 4).

Nas duas últimas comparações entre as maiores DFFFs (110-170 e 140-170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), especificamente para o genótipo 204-1-1-1 houve diferenças grandes de cor (5,2 e 5,3, respectivamente), enquanto que, nas mesmas comparações de DFFFs, o genótipo 293-6-1-1 apresentou as menores variações, considerando diferenças indeléveis de cor (1,4 e 1,6, respectivamente). O genótipo 281-3-2-2 apresentou diferenças visíveis de cor (2,8 e 2,1, respectivamente), nas mesmas comparações de DFFFs (Tabela 4). Indicando mais uma vez, como o fator genético influencia na expressão da coloração nas plantas.

Tibiriça *et al.* (2004) ao trabalharem com alface em cultivo protegido (estufa com lanternim, lona plástica e tela de sombreamento) ocorria a obstrução de 50%, da radiação incidente de luz, fazendo com que as plantas apresentassem coloração verde mais clara do que quando comparada ao sistema convencional, com maior quantidade de luz incidente nas alfaces. Na comparação entre a menor e a maior DFFF aplicada (80-170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), foi observado um ΔE de 6,1 para o genótipo 204-1-1-1, pois condições mais distintas de luz, trouxeram colorações mais diferentes para as alfaces, assim como observado pelos autores mencionados.

Tabela 4. Variação total da cor (ΔE) comparando cada densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF), referente a cada genótipo.

Comparação entre as DFFFs	Genótipos		
	204-1-1-1	293-6-1-1	281-3-2-2
	ΔE		
80-110	1,1	2,0	1,4
80-140	1,4	0,7	1,7
80-170	6,1	1,7	2,5
110-140	0,7	1,8	1,1
110-170	5,2	1,4	2,8
140-170	5,3	1,6	2,1

Nas análises realizadas para os teores de clorofila a, clorofila b, clorofila total e carotenóides, não houve interação significativa entre os genótipos e as DFFFs (Apêndice 6). Todos os teores não apresentaram efeito significativo das DFFFs, sendo assim, as médias obtidas para a clorofila a foram de 0,4; 0,4; 0,4 e 0,4 mg g⁻¹; para a clorofila b foi de 0,1; 0,1; 0,1 e 0,1 mg g⁻¹, para a clorofila total foi de 0,1; 0,1; 0,1 e 0,1 mg g⁻¹ e de carotenóides foi de 0,1; 0,1; 0,1 e 0,1 mg g⁻¹, respectivamente para cada DFFF aplicada (80, 110, 140 e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Estes resultados não estão de acordo com o que foi observado por Fu *et al.* (2016), onde observaram que a alface, na menor DFFF aplicada (60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) obteve as maiores concentrações de clorofila a e da clorofila b, enquanto, na maior DFFF (220 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) obteve-se os menores valores. Loconsole *et al.* (2019) ao avaliarem alface romana em diferentes DFFFs (194,5; 151,4; 165,8 e 165,8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, essa última DFFF foi alternada com a DFFF de 163,2 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), foi observado que na maior DFFF obteve-se os menores níveis de clorofila total, enquanto que, na condição onde foi intercalada duas DFFFs obteve-se os menores valores de clorofila total, já as outras duas DFFFs, apresentaram valores intermediários, apresentando diferença significativa entre as DFFFs para o teor de clorofila total, não concordando com o presente trabalho. Porém, Loconsole *et al.* (2019) ao avaliar o teor de carotenoides, concordam com o presente experimento, pois em ambos, o teor de carotenoides não sofreu influência com as DFFFs aplicadas.

De acordo com Carvalho *et al.* (2011) os carotenoides atuam como pigmentos fotoprotetores, sendo coerentes com a proteção luminosa de folhas contra o fotobranqueamento, além de serem como escudos para a clorofila, onde evitam o excesso de luz e a formação de espécies reativas de oxigênio. O teor de carotenóides pode ser afetado pelas diferentes qualidades e intensidade de luz, porém, essa diferença não foi observada entre as DFFFs aplicadas no presente experimento.

Neste trabalho não foi observado efeito significativo dos genótipos para os teores de clorofila b e de clorofila total, apenas para a clorofila a e para os carotenóides (Apêndice 6). O genótipo 204-1-1-1 apresentou o maior teor de clorofila a, enquanto o 281-3-2-2 o menor teor (Tabela 5), o que demonstra que o fator genético influencia na variação da clorofila a.

A clorofila é o principal pigmento fotossintético que produz a cor verde nas plantas, por isso, um maior teor desse pode estar associado a variedades que tenham maior intensidade do verde, ao passo em que, o mesmo é influenciado diretamente por diversos fatores bióticos e abióticos, estando isso diretamente relacionado com o potencial de atividade fotossintética das plantas (Shi *et al.* 2022; Taiz; Zeiger, 2004).

No estudo desenvolvido por Amarante *et al.* (2008) com folhas de macieiras, observaram que houve aumento do hue e uma diminuição do L* e C* com o incremento nos conteúdos e concentrações de clorofilas a, b e totais nas folhas de ambas as cultivares, indicando folhas com verde-intenso, porém redução da luminosidade e da cromaticidade. Fontana *et al.* (2018) afirmaram que o valor de hue permite avaliar o teor de clorofila em folhas, onde, valores mais próximos de 180° indicam coloração verde intensa, com elevado teor de clorofila, enquanto que hue com valores próximos a 90° indicam folhas com baixo teor de clorofila.

No presente experimento o genótipo 204-1-1-1, mesmo que não tenha apresentado diferença significativa dos demais genótipos (Tabela 5), foi o que apresentou maior teor de clorofila a (0,45), valor mais negativo de a* (-6,6), maior valor de hue (100,7°) menor valor de L* (59,9) e maior valor de C* (35,0°), quando comparado aos demais, indicando que, neste caso, esse genótipo apresentou verde mais intenso e mais escuro, em comparação aos outros genótipos, podendo ser devido a maior presença da clorofila a. Referente ao C* apresentou maior cromaticidade, em comparação aos demais genótipos, sendo isso confirmado por Vieira (2021), pois folhas de alface tendem apresentar cores mais vivas ou com maior

cromaticidade quando possuem maiores níveis de clorofila. Podendo assim este genótipo ter destaque para a coloração verde, quando comparado aos demais.

Enquanto, o genótipo 281-3-2-2 foi o que apresentou o menor teor de clorofila a (0,38), maior valor de L^* (61,2), menor valor de C^* (33,2°) e valores intermediários de hue (100,6°) e a^* (-6,1), indicando que esse genótipo de forma oposta ao 204-1-1-1, apresentou verde mais claro, menos intenso e com menor cromaticidade, concordando com a indicação de apresentar menor teor de clorofila (Fontana *et al.* 2018). No trabalho desenvolvido por Garcia (2023) foi observado o mesmo genótipo 281-3-2-2 em três condições de cultivo distintos (telado, estufa e campo), independente da condição de cultivo, os valores dos parâmetros de cor instrumental encontrados sempre foram superiores aos encontrados no presente experimento, indicando o quanto que o ambiente influencia na coloração da planta.

Além disso, ao comparar os genótipos 204-1-1-1 com o 281-3-2-2, apesar de ambos não terem apresentados diferenças significativas para os parâmetros da cor instrumental, quando analisado os valores de ΔE essas apresentaram diferença visível de cor em todas as DFFFs aplicadas.

O teor de clorofila nas plantas é um fator importante para estudo de respostas fisiológicas. Brougham (1960) afirma que normalmente existe uma alta correlação entre o conteúdo de clorofila a e a taxa de produção das plantas. Son; Oh (2013), observaram que o teor de clorofila e o crescimento das plantas apresentaram tendências opostas. No presente experimento esses compostos não apresentaram o mesmo comportamento, pois a produtividade apresentou uma interação significativa entre os genótipos e as DFFFs, enquanto que, a clorofila a e b, clorofila total e carotenóides não houve interação. Mesmo não ocorrendo a interação e a diferença significativa entre as DFFFs, a clorofila a apresentou valor $0,4 \text{ mg g}^{-1}$ na DFFF de $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, e obteve-se os maiores valores de produtividade ($3,5 \text{ kg m}^{-2}$) na mesma DFFF. Porém, para a clorofila b, clorofila total e carotenóides não foi possível essa correlação, pois os valores obtidos foram os mesmos em todas as DFFFs aplicadas.

De acordo com dados analisados no presente experimento e pelo observado em outros trabalhos (Otoni *et al.* 2012; Santos *et al.* 2016), sabe-se que a luz é um fator relevante para o cultivo de hortaliças, em especial a alface, pois possui uma complexa influência na produção das plantas. Quando se trata da luz solar, sabe-se que o aumento da radiação pode aumentar a produção de fotoassimilados e a disponibilidade dos mesmos para o crescimento das plantas, o mesmo podemos

relacionar com a luz artificial dentro do sistema de cultivo *indoor*, assim a maior DFFF aplicada pode ou não influenciar na produção e disponibilidade dos fotoassimilados para o crescimento das plantas. Contudo, se a luz for excessiva, pode resultar no fechamento estomático e diminuição da fotossíntese o que por consequência diminuirá o crescimento e desenvolvimento da planta (Otoni *et al.* 2012; Santos *et al.* 2016). Por isso, apesar de não ter sido observado neste trabalho a diferença da clorofila a e b, clorofila total e carotenóides nas DFFFs, pode ser que, em condições de DFFFs superiores aos aplicados no presente trabalho, poderia ser observado essa diferença.

Tabela 5. Análise físico-química da clorofila a (CFA), clorofila b (CFB), clorofila total (CFT), carotenoides (CRT) para os diferentes genótipos de *baby leaf* de alface produzidas em cultivo vertical *indoor*.

Genótipos	CFA	CFB	CFT	CRT
	----- (mg g ⁻¹) -----			
281-3-2-2	0,38a	0,11a	0,15 a	0,15 a
293-6-1-1	0,42b	0,12a	0,17 a	0,15 a
204-1-1-1	0,45c	0,13a	0,17 a	0,16 b
CV (%)	6,77	11,21	12,16	7,25

Médias seguidas de mesma letra para cada variável não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Outras análises físico-químicas foram realizadas para determinar os valores de umidade, cinzas, pH e acidez total titulável, onde foi observado que nenhum desses parâmetros apresentaram interação significativa entre as DFFFs e os genótipos (Apêndice 6). Sobre esses parâmetros, referente aos genótipos, também não apresentaram diferença significativa, assim, para umidade as médias encontradas foram de 96,3; 96,1 e 96,2%, para as cinzas foram de 0,1; 0,1 e 0,1%, para o pH foram de 5,9; 6,0 e 5,9 e para a acidez total titulável foram de 0,1; 0,1 e 0,1 g de ácido cítrico/100g de folha, respectivamente para os genótipos 293-6-1-1; 204-1-1-1 e 281-3-2-2. Já referente às DFFFs, os parâmetros de umidade, pH e acidez total titulável não apresentaram diferença significativa entre as DFFFs aplicadas, assim, as médias observadas em cada DFFF (80, 110, 140, 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foram respectivamente, para a umidade 96,3; 96,5; 96,4 e 95,8%, para o pH foi de 5,9; 6,0; 6 e 5,9 e para a acidez total titulável foi de 0,1; 0,1; 0,1 e 0,1 gramas de ácido cítrico/100 g de folha.

O teor de cinzas, apesar de não apresentar diferença significativa entre os genótipos, os valores obtidos foram inferiores aos encontrados por Santos *et al.* (2016) que analisaram mudas de alface em condições de cultivo com sombreamento e a pleno sol, obtendo valor de 1,1 e 1,0, sucessivamente. Podendo dizer que, o fator genético e as condições de cultivo, afetam o teor de cinzas nas plantas. Porém, referente as DFFFs foram observadas que as cinzas apresentaram diferença significativa (Figura 12), sendo interessante observar que neste experimento à medida que houve o aumento da DFFF ($80 - 170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), ocorreu a diminuição no teor de cinzas. Os teores de cinzas representa todos os minerais presentes nas alfaces, sendo que, de forma geral os principais minerais presentes na alface são o fósforo, magnésio, ferro, zinco, potássio, cálcio e geralmente sódio em menores quantidades (Shi *et al.* 2022), portanto, para a maior produção de cinzas e por consequência dos minerais, para o cultivo *indoor*, poderia ser recomendado a menor DFFF ($80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) que foi aplicada neste experimento, contudo, vale ressaltar que, no presente experimento, não foi analisado cada mineral individualmente. Independentemente do teor de cinzas, cada mineral pode ter o seu comportamento específico, dado as condições de iluminação.

A umidade, apesar de não apresentar diferença entre os genótipos ou entre as DFFFs aplicadas, os valores obtidos foram semelhantes ao sugerido pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (2011) que diz que a alface crespa crua possui cerca de 96,1% de umidade.

De acordo com Menezes *et al.* (2005) a faixa ótima de pH para tecidos vegetais situa-se entre 5-7, assim, apesar de não ter obtido diferença significativa para este parâmetro, pode-se observar que os valores obtidos neste estudo estão dentro da faixa considerada ótima. Freire *et al.*, (2009) relataram que as variações no pH estão relacionadas às condições climáticas, nutricionais e práticas de cultivo aplicadas, porém, mesmo quando comparado o presente trabalho ao de Covre *et al.* (2019) que trabalhou com sistema hidropônico e obteve valores de pH na faixa de 5,8 para diferentes cultivares de alface, e ao Pinto (2016) que analisou cultivares de alface em sistema hidropônico e orgânico, obtendo valores de pH de 5,9 e 6,2, respectivamente, ou seja, comparando com trabalhos que utilizam sistemas diferentes de cultivo, o pH obtido foram semelhantes ao do presente trabalho, independente da DFFF aplicada ou do genótipo analisado.

Referente a acidez titulável total, de acordo com a literatura, é observado que os diferentes valores encontrados para ela, indica que o desenvolvimento e a composição química das plantas podem variar entre diferentes espécies e até dentro da mesma espécie, de acordo com as condições as quais são cultivadas (Pinto, 2016). De acordo com Moraes *et al.* (2011), a baixa quantidade de luz pode comprometer a síntese de ácidos nas plantas, o mesmo autor trabalhou com cultivo de alface com sombreamento utilizando malhas termorefloras, e apesar disso, não observou redução na taxa fotossintética da planta, que poderia ocorrer devido ao sombreamento e assim prejudicar a síntese do ácido. Paralelamente a isso, podemos observar que, no presente trabalho a acidez não sofreu influência entre as diferentes DFFFs aplicadas, sugerindo assim, a mesma observação relatada por Moraes *et al.* (2011).

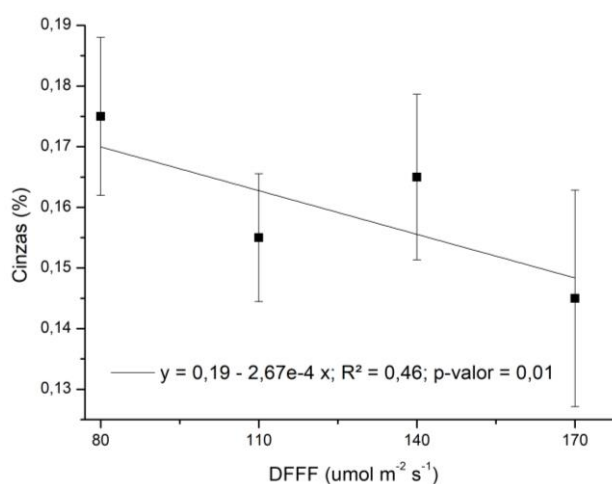


Figura 12. Teores de Cinzas de alface para *baby leaf* produzida em cultivo vertical *indoor* em função da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos.

Por fim, referente aos sólidos solúveis totais, foi possível observar que houve interação significativa entre os genótipos e as DFFFs aplicadas (Figura 13) (Apêndice 6).

Os sólidos solúveis totais é um conteúdo presente nas plantas que podem sofrer alterações de acordo com a cultivar utilizada, mas também com as condições de clima, nutricionais e quantidade de água disponível às plantas (Freire *et al.* 2009). Porém, também já foi observado que o teor de sólidos solúveis totais pode não sofrer diferenciação em função do sistema de cultivo (Fontana *et al.* 2018) e também da radiação luminosa, dizendo que, se a radiação luminosa é alta, pode haver produção mais intensa dos sólidos solúveis (Chitarra; Chitarra, 2005).

No presente trabalho pode ser observado que os genótipos apresentaram comportamentos distintos de acordo com cada uma das DFFFs aplicadas. O genótipo 281-3-2-2 apresentou um comportamento linear decrescente, em que, à medida que aumentava-se as DFFFs aplicadas, ocorria a diminuição do SST. Enquanto que, os genótipos 204-1-1-1 e o 293-6-1-1 apresentaram comportamento polinomial, onde o genótipo 204-1-1-1 apresentou valores maiores e semelhantes na primeira ($80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e na última ($170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) DFFF aplicada e nas DFFFs intermediárias (110 e $140 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) apresentou valores menores, já o genótipo 293-6-1-1 apesar de apresentar um comportamento semelhante ao genótipo 204-1-1-1, este apresentou maior valor de SST quando na DFFF de $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

No trabalho desenvolvido por Alrajhi *et al.* (2023), onde foi avaliado duas variedades de alface (“Carmoli” alface de coloração verde e “Loccarno” alface de coloração vermelha), que foram cultivadas em sistema de cultivo *indoor* com DFFF de $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, onde os tratamentos corresponderam a diferentes espectro de luz, sendo esses luz vermelho e azul na mesma proporção, luz branca, luz vermelha e azul na mesma proporção, luz azul, vermelha, verde e vermelho distante na mesma proporção, luz branca e UV e a última luz, vermelho com azul na mesma proporção. Ao final das análises, foi observado que os sólidos solúveis sofreram alteração de acordo com os tratamentos de luz, as variedades de alface e a interação entre elas, onde para a alface de coloração verde a luz com a combinação das cores de luz branca e a luz UV foi a que trouxe os maiores níveis de sólidos solúveis, enquanto que, para a alface de coloração vermelha a luz somente branca, trouxe maiores teores de sólidos solúveis.

Dessa forma, comparado o presente trabalho com o trabalho de Alrajhi *et al.* (2023), apesar de ter analisado diferentes condições de luz, é possível inferir que em ambos a luz tem um impacto direto na produção de sólidos solúveis na alface e que a resposta dos genótipos de alface é diferente em cada condição luminosa. Indicando que, tanto o fator genético como as condições de luminosidade possuem um impacto significativo no teor de sólidos solúveis totais da alface.

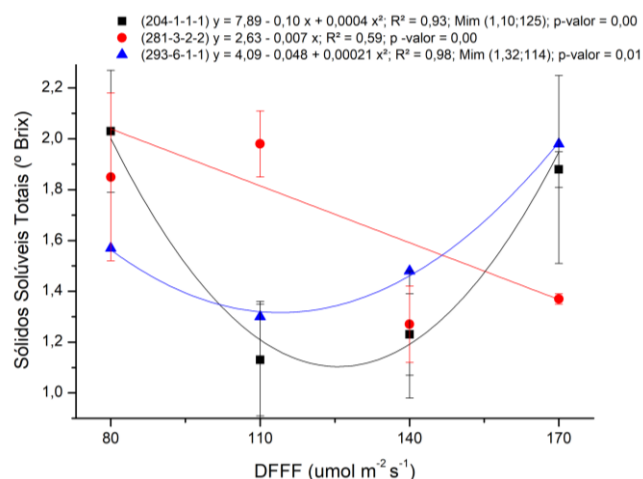


Figura 13. Teores de Sólidos Solúveis Totais de alface para *baby leaf* produzida em cultivo vertical *indoor* em função da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos.

Conforme exposto e de acordo com o que já foi relatado na literatura, a composição química das folhas de alface é variável, podendo sofrer influência de diversas questões, tais como os fatores genéticos, condições de cultivo, como sistema de produção, tipo e propriedades físicas do solo, data de plantio, temperatura, período de crescimento, nutrição e dentre outros fatores (Freire *et al.* (2009); Machado *et al.* (2003). Referente a todos os compostos que foram observados na análise físico-química, pode-se dizer que a melhor DFFFs para os genótipos trabalhados seria a de 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

5.2.2 Avaliação sensorial

De acordo com avaliação sensorial dos genótipos (Tabela 6), verificou-se que quanto a cor, o 204-1-1-1 não apresentou diferença significativa entre as DFFFs aplicadas, enquanto que, 293-6-1-1 e 281-3-2-2 apresentaram diferença, onde ambos apresentaram a cor mais escura na DFFF de 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ pois apresentaram maiores valores de somatória de ordenação (112 e 117, respectivamente).

Quanto a coloração verde, ao analisar o parâmetro a^* da cor instrumental, foi observado que todos os genótipos apresentaram coloração verde, devido os valores negativos de a^* . Ao mesmo tempo, correlacionado com o parâmetro hue, que nas análises apesar de não apresentarem diferença significativa entre as DFFFs, todos os valores obtidos indicam coloração esverdeada. De forma visual os avaliadores demonstraram haver diferença na tonalidade do verde para os genótipos 293-6-1-1 e

281-3-2-2, assim como nos valores de ΔE também foi possível observar diferença visível de cor entre as DFFF, principalmente quando comparada a primeira e a última DFFF ($80 - 170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e quando feita a comparação entre as maiores DFFF ($140 - 170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concordando com as análises sensoriais dos avaliadores. Em ambos os genótipos, o verde menos intenso foi observado na menor DFFF ($80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e o mais escuro na maior DFFF ($170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), assim, pela análise sensorial foi possível observar que há diferença de coloração de acordo com o fornecimento de uma maior DFFF.

Para a análise referente ao brilho, o genótipo 293-6-1-1 não apresentou diferença significativa entre as DFFFs aplicadas, já os 204-1-1-1 e 281-3-2-2 apresentaram diferenças: o 204-1-1-1 apresentou maior brilho nas DFFFs de 140 e $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, já o 281-3-2-2 apresentou o maior brilho na DFFF de $140 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Na análise da cor instrumental do parâmetro L^* (representa a luminosidade), indicando se as plantas apresentaram verde mais claro ou mais escuro, foi observado que não houve diferença significativa entre as DFFFs aplicadas, porém ao observar a análise sensorial do brilho e associando o mesmo ao parâmetro L^* , os avaliadores perceberam um maior brilho e uma coloração mais escura do verde nestes genótipos quando expostos às maiores DFFFs (140 e $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Ao mesmo tempo, na maior DFFF aplicada ($170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) obteve-se o menor valor de L^* (58,7), independente do genótipo, mesmo não havendo diferença significativa para as demais DFFFs. Devido a esse valor mais baixo, é possível indicar que, nessa condição de luz, as plantas apresentaram coloração de verde mais escuro, concordando com a análise sensorial em que os avaliadores verificaram que o maior brilho e o verde mais escuro esteve presente nos genótipos expostos a maior DFFF ($170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Para a preferência visual, todos os genótipos apresentaram diferença entre as DFFFs aplicadas. Sendo interessante observar que, os três genótipos apresentaram menores valores de preferência na menor DFFF ($80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), e ao mesmo tempo, apresentaram os maiores valores de preferência na maior DFFF ($170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 6). O teste de preferência, dentre as etapas da análise sensorial, pode ser considerado o mais importante, pois representa a somatória de todas as percepções sensoriais, julgadas por parte do consumidor (Dutcosky, 2019). Ao observar que em todos os genótipos, a preferência pelos consumidores foi quando cultivados na maior DFFF, indicando que essa condição trouxe características visuais que foram mais

atrativas aos olhos do consumidor, demonstrando como as características sensoriais visuais influenciam na escolha do consumidor no momento da compra do alimento.

Apesar de não haver diferença estatísticas entre as DFFFs para os parâmetros da cor instrumental, foi possível observar que na maior DFFF ($170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) obteve-se o valor mais negativo de a^* (-7,7), o maior valor de b^* (34,6), o menor valor de L^* (58,7), maior valor de C^* (35,4^o) e maior valor de hue (101,5^o), indicando assim, que a preferência dos consumidores corroboram com os valores obtidos com a análise instrumental, pois de acordo com esses valores é possível observar que, independentemente do genótipo, na maior DFFF as plantas apresentaram verde escuro, maior cromaticidade e mais intenso, sendo essa coloração a mais atrativa aos olhos dos consumidores, haja visto a preferência dos avaliadores.

Lin *et al.* (2013) avaliaram alface Lisa de Boston em sistema de cultivo *indoor* em DFFF de $210 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com três lâmpadas distintas: luz de LEDs vermelho e azul, luz de LED vermelho, azul e branco e lâmpadas fluorescentes. Na análise sensorial do trabalho destes autores para cor, crocância e doçura, foi determinado a preferência dos consumidores com uma escala de 0-6 (6 indicava “gostei extremamente”, 3 “nem gostei e nem desgostei” e 0 “desgostei extremamente”). As plantas que foram tratadas sob a luz de LED vermelho, azul e branca apresentaram as maiores notas de 5 a 5,5, enquanto a das lâmpadas fluorescentes apresentaram os níveis mais baixos. Independentemente das cores ou tipo da lâmpada, a DFFF utilizado no trabalho de Lin *et al.* (2013) foi superior ao utilizado no presente experimento, e as notas para coloração foram no valor máximo da escala, ao mesmo tempo, no presente experimento foi possível observar que na DFFF de $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, obteve-se os maiores valores para a coloração independente do genótipo, indicando assim, que a DFFF pode ter influência na coloração das alfaces. Além de indicar que a preferência do consumidor é para aqueles materiais que foram conduzidos na maior DFFF.

Tabela 6. Análise sensorial para observação de cor, brilho e preferência dos avaliados para comparação entre as densidades de fluxo de fótons fotossintéticos (80, 110, 140 e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para cada genótipo individualmente.

Genótipos	Características	DFFF ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			
		80	110	140	170
204-1-1-1	Cor	80a	75a	83a	102a
	Brilho	57a	85b	99b	99b
	Preferência	52a	91b	98b	99b
293-6-1-1	Cor	45a	78b	105c	112c
	Brilho	75a	80a	87a	98a
	Preferência	58a	77ab	94bc	111c
281-3-2-2	Cor	53a	77ab	93bc	117c
	Brilho	67a	79ab	100b	94ab
	Preferência	57a	84ab	95b	104b

Médias iguais seguidas na horizontal não diferem entre si ($p \leq 0,05$) pelo teste de Friedman, 4 tratamentos; 34 avaliadores, diferença entre as somatórias maior ou = 28.

4.3 Considerações finais

Para o primeiro experimento, onde se analisou maior número de genótipos, foi possível observar o quanto o fator genético influenciou na apresentação das características, podendo, por meio dos resultados, identificar os melhores e piores genótipos de acordo com cada característica observada.

Já na segunda etapa do experimento, o comportamento similar de alguns genótipos quanto às características analisadas na mesma DFFF pode ser um facilitador do processo produtivo, dando ao produtor a possibilidade de oferecer genótipos de diferentes tipologias em uma mesma condição de produção, garantindo adequado desenvolvimento e qualidade para todas. Sobre a DFFF foi possível observar a grande influência que a mesma tem na expressão das características de desenvolvimento e qualidade dos genótipos de alface.

Para a maioria das características que foram analisadas, foi possível observar um comportamento linear ou polinomial crescente a medida em que aumentava a DFFF aplicada, sugerindo a possibilidade de um aumento de algumas características avaliadas caso houvesse maiores DFFF. Contudo outros trabalhos relatam que o

aumento excessivo da DFFF pode provocar distúrbios fisiológicos nas plantas. Futuros trabalhos poderia utilizar os mesmos genótipos em condições de maiores DFFF, a fim de observar as características dos mesmos para averiguar a possibilidade de outras DFFFs que possam trazer melhor desenvolvimento e qualidade desses genótipos de alface.

5 CONCLUSÃO

Houve interação entre genótipos e a DFFF, e o tanto o fator genético como as DFFFs influenciam na expressão das características na planta, com destaque para os genótipos 281-3-2-2, 293-6-1-1 e 204-1-1-1, que apresentaram características adequadas para cultivo *indoor* como *baby leaf*. A DFFF de $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ foi a que mais contribuiu para melhores características agronômicas, físico-químicas e sensoriais.

6 LITERATURA CITADA

ABEDI, M.; TAN, X.; STALLKNECHT, E. J.; RUNKLE, E. S.; KLAUSNER, J. F.; MURILLO, M. S.; BÉRNARD, A. Incorporating the effect of the photon spectrum on biomass accumulation of lettuce using a dynamic growth model. **Frontiers in Plant Science: Sec. Crop and Product Physiology**, [s. l.], v. 14, p. 1-18, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1106576>

ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Agricultural Development Economics Division, ESA Working paper No. 12-03, Roma, jul. 2012.

ALRAJHI, A. A.; ALSAHLI, A. S.; ALHELAL, I. M.; RIHAN, H. Z.; FULLER, M. P.; ALSADON, A. A.; IBRAHIM, A. A. The effect of LED light spectra on the growth, yield and nutritional value of red and green lettuce (*Lactuca sativa*). **Plants**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 463, jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12030463>

AMATO-LOURENÇO, L. F.; BURALLI, R. J.; RANIERI, G. R.; HEARN, A. H.; WILLIAMS, C.; MAUAD, T. Building knowledge in urban agriculture: the challenges of local food production in São Paulo and Melbourne. **Environment, Development and Sustainability**, [s. l.], v. 23, n. 2, p. 2785-2796, fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00636-x>

AMARANTE, C. V. R.; STEFFENS, C. A.; ZANARDI, O. Z.; ALVES, E. O. Quantificação de clorofilas em folhas de macieiras “Royal gala” e “Fuji” com métodos ópticos não-destrutivos, **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 590-595, 2008.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists - **Official Methods of Analysis of the AOAC**. 15.ed. Washington, 1990.

BARBIERI, F.; BARBI, S.; BERTACCHINI, A.; MONTORSI, M. Combined effects of different LED light recipes and slow-release fertilizers on babyleaf lettuce growth for vertical farming: modeling through DoE. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 13, n. 15, p. 8687, jul. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13158687>

BOURGET, C. M. An introduction to light-emitting diodes. **HortScience**, [s. l.], v. 43, n. 7, p. 1944-1946, dec. 2008. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1944>

BIAN, Z.; CHENG, R.; WANG, Y.; TANG, Q.; LU, C. Effect of green light on nitrate reduction and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.) under short-term continuous light from red and blue light-emitting diodes. **Environmental and Experimental Botany**, [s. l.], v. 153, p. 63-71, set. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.05.010>

BIAN, Z.; JIANG, N.; GRUNDY, S.; LU, C. Uncovering LED light effects on plant growth: new angles and perspectives - LED light for improving plant growth, nutrition and energy-use efficiency. **Acta Horticulturae**, [s. l.], v. 1227, p. 491 - 498, nov. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1227.62>

BIRLANGA, V.; ACOSTA-MOTOS, J. R.; PÉREZ-PÉRES, J. M. Genotype-dependent tipburn severity during lettuce hydroponic culture is associated with altered nutrient leaf content. **Agronomy**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 616, mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11040616>

BENKE, K.; TOMKINS, B. Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture, **Sustainability: Science, Practice and Policy**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 13-26, nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/15487733.2017.1394054>

BRAZAITYTE, A.; SAKALAUSKIENE, S.; SAMUOLIENE, G.; JANKAUSKIENE, J.; VIRSILE, A.; NOVICKOVAS, A.; SIRTAUTAS, R.; MILIAUSKIENE, J.; VASTAKAITE, V.; DABASINSKAS, L.; DUCHOVSKIS, P. The effects of LED illumination spectra and intensity on carotenoid content in Brassicaceae microgreens. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 173, p. 600-606, abr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.077>

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 4.ed.,2008.

BROUGHAM, R. K. The relationship between the critical leaf area, total chlorophyll content, and maximum growth-rate of some pasture and crop plants. **Annals of Botany: New Series**, [s. l.], v. 24, n. 96, p. 463– 474, out. 1960.

CALORI, A. H.; MORAES, L. A. S.; PURQUERIO, L. F. V.; FACTOR, T. L.; JUNIOR, S. L.; TIVELLI, S. W. Electric conductivity and space between plants on baby leaf production in NFT hydroponic system inside greenhouse. **Acta Horticulturae**, [s. l.], v. 1107, p. 303-310, dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1107.42>

CALORI, A. H.; PURQUERIO, L. F. V.; FACTOR, T. L. LIMA, S. J. Características potenciais do mercado de “baby leaf” em Mococa SP. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 29, n. 2, 2011.

CAVALCANTE, R. C. **Efeito de diferentes luminárias LED na fotossíntese de alface cultivada em ambiente controlado**. 2022. 68f. Dissertação (Mestrado em Olericultura) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia goiano, Maranhão, 2022.

CAMMARIASANO, L.; KORNER, O. Response of cyanic and acyanic Lettuce Cultivars to an increased proportion of blue light. **Biology**, [s. l.], v. 11, n. 7, p. 959, jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology11070959>

CARVALHO, R. F.; TAKAKI, M.; AZEVEDO, R. A. Plant pigments: the many faces of light perception. **Acta Physiologiae Plantarum**, [s. l.], v. 33, v. 2, p. 241–248, mar. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0533-7>

CHITARRA M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed., Lavras, Minas Gerais: Universidade Federal de Lavras, 2005, 783 p., 26 cm.

COVRE, E. A.; BORBA, K. R.; FERREIRA, M. D.; SPOTO, M. H. F.; SALA, F. C. BERNARDI, M. R. V. Physical-chemical and sensory characteristics of Brunela lettuce. **Revista Agrarian**, [s. l.], v. 13, n. 48, p. 265-272, 2019.

DALASTRA, G. M.; HECHMANN, T. L.; ECHER, M. M.; GUIMARÃES, V. F.; FIAMETTI, M. S. Características produtivas de cultivares de alface mimosa, conduzida sob diferentes níveis de sombreamento, no inverno. **Scientia Agraria Paranaensis**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 15-19, mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.18188/sap.v15i1.10360>

DESPOMMIER, D. The vertical farm: controlled environment agriculture carried out in tall buildings would create greater food safety and security for large urban populations. **Journal Für Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 233-236, jun. 2010. DOI: [10.1007/s00003-010-0654-3](https://doi.org/10.1007/s00003-010-0654-3)

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 5. ed. Curitiba: PUCPRESS, 2019. 540 p., 23 cm. (Coleção exatas, v. 4).

Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. Database on Arable Land, 2018.

FONTANA, L.; ROSSI, C. A.; HUBINGER, S. Z.; FERREIRA, M. D.; SPOTO, M. H.; SALA, F. C.; VERRUMA-BERNARDI, M.R. Physico chemical characterization and sensory evaluation of lettuce cultivated in three growing systems. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 20-26, jan./mar. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620180104>

FRANÇA, M. T. A. DE; LUCHESE, A. V.; FILHO, P. L. P.; SCHUTZ, F. C. A. Efeitos provenientes da aplicação de iluminação LED em um modelo de plantio vertical para cultivo de alface crespa. **SciELO Preprints**, [s. l.], n. 10, p. 1590, ago. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.3691> Disponível em: <https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprints/view/3691/6893>. Acesso em: 07 jul. 2023.

FREIRE, A. G.; OLIVEIRA, F. A.; CARRILHO, M. J. S. O.; OLIVEIRA, M. K. T.; FREITAS, D. C. Qualidade de cultivares de alface produzida em condições salinas. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 4, p. 81-88, out./dez. 2009. ISSN 1983-2125

FREITAS, I. S. DE. **Suplementação luminosa com lâmpadas LED na produção de micro verdes em ambiente protegido**. 2020. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa, Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa. 2013. 412 p.

FURLANI P. R.; SILVEIRA L. C. P.; BOLONHEZI D.; FAQUIN V. Cultivo hidropônico de plantas, **Boletim técnico 180**, Instituto Agrônomo, Campinas, 1999, 52 p.

FU, Y.; LI, H. Y.; YU J.; LIU, H.; CAO, Z. Y.; MANUKOVSKY, N. S.; LIU, H. Interaction effects of light intensity and nitrogen concentration on growth, photosynthetic characteristics and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L. Var. youmaicai). **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 214, p. 51-57, jan. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.020>

FU, W., LI, P., WU, Y. Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce. **Scientia Horticulturae**, v. 135, p. 45–51, fev. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.12.004>

GARCIA, G. A. **Análise sensorial e instrumental de linhagens de alface vanda em diferentes tipos de cultivo**. 2023. 52f. Trabalho final de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2023.

GEROVAC, J. R.; CRAVER, J. K.; BOLDT, J. K.; LOPEZ, R. G. Light intensity and quality from sole-source light-emitting diodes impact growth, morphology, and nutrient content of brassica microgreens. **HortScience**, [s. l.], v. 51, n. 5, p. 497–503, mai. 2016. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.5.497>

GENT, M. P. Effect of daily light integral on composition of hydroponic lettuce. **HortScience**, [s. l.], v. 49, n. 2, p. 173-179, fev. 2014. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.2.173>

HASAN, M. M.; BASHIR, T.; GHOSH, R.; LEE, S. K.; BAE, H. An overview of LEDs' effects on the production of bioactive compounds and crop quality. **Molecules**, [s. l.], v. 22, n. 9, p. 1420, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules22091420>

HE, D.; KOZAI, T.; NIU, G.; ZHANG, X. Light-emitting diodes for horticulture: materials, processes, devices and applications. *In*: He, D.; Kozai, T.; Niu, G.; Zhang, X. Chapter 14: Light-Emitting diodes for horticulture. **Light-Emitting Diodes**, China: Dongxian He, 2019, 513-547 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-99211-2_14

HUNTER, R. S. Photoelectric tristimulus colorimetry with three filters. **Circular of the National Bureau of Standards C429**: National Institute of Standards and Technology, Washington, jul. 1942.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo Agropecuário 2020. Rio de Janeiro: IBGE. 2020. Disponível em: <<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>>. Acesso em: 07 jul. 2023.

ISO. International Organization for Standardization. ISO 8597: Sensory analysis. Methodology ranking. Geneva: ISO copyright office, p. 26, 2006.

JEONG H. K.; SUGUMARAN, K. K.; SARAH L. S. A.; JEONG B. R.; SEUNG J. H. Intensidade de luz e fotoperíodo influenciam o crescimento e desenvolvimento de alface cultivada hidroponicamente em um sistema de fábrica de planta fechada. **Hort. Ambiente. Biotecnologia**, [s. l.], v. 54, n. 6, p. 501–509, 2013.

KELLY, N.; CHOE, D.; MENG, Q.; RUNKLE, E. S. Promotion of lettuce growth under an increasing daily light integral depends on the combination of the photosynthetic photon flux density and photoperiod. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 272, out. 2020. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109565

KITAYA, Y.; NIU, G.; KOZAI, T.; OHASHI, M. Photosynthetic photon flux, photoperiod, and CO₂ concentration affect growth and morphology of lettuce plug transplants. **HortScience**, [s. l.], v. 33, n. 6, p. 988-999, out. 1998. DOI: 10.21273/HORTSCI.33.6.988

KWACK, Y.; KIM, D. S.; CHUN, C. Growth and quality of baby leaf vegetables hydroponically grown in plant factory as affected by composition of nutrient solution. **Protected Horticulture and Plant Factory**, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 271-274, 2015. DOI: 10.12791/KSBEC.2015.24.4.271

KOZAI, T. Current status of plant factories with artificial lighting (PFALs) and smart PFALs. **Smart Plant Factory**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 3-13, jan. 2018. DOI: 10.1007/978-981-13-1065-2_1

KOZAI, T.; NIU, G.; TAKAGAKI, M. Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production. **Academic Press**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 423, out. 2019.

KOPSELL, D. A.; SAMS, C. E.; BARICKMAN, T. C.; MORROW, R. C. Sprouting broccoli accumulate concentrations of nutritionally important metabolites under narrow-band light-emitting diode lighting. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, [s. l.], v. 139, n. 4, p. 469–477, jan. 2014. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.139.4.469>

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes, **Methods in Enzymology**, [s. l.], v. 148, p. 350-382, jan. 1987. DOI: [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)

- LIMA, F. M. DE. **Densidade de fótons e semeadura para produção indoor de microverdes**. 2022. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Agronômico Programa de Pós-Graduação, Campinas, 2022.
- LIN, K. H.; HUANG, M. Y.; HUANG, W. D.; HSU, M. H.; YANG, Z. W.; YANG, C. M. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 150, p. 86-91, fev. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002>
- LEE, J. G., OH, S. S., CHA, S. H., JANG, Y. A., KIM, S. Y., UM, Y. C., CHEONG, S. R. Effects of red/blue light ratio and short-term light quality conversion on growth and anthocyanin contents of baby leaf lettuce. **Journal of Bio-Environment Control**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 351-359, 2010.
- LOCONSOLE, D.; COCETTA, G.; SANTORO, P.; FERRANTE, A. Optimization of LED lighting and quality evaluation of romaine lettuce grown in an innovative indoor cultivation system. **Sustainability**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 841, fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11030841>
- MACHADO, C. M. M.; CARVALHO, P. G. B.; VIEIRA, J. V.; SILVA, J. B. C. Influência do espaçamento na quantidade de açúcares e sólidos solúveis totais em cenoura. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 21, 2003.
- MASSA, G. D., KIM, H. H., WHEELER, R. M., MITCHELL C. A. Plant productivity in response to LED lighthing. **HortScience horts**, [s. l.], v. 43, n. 7, p. 1951-1956, 2008. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951>
- MATYSIAK, B.; ROPELEWSKA, E.; WRZODAK, A.; KOWALSKI, A.; KANISZEWSKI, S. Yield and quality of romaine lettuce at different daily light integral in an indoor controlled environment. **Agronomy**, [s. l.], v. 12, n. 5, p. 1026, abr. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12051026>
- MATYSIAK, B.; KANISZEWSKI, S.; MIESZCZAKOWSKA-FRAC, M. Growth and quality of leaf and romaine lettuce grown on a vertical farm in an aquaponics system: results of farm research. **Agriculture**, [s. l.], v. 13, n. 4, P. 897, abr. 2023. DOI: <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/4/897>
- MARTIN, M.; MOLIN, E. Environmental Assessment of an Urban Vertical Hydroponic Farming System in Sweden. **Sustainability**, [s. l.], v. 11, n. 15, p. 4124, jul. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11154124>
- MCGUIRRE, R.G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, [s. l.], v.27, n.12, p. 1254-1260, 1992.
- MENG, Q.; RUNKLE, E. S. Growth Responses of Red-Leaf Lettuce to Temporal Spectral Changes. **Frontiers in Plant Science: Sec. Crop and product physiology**, [s. l.], v. 11, p. 571-788, out. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.571788>
- MENG, Q.; RUNKLE, E. S. Blue photons from broad-spectrum LEDs control growth, morphology and colotation of indoor hydroponic red-leaf lettuce. **Plants**, [s. l.], v. 12, n. 5, p. 1127, mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12051127>
- MENEZES, E. M. S.; FERNANDES, E. C.; SABAA--SRUR, A. U. O. Folhas de alface lisa (*Lactuca sativa*) minimamente processadas armazenadas em atmosfera modificada:

análises físicas, químicas e físico-químicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.1, p. 60-62, jan-mar. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000100010>

MITCHELL, C.; BOTH, A. J.; BOURGET, C. M.; BURR, J. F. LEDs: The Future of Greenhouse Lighting! **Chronica Horticulturae**, [s. l.], v. 52, n. 1, p. 6-12, jan. 2012.

MORROW, R. C. LED lighting in horticulture. **HortScience horts**, [s. l.], v. 43, n. 7, p. 1947-1950, dez. 2008. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1947>

MOE, R.; GRIMSTAD, S. O.; GISLEROD, H. R. The use of artificial light in year-round production of greenhouse crops in Norway. **Acta Horticulturae**, [s. l.], v. 711, p. 35-42, 2006. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.711.2>

MORAIS, P. L. D.; DIAS, N. S.; ALMEIDA, M. L. B.; SARMENTO, J. D. A.; NETO, O. N. S. Qualidade pós-colheita da alface hidropônica em ambiente protegido sob malhas termorefloras e negra. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 5, p. 638-644, out. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000500015>

NEWELL, G. J.; MACFARLANE, J. D. Expanded tables for multiple comparison procedures in the analysis of ranked data. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 52, n. 6, p. 1721-1725, ago. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb05913.x>

NGUYEN, T. K. L.; CHO, K. M.; LEE, H. Y.; CHO, D. Y.; LEE, G. O.; JANG, S. N.; LEE, Y.; KIM, D.; KI-HO, F. Effects of White Led lighting with specific shorter blue and/or green wavelength on the growth and quality of two Lettuce cultivars in a vertical Farming System. **Agronomy**, [s. l.], v.11, n.11, p. 2111, out. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11112111>

United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Population Division World Population Prospects 2019: Online Edition. 1. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/> Acesso em: 06 de julho de 2023.

OTONI, B. DA S.; MOTA, W. F. DA.; BELFORT, G. R.; SILVA, A. R. S.; VIEIRA, J. C. B.; ROCHA, L. DE S. Produção de híbridos de tomateiro cultivados sob diferentes porcentagens de sombreamento. **Revista Ceres**, Viçosa, v.59, n.6, p. 816-825, dez. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000600012>

PATTISON, P. M., BRAINARD, G. C.; BUGBEE, B. LEDs for photons, physiology and food. **Nature**, [s. l.], v. 563, n. 7732, p. 493–500, nov. 2018. DOI: [10.1038/s41586-018-0706-x](https://doi.org/10.1038/s41586-018-0706-x).

PAUCEK, I.; APPOLLONI, E.; PENNISI, G.; QUAINI, S.; GIANQUINTO, G.; ORSINI, F. Led lighting systems for horticulture: business growth and global distribution. **Sustainability**, [s. l.], v. 12, n. 18, p. 7516, set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12187516>

PURQUERIO, L. F. V.; CALORI, A. H.; MORAES, L. A. S.; FACTOR, T. L.; TIVELLI, S. W. Produção de baby leaf em bandejas utilizadas para produção de mudas e em hidroponia NFT. In: Nascimento, W. M.; Pereira, R. B. **Produção de mudas de hortaliças**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2016. 308 p. ISBN: 978-85-7035-579-9.

PURQUERIO, L. F. V.; MELO, P. C. T. Hortaliças pequenas e saborosas. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 29, n. 1, p. 1, 2011.

PURQUERIO, L. F. V.; MORAES, C. C.; FACTOR, T. L.; CALORI, A. H. Bioeconomia: Promoção da horticultura urbana do século XXI. **O Agrônomo**: Boletim Técnico-Informativo do Instituto Agrônomo, Campinas, v. 70, p. 6-18, abr. 2018. ISSN 0365-2726.

PINTO, S. F. **Caracterização físico-química e microbiológica de alface em dois sistemas de cultivo, armazenada sob refrigeração**. 2016. 44f. Trabalho de conclusão de curso (Tecnologia em Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2016.

RADIN, B.; BERGAMASCHI, H.; JUNIOR, C. R.; BARNI, N. A.; MATZENAUER, R.; DIDONÉ, I. A. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 38, n.9, p. 1017-1023, set. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000900001>

SALA, F. C.; COSTA, C. P. "GLORIOSA": Cultivar de alface americana tropicalizada. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 26, n. 3, p. 409-410, set. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362008000300024>

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 30, n. 2, p. 187-194, abri./jun. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000200002>

SANTOS, D. S.; PEREIRA, M. C.; RODRIGUES, E. S.; RODRIGUES, A. C. F.; ALVES, T. L.; SOUSA, E. P. Estudos físico-químicos da alface cultivada sob diferentes condições de sombreamento. **Revista semiárido de visu**, Pernambuco, v. 4, n. 3, 2016.

SILVA, L. M.; CRUZ, L. P.; PACHECO, V. S.; MACHADO, E. C.; PURQUERIO, L. F. V.; RIBEIRO, R. V. Energetic efficiency of biomass production is affected by photoperiod in indoor lettuce cultivation. **Theoretical and experimental plant physiology**, [s. l.], v. 34, n. 2, p. 265-279, jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40626-022-00246-0>

SILVA, C. R. **Dissimilaridade genética para características agrônômicas em híbridos de alfaves biofortificadas**. 2023. 19 f. Trabalho de conclusão de curso (Grauação em Agronomia) –Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo: Minas Gerais, 2023.

SHAMSHIRI, R. R.; KALANTARI, F.; TING, K. C.; THORP, K. R.; HAMEED, I. A.; WELTZIEN, C.; AHMAD, D.; SHAD, Z. M. Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. **International Journal of Agricultural and Biological engineering**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 1-22, jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.25165/ij.ijabe.20181101.3210>

SHIN, Y. K.; BHANDARI, S. R.; JO, J. S.; SONG, J. W.; LEE, J. G. Effect of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, phytochemical contents, and antioxidant activities in lettuce seedlings. **Horticulturae**, [s. l.], v. 7, n. 8, p. 238, ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7080238>

SHI, M.; GU, J.; WU, H.; RAUF, A.; EMARAN, T. B.; KHAN, Z.; MITRA, S.; ALJOHANI, A. S. M.; ALHUMAYDHI, F. A.; AL-AWTHAN, Y. S.; BAHATTAB, O.; THIRUVENGADAM, M.; SULERIA, H. A. R. Phytochemicals, nutrition, metabolismo, bioavailability, and Health benefits in lettuce – a comprehensive review. **Antioxidantes**, [s. l.], v. 11, n. 6, p. 1158, jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox11061158>

SON, K.; OH, M. Leaf shape, growth, and antioxidante phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes. **HortScience horts**, [s. l.], v. 48, n. 8, p. 988-995, ago. 2013. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.8.988>

Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - TACO. 4. ed. Campinas, SP:UNICAMP/NEPA, 2011.

TARR, S. T.; SOUZA, S. V. LOPEZ, R. G. Influence of day and night temperature and radiation intensity on growth, quality and economics of indoor Green butterhead and red oakleaf lettuce production. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 829, jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15010829>

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TIBIRIÇA, A. C. G.; BRITO, A. A. A. DE; BAETA, F. C. Produção de alface no verão: estufas como ambiente de cultivo. In: **XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Florianópolis, p. 418-425, nov. 2004.

VASTAKAITĖ, V.; VIRSILE, A. Light-emitting diodes (LEDs) for higher nutritional quality of Brassicaceae microgreens. **Research for Rural Development**, [s. l.], v. 1, p. 111–117, mai. 2015.

VIEIRA, H. D. M. **Caracterização de genótipos de alface e estimativas de parâmetros genéticos para pigmentos foliares**, 2021. 77 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2021.

YEH, N.; CHUNG, J. P. High-brightness LEDs—Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 13, n. 8, p. 2175-2180, out. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.01.027>

YIDA, L. S. **Fazenda urbana vertical indoor**. 2021. 33 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

YAN, Z.; HE, D.; NIU, G.; ZHOU, Q.; QU, Y. Growth, nutritional quality, and energy use efficiency of hydroponic lettuce as influenced by daily light integrals exposed to white versus white plus red light-emitting diodes. **HortScience**, [s. l.], v. 54, n. 10, p. 1737-1744, out. 2019. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14236-19>

YANAGI, T.; OKAMOTO, K.; TAKITA, S. Effects of blue, red, and blue/red lights of two different PPF levels on growth and morphogenesis of lettuce plants. **Acta Horticulturae**, [s. l.], v. 440, p. 117-122, dez. 1996. DOI: <https://doi.org/10.17660/actahortic.1996.440.21>

ZANG, X.; HE, D.; NIU, G.; YAN, Z.; SONG, J. Effects of environment lighting on the growth, photosynthesis, and quality of hydroponic lettuce in a plant factory. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, [s. l.], v.11, n. 2, p. 33-40, 2018. DOI: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181102.3420>

ZIVCAK, M.; BRESTIC, M.; OLSOVSKA, K.; SLAMKA, P. Performance index as a sensitive indicator of water stress in *Triticum aestivum* IL. **Plant, soil and environment**, v. 54, n. 4, p. 133-139, abr. 2008. DOI: <https://doi.org/10.17221/392-PSE>

APÊNDICE

Apêndice 1. Ficha utilizada para análise sensorial das alfaces, individual para cada genótipo em cada densidade de fluxo de fótons fotossintéticos.

Idade: _____ Sexo: _____ atividade: _____
Qual a frequência de compra de alface? _____

1. Por favor, olhe as ALFACES e ordene em ordem crescente a **COR do mais claro para o mais escuro.**

--	--	--	--	--

+ claro + escuro

2. Por favor, olhe as ALFACES e ordene em ordem crescente ao **BRILHO.**

--	--	--	--	--

- brilho + brilho

2. Agora ordene as ALFACES em ordem crescente a sua **PREFERÊNCIA DE COR E BRILHO.**

--	--	--	--	--

Menos gostei mais gostei

Apêndice 2 - Análise de variância para a altura do dossel (ALTD), número de folhas (NF), comprimento do hipocótilo (COMHIP), massa de matéria fresca (MF), massa de matéria seca (MS) e produtividade (PRODUT) em função da DFFF 80, 110, 140 e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e dos 12 genótipos de alface.

Causa de variação	GL	Quadrados médios				
		ALTD	NF	MF	MS	PRODUT
Bloco	2	6,25	0,64	1,47	0,03	1,82
DFFF	3	46,4 ^{ns}	12,6*	73,4*	3,36*	90,7*
Resíduo 1	6	21,1	0,16	0,51	0,02	0,62
Genótipos	11	34,3 *	1,19*	2,27*	0,17*	2,81*
DFFF * Genótipos	33	3,77 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,78*	0,058*	0,97*
Resíduo 2	88	3,51	0,32	0,40	0,029	0,51
CV (1)		22,9	9,17	23,8	29,1	23,8
CV (2)		9,3	13,06	21,2	32,1	21,3
Média		20,1	4,38	2,99	0,53	3,32

* Significativo ou ^{ns} não significativo, a 5% de probabilidade pelo teste F.

Apêndice 3 - Resultado da análise de variância para a cor instrumental (a^* , b^* , L^* , C^* , hue) em função da DFFF 80, 110, 140 e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e dos genótipos de alface.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios				
		a^*	b^*	L^*	C^*	hue
Bloco	2	0,17	10,9	0,06	9,09	7,88
DFFF	3	0,68 ^{ns}	15,8 ^{ns}	9,92*	13,07 ^{ns}	8,24*
Resíduo 1	6	1,69	10,4	2,15	11,51	1,62
Genótipos	11	4,08*	86,5*	111,2 *	74,37*	51,05*
DFFF * Genótipos	33	1,59 ^{ns}	6,7 ^{ns}	7,7 ^{ns}	7,03 ^{ns}	4,13 ^{ns}
Resíduo 2	88	0,86	5,6	6,9	5,33	3,91
CV (1)		10,9	9,6	2,6	9,5	0,79
CV (2)		7,8	7,07	4,6	6,5	1,23
Média		-11,9	33,5	56,2	35,6	160,19

* Significativo ou ^{ns} não significativo, a 5% de probabilidade pelo teste F.

Apêndice 4 - Resultado da análise de variância para a altura do dossel (ALTD), número de folhas (NF), massa de matéria fresca (MF), massa de matéria seca (MS), área foliar (AF) e produtividade (PRODUT) em função das DFFFs 80, 110, 140 e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em 3 genótipos de alface.

Causas de variação	GL	Quadrados Médios					
		ALTD	NF	MF	MS	PRODUT	AF
Bloco	2	4,52	9,53	1,83	0,02	1,22	262,04
DFFF	3	18,82*	34,39*	13,29*	0,02 ^{ns}	8,87*	11548,50*
Resíduo 1	6	1,84	24,67	0,14	0,05	0,09	445,13
Genótipos	2	9,32 ^{ns}	2,05 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,15 ^{ns}	103,01 ^{ns}
DFFF * Genótipos	6	1,83 ^{ns}	15,17 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,47 ^{ns}	336,90 ^{ns}
Resíduo 2	16	2,97	33,61	0,66	0,04	0,44	892,79
CV (1)		7,72	21,95	12,47	78,19	12,48	24,99
CV (2)		9,80	15,69	17,14	68,5	27,28	35,39
Média		17,58	9,24	2,98	0,28	2,44	84,42

* Significativo ou ^{ns} não significativo, a 5% de probabilidade pelo teste F.

Apêndice 5 - Resultado da análise de variância para a cor instrumental (a^* , b^* , L^* , C^* , hue) em função das DFFFs 80, 110, 140 e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e dos genótipos de alface.

Causas de variação	GL	Quadrados médios				
		a^*	b^*	L^*	C^*	hue
Bloco	2	20,26	78,59	2,57	85,21	6,36
DFFF	3	12,42 ^{ns}	8,34 ^{ns}	8,81 ^{ns}	9,96 ^{ns}	6,76 ^{ns}
Resíduo 1	6	9,74	17,52	2,64	17,98	4,99
Genótipos	2	4,35 ^{ns}	10,97 ^{ns}	15,51 ^{ns}	12,10 ^{ns}	2,81 ^{ns}
DFFF * Genótipos	6	7,22 ^{ns}	1,72 ^{ns}	3,94 ^{ns}	1,95 ^{ns}	3,97 ^{ns}
Resíduo 2	16	24,07	5,78	4,25	6,19	4,17
CV (1)		20,53	12,56	2,70	12,50	2,22
CV (2)		19,76	7,22	3,43	7,34	2,03
Média		-6,20	33,33	60,18	33,92	100,43

* Significativo ou ^{ns} não significativo, a 5% de probabilidade pelo teste F.

Apêndice 6 - Resultado da análise de variância da segunda avaliação físico-químicas da clorofila A (CFA), clorofila B (CFB), clorofila total (CFT), carotenóides (CRT), umidade (UM), cinzas (CZ), pH, acidez total titulável (ATT) e sólidos solúveis totais (SST) em função da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos 80, 110, 140 e 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para os diferentes genótipos de alface.

Causas de variação	GL	Quadrados médios								
		CFA	CFB	CFT	CRT	UM	CZ	pH	ATT	SST
Bloco	2	0,01	0,01	0,01	0,00	0,93	0,00	0,00	0,01	0,04
DFFF	3	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,00*	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,47*
Resíduo 1	6	0,00	0,00	0,01	0,00	0,29	0,00	0,01	0,01	0,05
Genótipos	2	0,01*	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00*	0,10 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01*
DFFF * Genótipos	6	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,38*
Resíduo 2	16	0,01	0,00	0,01	0,00	0,38	0,00	0,00	0,01	0,04
CV (1)		5,84	6,65	11,17	7,40	0,56	3,84	1,58	105,01	15,27
CV (2)		6,77	11,21	12,16	7,25	0,61	10	1,29	105,63	12,95
Média		0,42	0,12	0,16	0,15	96,27	0,16	5,99	0,09	1,59

* Significativo ou ^{ns} não significativo, a 5% de probabilidade pelo teste F.