

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA

QUALIDADE DE *Lactuca sativa* L. SOB INTENSIDADES DE
LED SUBMETIDA AO ESTRESSE HÍDRICO E ATIVIDADE
MICORRÍZICA

Autor: Marina Gabriela Marques
Orientadora: Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto

Rio Verde – Goiás
Julho 2024

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO –
CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA

QUALIDADE DE *Lactuca sativa* L. SOB INTENSIDADES DE
LED SUBMETIDA AO ESTRESSE HÍDRICO E ATIVIDADE
MICORRÍZICA

Autor: Marina Gabriela Marques
Orientador: Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto
Coorientador: Prof. Dr. Jadson Belem de Moura

Tese apresentada como parte das exigências para
obtenção do título de DOUTORA EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS - AGRONOMIA, no Programa de
Pós-Graduação em Ciências Agrárias –
Agronomia do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde
– Área de Concentração Produção Vegetal
Sustentável no Cerrado.

Rio Verde – Goiás
Julho 2024

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M357q Marques, Marina Gabriela
Qualidade de *Lactuca sativa* L. sob intensidades de
LED submetida ao estresse hídrico e atividade micorrízica.
/ Marina Gabriela Marques ; orientador Aurélio Rubio
Neto. -- Rio Verde, 2024.
65 f.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias - Agronomia) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2024.

1. *Lactuca sativa* L. 2. Qualidade fisiológica. 3. Estresse
hídrico. 4. Intensidades de LED. 5. Fungos micorrízicos. I.
Rubio Neto, Aurélio, orient. II. Título.

Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 nº2376

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |
| <input type="checkbox"/> Produto técnico e educacional - Tipo: | |

Nome completo do autor:
Marina Gabriela Marques

Matrícula:
202020320140052

Título do trabalho:
QUALIDADE DE *Lactuca sativa* L. SOB INTENSIDADES DE LED SUBMETIDA AO ESTRESSE HÍDRICO E ATIVIDADE MICORRÍZICA

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 10 /06 /2025

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Ipameri

09 /10 /2024

Local

Data

Marina Gabriela Marques

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Arício Rúbio Neto

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 6/2023 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

ATA Nº/129

DEFESA DE QUALIFICAÇÃO DE DOUTORADO

Ata, referente ao exame de qualificação de doutorado do(a) estudante **MARIANA GABRIELA MARQUES** do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, realizada aos três dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e três, às 14:00, por videoconferência. O exame de qualificação constituiu da análise de artigo científico de autoria do(a) doutorando(a) e colaboradores, intitulado “**ABORDAGEM CIENCIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA DE MICROORGANISMOS ASSOCIADOS NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**” cujos resultados foram apresentados em sessão pública pelo(a) estudante. Após análise do documento e arguição do(a) doutorando(a) pelos avaliadores da banca examinadora, definiu-se pela **APROVAÇÃO** do documento e da defesa do(a) doutorando(a). Finalizada a sessão, a presente Ata foi lavrada e, após lida e achada conforme, foi assinada eletronicamente pelos avaliadores da banca examinadora, a saber:

Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto (Presidente)

Prof. Dr. Jadson Belem de Moura

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

Prof. Dr. Sihelio Julio Silva Cruz

Prof. Dr. Edson Luiz Souchie

Documento assinado eletronicamente por:

- Aurelio Rubio Neto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/02/2023 15:31:14.
- Marconi Batista Teixeira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/02/2023 15:36:15.
- Sihelio Julio Silva Cruz, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/02/2023 15:54:19.
- Jadson Belem de Moura, Jadson Belem de Moura - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500), em 03/02/2023 15:59:37.
- Edson Luiz Souchie, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 04/02/2023 08:47:01.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 25/01/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 460644
Código de Autenticação: 0944731239





SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 45/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

QUALIDADE DE LACTUCA *SATIVA* L. SOB INTENSIDADES DE LED SUBMETIDA AO ESTRESSE HÍDRICO E ATIVIDADE MICORRÍZICA

Autora: Marina Gabriela Marques

Orientador: Dr. Aurélio Rubio Neto

TITULAÇÃO: Doutorado em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em, 29 de julho de 2024.

Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto (Presidente)

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Avaliador interno)

Prof. Dr. Anderson Dias Vaz de Souza (Avaliador externo)

Prof. Dr. Jadson Belem de Moura (Avaliador externo)

Prof. Dr. Edson Luiz Souchie (Avaliador interno)

Documento assinado eletronicamente por:

- Edson Luiz Souchie, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 30/07/2024 09:46:14.
- Jadson Belem de Moura, Jadson Belem de Moura - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500), em 30/07/2024 07:07:12.
- Marconi Batista Teixeira, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC0001 - CCMDAGRO-R, em 29/07/2024 17:30:08.
- Anderson Dias Vaz de Souza, Anderson Dias Vaz de Souza - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí (10651417000259), em 29/07/2024 16:39:27.
- Aurelio Rubio Neto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 29/07/2024 16:25:26.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 17/07/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 615034
Código de Autenticação: c846c07401



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

A minha mãe Sandra, que hoje dorme nos braços de um anjo
Meu pai Marcos Valério, pelo seu amor incondicional.
Meu irmão Pedro Gabriel, por nunca me deixar desistir.

DEDICO

À minha família e amigos,
Ao meu meu orientador Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela oportunidade da vida, e por sempre estar ao meu lado segurando firme as minhas mãos.

À minha mãe Sandra, mulher de garra e de inteligência enorme, esta ao qual me inspiro e dedico todo o cuidado de minha vida e do Pedro Gabriel. Você foi quem mais me incentivou nos estudos, e estou aqui hoje por você.

Ao meu pai Marcos Valério, que sempre mostrou o lado bom da vida, o amor de forma pura e verdadeira.

Ao meu irmão Pedro Gabriel, você é o motivo de tudo, minha força, minha dedicação é somente a você.

Aos meus amigos, pela colaboração, apoio em todos os momentos, ao incentivo e por compartilhar conhecimentos.

A minha avó, pela ajuda insubstituível, apoio e colaboração em um momento tão especial em minha vida.

Aos meus familiares,
pelo apoio e orgulho pela minha pessoa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto e coorientador Prof. Dr. Jadson Moura de Belem, pelos ensinamentos e paciência para me acompanhar nesta jornada desafiadora.

Ao Instituto Federal Goiano de Educação, Ciência e Tecnologia (IF Goiano – Campus Rio Verde), e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias – Agronomia (PPGCA-AGRO).

Agradecemos ao apoio a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de doutorado, processo nº. 88887.616538/2021-00, chamada 18/2020.

Aos membros da banca, meus sinceros agradecimentos pelas contribuições afins de aperfeiçoamento da minha pesquisa.

Enfim, agradeço de coração a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

BIOGRAFIA DA AOUTORA

Marina Gabriela Marques, filha de Sandra Nunes da Silva Marques e Marcos Valério Marques, nasceu no dia 03 de outubro de 1994, em Ipameri – GO. Em 2012, ingressou no Curso de Agronomia na Universidade Estadual de Goiás – Unidade Ipameri, graduando-se no ano de 2016. Em 2017 ingressou na pós-graduação *Stricto sensu*, pela Universidade Estadual de Goiás – Unidade Ipameri, no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, sendo bolsista FAPEG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás), concluído em 2019. Em 2020, ingressou no curso de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, submetendo-se à defesa de tese para obtenção do título de Doutor em Ciências Agrárias – Agronomia, concluindo em julho de 2024.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iv
BIOGRAFIA DA AUTORA.....	vi
ÍNDICE DE TABELAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES	xii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUÇÃO GERAL.....	18
OBJETIVO GERAL.....	22
REFÊRENCIAS GERAL	23
CAPÍTULO I: CULTIVO DE <i>Lactuca sativa</i> L. EM DIFERENTES INTENSIDADES DE LED SUBMETIDO AO ESTRESSE HÍDRICO.....	27
Resumo.....	27
Abstract.....	28
1. INTRODUÇÃO	29
2. MATERIAL E MÉTODOS	31
2.1 <i>Informações gerais</i>	31
2.2 <i>Análises</i>	31

2.2.1	<i>Análises Biométricas</i>	31
2.2.2	<i>Índice de clorofila</i>	32
2.2.3	<i>Fluorescência da clorofila a e trocas gasosas</i>	32
2.2.4	<i>Análises Bioquímicas</i>	33
2.2.5	<i>Análises Estatísticas</i>	34
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.	CONCLUSÕES	42
5.	REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
CAPÍTULO II: INTENSIDADE LUMINOSA E ATIVIDADE MICORRÍZICA EM ALFACE CULTIVADA SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE HÍDRICO		48
	Resumo	49
	Abstract	50
1.	INTRODUÇÃO	50
2.	MATERIAL E MÉTODOS	52
2.1.	<i>Informações gerais</i>	52
2.2.	<i>Análises estatísticas</i>	53
3.	RESULTADOS	53
4.	DISCUSSÃO	57
5.	CONCLUSÕES	59
6.	REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
	CONCLUSÃO GERAL	63

ÍNDICE DE TABELAS

Página

CAPÍTULO II: INTENSIDADE LUMINOSA E ATIVIDADE MICORRÍZICA EM ALFACE CULTIVADA SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE HÍDRICO.

Tabela 1. Gêneros de Fungos Micorrízicos Arbusculares identificados em rizosfera de Alface cultivado sob diferentes intensidades luminosas e diferentes níveis de irrigação.55

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
CAPÍTULO I: CULTIVO DE <i>Lactuca sativa</i> L. EM DIFERENTES INTENSIDADES DE LED SUBMETIDO AO ESTRESSE HÍDRICO	27
Figura 1. Altura (A) de plantas de alface submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.	35
Figura 2. Teor de clorofila (SPAD) de plantas de alface submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.	35
Figura 3. Massa fresca parte aérea e raiz, massa seca raiz de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.	36
Figura 4. Número de folhas de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.	37

Figura 5. Área foliar de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.	37
Figura 6. Taxa transpiratória e carbono atmosférico de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.	38
Figura 7. Fotossíntese líquida de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.	38
Figura 8. Condutância estomática de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.	39
Figura 9. Relação fotossíntese e carbono, e eficiência do uso da água de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.	40
Figura 10. Peroxidase do ascorbato de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.	40
Figura 11. Catalase de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.	41
Figura 12. Peroxidase e dismutase do superóxido de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.	41
Figura 13. Teor de pigmentação de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.	42
CAPÍTULO II: INTENSIDADE LUMINOSA E ATIVIDADE MICORRÍZICA EM ALFACE CULTIVADA SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE HÍDRICO	48
Figura 1. Taxa de Colonização Micorrízica (%) em alface sob diferentes intensidades luminosas (A) e sob diferentes níveis de irrigação (B).....	53
Figura 2. Densidade de Esporos (Nº de esporos / 50 mL de solo) em alface sob diferentes intensidades luminosas (A) e sob diferentes níveis de irrigação (B).	54
Figura 3. Análise de Correspondência Canônica de Gêneros de Fungos Micorrízicos Arbusculares identificados em rizosfera de Alface cultivado sob diferentes intensidades luminosas (A) e diferentes níveis de irrigação (B).	56

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

%	Porcentagem
\leq	Menor ou igual
\geq	Maior ou igual
°C	Graus Celsius
A	Fotossíntese líquida
AF	Área foliar
AP	Altura da planta
APX	Peroxidase do ascorbato
Ca	Concentração atmosférica de CO ₂
Carot.	Carotenoides

CAT	Catalase
CFST	Compostos fenólicos solúveis totais
Ci	Concentração interna de CO ₂
cm	Centímetros
CMPR	Comprimento da raiz
CMPR	Comprimento raiz
CR	Comprimento de raiz
D.I.C.	Delineamento inteiramente ao acaso
DAS	Dias após a semeadura
DMC	Diâmetro do caule
E	Transpiração
EUA	Eficiência do uso da água
FMA(s)	Fungos micorrízicos arbusculares
GS	Condutância estomática
H ₂ O ₂	Hidrogênio
LDI	Luz diária integral
LED	Diodo emissor de luz
MDA	Concentração de aldeído malônico
MFPA	Massa fresca parte aérea
MFR	Massa seca raiz
min/rega	Minutos por irrigação
ml	Mililitros
MSPA	Massa seca parte aérea
MSR	Massa seca raiz
N ₂	Nitrogênio
NF	Número de folhas
nm	Nanômetro
O ₂ -	Ânion superóxido
POX	Peroxidases
rbw	Red/Blue/White
RFA	Radiação Fotossinteticamente Ativa
SPAD	Clorofila
TCA	Ácido tricloroacético
UV	Ultravioleta

RESUMO

MARQUES, MARINA GABRIELA. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde – GO, julho de 2024. **Qualidade de *Lactuca sativa* L. sob intensidades de LED submetida ao estresse hídrico e atividade micorrízica.** Orientador: Professor Dr. Aurélio Rubio Neto. Coorientadores: Professor Dr. Jadson Belem de Moura.

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das hortaliças mais amplamente cultivadas em estufas ao redor do mundo, devido ao seu rico conteúdo nutricional e a importância na dieta humana. Rica em proteínas, vitaminas (como A, C e K) e fibras (celulose), a alface

desempenha papel crucial na nutrição, e tem atraído o interesse de muitos pesquisadores nos últimos anos. Dessa forma, objetivou-se estudar sobre a qualidade fisiológica de plantas de alface, explorando a relação entre diferentes intensidades luminosas, lâminas de irrigação e atividade micorrízica. Assim, foram conduzidos dois experimentos utilizando plantas de alface. No primeiro experimento foi conduzido com plantas de alface submetidas a diferentes intensidades luminosas e lâminas de irrigação, para parâmetros biométricos, fisiológicos e bioquímicos. No segundo experimento foi conduzido com as mesmas plantas de alface, porém com o objetivo de análise de atividade micorrízica do solo ao qual foram cultivadas. Os resultados obtidos indicaram diferenças na qualidade da cultura tanto em relação as intensidades luminosas quanto as lâminas de irrigação a que foram submetidas, cada qual para a análise realizada. Assim, conclui-se que o estudo sobre a luminosidade em LED em plantas de alface, seja para conjunta a irrigação ou atividade micorrízica é válida e possui resultados promissores.

PALAVRAS-CHAVE: *Lactuca sativa* L.; Qualidade fisiológica; Estresse hídrico; Intensidades de LED; Fungos micorrízicos.

ABSTRACT

MARQUES, MARINA GABRIELA MARQUES. Federal Institute of Education, Science and Technology of Goiás - Campus Rio Verde – GO, March 2024. **Quality of *Lactuca sativa* L. under LED intensities subjected to water stress and mycorrhizal activity.** Advisor: Professor Dr. Aurélio Rubio Neto. Co-advisor: Professor Dr. Jadson Belem de Moura.

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is one of the most widely grown vegetables in greenhouses around the world, due to its rich nutritional content and its importance in the human diet.

Rich in proteins, vitamins (such as A, C and K) and fiber (cellulose), lettuce plays a crucial role in nutrition, which has attracted the interest of many researchers in recent years. Therefore, the objective was to study the physiological quality of lettuce plants, exploring the relationship between different light intensities, irrigation depths and mycorrhizal activity. Thus, two experiments were carried out using lettuce plants. The first experiment evaluated lettuce plants subjected to different light intensities and irrigation depths, for biometric, physiological and biochemical parameters. The second experiment was carried out with the same lettuce plants but with the objective of analyzing mycorrhizal activity in the soil in where they were grown. The results obtained indicated differences in the culture quality both in relation to the light intensities and the irrigation levels to which they were subjected, each one for the analysis carried out. Therefore, it is concluded that the study about LED lighting in lettuce plants, whether for joint irrigation or mycorrhizal activity, is valid and has promising results.

KEYWORDS: *Lactuca sativa* L.; Physiological quality; Hydrical stress; LED intensity; Mycorrhizal fungi.

INTRODUÇÃO GERAL

A alface (*Lactuca sativa* L.), pertencente à família Asteraceae, é uma hortaliça folhosa originária da região mediterrânea e uma das mais consumidas mundialmente. Trata-se de uma planta anual, herbácea, com crescimento em forma de roseta. As folhas podem ser lisas ou crespas, de cor verde ou roxa, e podem ou não formar uma cabeça. O seu cultivo é intensivo, sendo o tipo crespa predominante no Brasil, representando 70% do mercado (Costa et al. 200; Sala et al. 2012). A alface é rica em vitaminas, A, B e C, minerais (como o fósforo, cálcio, potássio, silício, magnésio, dentre outros), e fibras, que auxiliam na regulação metabólica do corpo humano (Shi et al., 2022).

No Brasil, são produzidas aproximadamente 671,5 mil toneladas de alface, sendo a maior parte dessa produção oriunda da agricultura familiar. Isso confere à cultura da alface grande importância social, além de relevância econômica (Kist e Beling, 2023). Devido à reconhecida importância, o investimento na cultura da alface tem crescido nos últimos anos. Atualmente, existem viveiros especializados na produção

de mudas de alta qualidade, variados métodos de cultivo e diversas cultivares adaptadas às diferentes regiões e épocas do ano. Permitindo que a alface seja produzida em todos os municípios brasileiros, durante o ano (Gomes e Borém, 2019).

O ciclo da cultura da alface varia, em média, de 130 a 230 dias, abrangendo várias fases: a produção de mudas, que dura de 30 a 35 dias após a semeadura (DAS); o desenvolvimento vegetativo, de 38 a 90 dias DAS; o pendoamento, de 90 a 110 dias DAS; o florescimento, de 110 a 130 dias DAS; e a produção de sementes, de 130 a 230 dias DAS (Maldonade et al., 2014).

A iluminação artificial pode ser utilizada junto com a luz solar para aumentar a luz diária integral (LDI) em dias com baixa intensidade luminosa, no final do dia ou durante a noite para prolongar o fotoperíodo, ou até mesmo de forma exclusiva durante o fotoperíodo (Craig e Runkle, 2016; Bian et al., 2018; Paucek et al., 2020). A luz é fundamental não apenas para os processos fotossintéticos, mas, como desencadeadora de diversos processos fisiológicos, anatômicos, morfológicos e moleculares. A qualidade da luz influencia o acúmulo de clorofilas, o estiolamento do caule, a formação e o fototropismo das raízes, o controle do florescimento, entre outros fatores. Portanto, a iluminação artificial tem como objetivo manipular as condições de luz ambiente para controlar o crescimento e desenvolvimento das plantas (Suzuki et al., 2016; Landi et al., 2020; Hamdani et al., 2019).

Segundo Wong et al. (2020), o avanço da tecnologia de iluminação por LED proporciona flexibilidade na modificação dos espectros de luz, permitindo a pesquisa e a aplicação dessa tecnologia para aprimorar a qualidade das plantas em ambientes controlados. Isso inclui melhorias no crescimento, cor, sabor e valor nutricional. Os efeitos dos espectros de luz LED no crescimento, desenvolvimento e metabolismo de vegetais folhosos, especialmente alface, têm sido amplamente estudados, revelando benefícios significativos nessas áreas. Os comprimentos de onda vermelho e azul são os mais utilizados na iluminação artificial, pois correspondem a 90% dos comprimentos de onda absorvidos pelos pigmentos fotossintéticos e pelos fotorreceptores fitocromo e criptocromo, respectivamente. Dessa forma, eles controlam tanto os processos fotossintéticos quanto os fotomorfogênicos (Terashima et al., 2009; Chen et al., 2014).

Lâmpadas LED são um tipo especial de diodo semicondutor que podem emitir luz em um espectro variando de 220 nm a 1.000 nm. Este é o primeiro dispositivo com

capacidade de controle espectral, permitindo que os comprimentos de onda sejam ajustados para adequarem-se aos fotorreceptores das plantas. Isso influencia positivamente a morfologia e a composição das plantas (Olle & Virsilè, 2013). Para a fotossíntese a radiação luminosa serve como fonte de energia e influencia a morfologia e qualidade das plantas como sinal biológico (Bian et al., 2018; Kelly et al., 2020). O uso dos LEDs como fonte artificial de luz permite estudar a radiação luminosa em três dimensões: qualidade; intensidade; e fotoperíodo (Kelly et al., 2020; Massa et al., 2008; Morrow, 2008, Yeh e Chung, 2009).

Os comprimentos de onda vermelho e azul são os mais utilizados na iluminação artificial por corresponderem a 90% dos comprimentos de ondas absorvidos pelos pigmentos fotossintéticos e pelos fotorreceptores fitocromo e criptocromo, respectivamente, assim, controlando processos fotossintéticos e fotomorfogênicos (Terashima et al., 2009, Chen et al., 2014). Estudos que aplicaram diferentes espectros luminosos com a tecnologia LED demonstraram que em certas plantas, a utilização de variadas combinações espectrais alterou as características morfológicas, incluindo crescimento foliar, pigmentação e concentração de nutrientes (Snowden et al., 2016; Mickens et al., 2018; Keyser et al., 2019). Estudos adicionais indicam que o uso de espectros de LED controlados pode estimular a maturação precoce, promover o florescimento uniforme e aumentar os teores de minerais e vitaminas em plantas ornamentais e hortícolas sazonais (Massa et al., 2008).

A radiação luminosa atua como fonte de energia para a fotossíntese e como sinal biológico, influenciando a morfologia e a qualidade das plantas (Bian et al., 2018; Kelly et al., 2020). O uso de LEDs como fonte de luz artificial permite estudar a radiação luminosa em três dimensões: qualidade, intensidade e fotoperíodo (Kelly et al., 2020; Massa et al., 2008; Morrow, 2008; Yeh e Chung, 2009). Dentre as vantagens do uso da iluminação de LED pode-se destacar o controle do espectro emitido, não emite calor, menor consumo de energia elétrica, vida útil longa e alta conversão de energia em luz (Bourget, 2008). Porém, apesar das vantagens e estudos demonstrarem a eficiência, o uso de LED tem elevado custo inicial de implantação, e acaba limitando o uso na agricultura. Assim, a queda do custo inicial dos componentes para a implantação e redução do consumo elétrico torna esta tecnologia atrativa (Singh et al., 2015; Benke e Tomkins, 2017).

Bula et al. (1991) foram os primeiros a recomendarem a utilização de lâmpadas LEDs para o crescimento de plantas e observaram que o crescimento de alface sob luz vermelha suplementada com luz azul fluorescente era o mesmo encontrado sob lâmpada fluorescente branca e incandescentes. Estudo realizados por Shimizu et al. (2011) também concluíram que a luz monocromática vermelha é a mais eficiente na fotossíntese e crescimento (mensurado pelo peso úmido) de *Lactuca sativa* L. em comparação com a monocromática azul, e outras combinações de luzes.

A produção de hortícolas está frequentemente associada à irrigação localizada, uma técnica que tem crescente adoção entre os produtores devido ao uso eficiente da água, resultando em produtividades mais elevadas. As hortaliças, em maioria, possuem cerca de 95% de água na composição, tornando o manejo de irrigação uma prática crucial para obter alta qualidade e produtividade (Testezlaf e Matsura, 2015; Bernardo et al., 2013).

Essas plantas são exigentes quanto à quantidade e qualidade da água, sendo a produtividade significativamente afetada pela sua escassez (Dantas, 1997). O déficit hídrico leva ao aumento da temperatura das folhas e ao fechamento dos estômatos, reduzindo a fotossíntese. Como consequência, a planta ajusta a superfície foliar à disponibilidade hídrica, resultando em diminuição do rendimento (Taiz & Oliveira, 2017).

Em regiões semiáridas, a produção é limitada principalmente pela disponibilidade e qualidade da água. Portanto, é essencial utilizar esse recurso de forma eficiente, recorrendo à irrigação para esse fim. No entanto, um manejo inadequado do sistema de irrigação e da cultura pode inviabilizar a produção (Valeriano et al., 2016). Entre os sistemas de irrigação disponíveis, o mais recomendado para estufas é o sistema de gotejamento, por causa da maior eficiência na aplicação e controle da lâmina de irrigação, beneficiando culturas como a alface, que é altamente exigente em água (Koetz et al., 2006).

A alface apresenta maior sensibilidade ao estresse hídrico durante a fase de desenvolvimento vegetativo (Santos et al., 2015). Segundo Santos e Pereira (2004), é necessário aplicar água com maior frequência e menor intensidade ao longo do ciclo da cultura. O desenvolvimento vegetativo da alface é diretamente afetado pela umidade do

solo, sendo necessária a aplicação de pequenas quantidades de água com menor intervalo entre as irrigações (Santos & Pereira, 2004).

OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade fisiológica de plantas de *Lactuca sativa* L. sob diferentes intensidades de luzes de LED, lâminas de irrigação, e a atividade micorrízica.

REFERÊNCIAS GERAIS

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Qualidade da água para irrigação e salinização do solo. Manual de irrigação. Viçosa: Ed, UFV, p. 99-118, 2013.

BENKE, Kurt; TOMKINS, Bruce. Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. Sustainability: Science, Practice and Policy, v. 13, n. 1, p. 13-26, 2017.

BOURGET, C. Michael. An introduction to light-emitting diodes. HortScience, v. 43, n. 7, p. 1944-1946, 2008.

BULA, R. J^{III} et al. Light-emitting diodes as a radiation source for plants. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*, v. 26, n. 2, p. 203-205, 1991.

CHEN, Xiao-li et al. Growth and quality responses of 'Green Oak Leaf' lettuce as affected by monochromic or mixed radiation provided by fluorescent lamp (FL) and light-emitting diode (LED). *Scientia Horticulturae*, v. 172, p. 168-175, 2014.

COSTA, Juliana S.; JUNQUEIRA, Ana Maria R. Diagnóstico do cultivo hidropônico de hortaliças na região do Distrito Federal. *Horticultura Brasileira*, v. 18, p. 49-52, 2000.

CRAIG, Daedre S.; RUNKLE, Erik S. An intermediate phytochrome photoequilibria from night-interruption lighting optimally promotes flowering of several long-day plants. *Environmental and Experimental Botany*, v. 121, p. 132-138, 2016.

DANTAS, R. T. Parâmetros agrometeorológicos e análise de crescimento de alface (*Lactuca sativa* L.) em ambientes natural e protegido. 1997. 109f. 1997. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Agronomia)-UNESP, Botucatu.

GOMES, C. N.; BORÉM, A. Alface: do plantio a colheita. *Livraria UFV: Viçosa*, v. 228, 2019.

HAMDANI, Saber et al. Changes in the photosynthesis properties and photoprotection capacity in rice (*Oryza sativa*) grown under red, blue, or white light. *Photosynthesis research*, v. 139, p. 107-121, 2019.

DE KEYSER, Ellen et al. LED light quality intensifies leaf pigmentation in ornamental pot plants. *Scientia horticulturae*, v. 253, p. 270-275, 2019.

KIST, BENNO BERNARDO et al. Anuário brasileiro de horti & fruti 2019. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, v. 96, 2018.

LANDI, Marco et al. Plasticity of photosynthetic processes and the accumulation of secondary metabolites in plants in response to monochromatic light environments: A review. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, v. 1861, n. 2, p. 148131, 2020.

MASSA, Gioia D. et al. Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience*, v. 43, n. 7, p. 1951-1956, 2008.

MALDONADE, Iriani Rodrigues et al. Manual de boas práticas agrícolas na produção de alface. 2014.

MICKENS, M. A. et al. Growth of red pak choi under red and blue, supplemented white, and artificial sunlight provided by LEDs. *Scientia horticulturae*, v. 245, p. 200-209, 2019.

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

PAUCEK, Ivan et al. Supplementary LED interlighting improves yield and precocity of greenhouse tomatoes in the Mediterranean. *Agronomy*, v. 10, n. 7, p. 1002, 2020.

RESENDE, Geraldo M. de et al. Efeitos de tipos de bandejas e idade de transplântio de mudas sobre o desenvolvimento e produtividade da alface americana. *Horticultura Brasileira*, v. 21, p. 558-563, 2003.

SALA, Fernando Cesar; COSTA, Cyro Paulino da. Retrospectiva e tendência da alface brasileira. *Horticultura brasileira*, v. 30, p. 187-194, 2012.

DOS SANTOS, Márcio Aurélio Lins et al. Produção da cultura da alface (*Lactuca sativa* L) em função das lâminas de irrigação e tipos de adubos. *Revista Ciência Agrícola*, v. 13, n. 1, p. 33-40, 2015.

DOS SANTOS, Silvânio R.; PEREIRA, Geraldo M. Comportamento da alface tipo americana sob diferentes tensões da água no solo, em ambiente protegido Behavior of crisphead lettuce under different soil water tensions, in a protected environment. 2004.

SHIMIZU, Hiroshi et al. Light environment optimization for lettuce growth in plant factory. *IFAC Proceedings Volumes*, v. 44, n. 1, p. 605-609, 2011.

SHI, Min et al. Phytochemicals, nutrition, metabolism, bioavailability, and health benefits in lettuce—A comprehensive review. *Antioxidants*, v. 11, n. 6, p. 1158, 2022.

SINGH, D., BASU, C., MEINHARDT-WOLLWEBER, M., ROTH, B. 2015. LEDs for energy efficient greenhouse lighting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 139–147.

SUZUKI, Hiromi et al. Root cap-dependent gravitropic U-turn of maize root requires light-induced auxin biosynthesis via the YUC pathway in the root apex. *Journal of Experimental Botany*, v. 67, n. 15, p. 4581-4591, 2016.

SNOWDEN, M. Chase; COPE, Kevin R.; BUGBEE, Bruce. Sensitivity of seven diverse species to blue and green light: Interactions with photon flux. *PloS one*, v. 11, n. 10, p. e0163121, 2016.

TAIZ, Lincoln et al. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora, 2017.

TESTEZLAF, Roberto; MATSURA, Edson Eiji. *Engenharia de Irrigação*. 2018.

TERASHIMA, Ichiro et al. Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: revisiting the enigmatic question of why leaves are green. *Plant and cell physiology*, v. 50, n. 4, p. 684-697, 2009.

VALERIANO, Taynara Tuany Borges et al. Alface americana cultivada em ambiente protegido submetida a doses de potássio e lâminas de irrigação. *Irriga*, v. 21, n. 3, p. 620-620, 2016.

WONG, Chui Eng et al. Seeing the lights for leafy greens in indoor vertical farming. *Trends in Food Science & Technology*, v. 106, p. 48-63, 2020.

**CAPÍTULO I: CULTIVO DE *Lactuca sativa* L. EM DIFERENTES
INTENSIDADES DE LED SUBMETIDA AO ESTRESSE HÍDRICO**

(Normas de acordo com Revista Hortscience)

Resumo: A alface (*Lactuca sativa* L.), pertencente à família Asteraceae, é uma hortaliça folhosa originária da região mediterrânea e uma das mais consumidas mundialmente. Lâmpadas LED são um tipo especial de diodo semiconductor que podem emitir luz em espectro variando de 220 nm a 1.000 nm. Este é o primeiro dispositivo com capacidade de controle espectral, permitindo que os comprimentos de onda sejam ajustados para adequarem-s aos fotorreceptores das plantas. Objetivou-se avaliar a qualidade de plantas de alface submetidas a diferentes intensidades de LED e diferentes lâminas de irrigação. Após 15 e 30 dias de cultivo foram realizadas as análises biométricas, fisiológicas e bioquímicas. Para as análises biométricas foram mensurados: Número de folhas (NF), Altura da planta (AP), Clorofila (SPAD), Comprimento da raiz (CMPR), Massa Fresca Parte Aérea (MFA), Massa Fresca Raiz (MFR), Massa Seca Parte Aérea (MSPA), Massa Seca Raiz (MSR), Comprimento da Raiz (CMPR), Diâmetro do Caule (DM), Área Foliar (AF). Também após 15 e 30 dias de cultivo foi realizada a leitura de clorofila e as trocas gasosas. Os parâmetros biométricos obtiveram melhor desenvolvimento nas intensidades luminosas de 100 e 300 $\mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$. Já os parâmetros bioquímicos reduziram atividade com o aumento da intensidade luminosa. Para as lâminas de irrigação, aquela em que se observou melhor desenvolvimento biométrico, fisiológico e bioquímico foi a de 100% da capacidade de campo, totalizando para cada vaso 120 ml. Assim, pode-se concluir que os fatores intensidade luminosa de LED e lâminas de irrigação interferem na qualidade da planta de alface.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L.; Luz artificial; Intensidade de luz; Lâminas de irrigação.

**CULTIVE OF *Lactuca sativa* L. AT DIFFERENT LED INTENSITIES
SUBJECTED TO WATER STRESS**

Abstract: Lettuce (*Lactuca sativa* L.), belonging to the Asteraceae family, is a leafy vegetable originating from the Mediterranean region and one of the most consumed worldwide. LED bulbs are a special type of semiconductor diode that can emit light in a spectrum ranging from 220 nm to 1,000 nm. This is the first device with spectral control capabilities, allowing wavelengths to be adjusted to suit plant photoreceptors. The objective was to evaluate the lettuce plants quality submitted to different LED intensities and different irrigation depths. After 15 and 30 days of cultivation, biometric, physiological and biochemical analyzes were carried out. For biometric analyzes the following were measured: Number of leaves (NF), Plant height (AP), Chlorophyll (SPAD), Root length (CMPR), Aerial Fresh Mass (MFA), Fresh Root Mass (MFR), Dry Mass Aerial Part (MSPA), Root Dry Mass (MSR), Root Length (CMPR), Stem Diameter (DM), Leaf Area (AF). Also, after 15 and 30 days of cultivation, chlorophyll reading, and gas exchange were performed. The biometric parameters achieved better development at light intensities of 100 and 300 $\mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$. Biochemical parameters reduced their activity with increasing light intensity. For irrigation depths, the one with the best biometric, physiological and biochemical development was observed at 100% of field capacity, totaling 120 ml for each vessel. Therefore, it can be concluded that the factors of LED light intensity and irrigation blades affect the lettuce plant quality.

Keywords: *Lactuca sativa* L.; Artificial light; Light spectrum; Irrigation blades.

1. INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das hortaliças mais amplamente cultivadas em estufas ao redor do mundo, devido ao seu rico conteúdo nutricional e a importância na dieta humana. Rica em proteínas, vitaminas (como A, C e K) e fibras (celulose), a alface desempenha papel crucial na nutrição, e tem atraído o interesse de muitos pesquisadores nos últimos anos (Samuolienė et al. 2009; Son e Oh 2013; Christopoulou et al. 2015; Amoozgar et al. 2017). As pesquisas atuais focam em aprimorar o valor nutricional da alface, aumentar a resistência a pragas e doenças e otimizar as condições de cultivo em estufas para maximizar a produção e a qualidade.

A luz é um dos principais fatores ambientais que influencia o crescimento e desenvolvimento das plantas, impactando diversos aspectos desses processos. Além de ser uma fonte de energia essencial para a fotossíntese (Amoozgar et al. 2017; Ferreira et al. 2017), a intensidade e a composição espectral da luz regulam o crescimento e as reações fotossintéticas em todo o sistema vegetal. Compreender os processos de

sinalização e a formação de respostas adaptativas permite o desenvolvimento de mecanismos para controlar o potencial de desenvolvimento das plantas (Nakonechnaya et al., 2023).

O processo de fotossíntese, responsável pelo crescimento das plantas, envolve a absorção de energia luminosa na faixa de 400nm a 700nm, conhecida como Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA). Essa energia luminosa é recebida em pequenos pacotes chamados fótons (Boyle, 2004; Raven et al., 2013). A taxa fotossintética da alface cultivada em estufas sob baixa luminosidade em dias nublados é menor em comparação com a alface que apresenta maior condutividade estomática em dias ensolarados. Em condições de pouca luz, ocorre maior acumulação de NO₃ nas raízes da planta (He, Cheok e Qin, 2011).

Estudos sobre o efeito da luz e a intensidade dos espectros em diferentes variedades de alface mostraram aumento na concentração de carotenoides e clorofilanas folhas verdes, enquanto simultaneamente reduziram os níveis desses compostos na alface vermelha (Caldwell e Britz, 2006). A adição de 1% de luz UV resultou em aumento no peso total, na proporção raiz/parte aérea e no conteúdo total de fenóis (Han et al., 2017).

A alface é uma cultura com alta demanda de água, tornando o manejo adequado da irrigação crucial. Um bom manejo não só atende às necessidades hídricas das plantas, mas ajuda a minimizar problemas como doenças, lixiviação de nutrientes e desperdício de água e energia (Koetz et al., 2006). A maioria das hortaliças possui cerca de 95% de água na constituição, tornando o manejo de irrigação uma prática essencial para garantir alta qualidade e produtividade das culturas (Testezlaf e Matsura, 2015; Bernardo et al., 2013). O déficit hídrico eleva a temperatura das folhas e causa o fechamento dos estômatos, reduzindo a fotossíntese. Como resultado, a planta ajusta a superfície foliar conforme a disponibilidade de água, leva a diminuição no rendimento da cultura (Taiz & Oliveira, 2017).

Apesar de promissora, a utilização de iluminação LED, e desafiadora uma constância lâmina correta de irrigação, estes fatores enfrentam desafios significativos no cultivo da cultura da alface. Assim, este estudo teve como objetivo realizar um estudo de caso envolvendo diferentes combinações espectrais de luz de LED e diferentes lâminas de irrigações para proporcionar o melhor cultivo para a alface.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 *Informações gerais*

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x5, com 4 repetições, sendo cinco intensidades de luz de LED rbw (0, 100, 200, 300 e 400 $\mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$) e duas lâminas de irrigação (50% e 100% da capacidade de campo).

Para a instalação do sistema de iluminação foram utilizadas luzes de LED rbw em quatro intensidades luminosas, 100, 200, 300 e 400 $\mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$. O equipamento utilizado foi refletores de diodos emissores de luz (LEDs, Taschibra®, Brasil) com 30W de potência e 2.700 lumens, e a qualidade de luz determinada por meio do espectroradiômetro LI 180 (LI-COR, NE, USA).

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento com frequência de duas regas diárias, sendo estas realizadas as 06h e as 18h, com duração de 1 min/regas, totalizando para cada rega na lâmina de 50% o total de 30 ml e na lâmina de 100% o total de 60 ml. As lâminas de irrigação foram determinadas utilizando o método de lisimetria de pesagem, no qual um volume conhecido de água foi adicionado. Após estabelecer o peso de cada vaso experimental na capacidade de campo, as irrigações foram realizadas.

Para o plantio das mudas de alface foi utilizado o solo Latossolo Vermelho Distroférico coletado em subsuperfície proveniente em área experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, este solo foi homogeneizado e passado em peneira com malha de 4 mm, após este procedimento, foi acondicionado em vasos com capacidade de 3 litros, e vedadas as aberturas da parte inferior para evitar a perda do solo e nutrientes após a irrigação. Foram utilizadas mudas de alface crespa adquiridas em um comércio de Rio Verde – Goiás, e estas possuíam 7 dias de germinação.

2.2 *Análises*

2.2.1 *Análises Biométricas*

Aos 15 dias após o período de cultivo, foram realizadas algumas avaliações biométricas: Número de folhas (NF), Altura da planta (AP) e Clorofila (SPAD). Após 30

dias de período de cultivo, foram colhidas as plantas de cada repetição, posteriormente separadas a parte aérea da raiz e realizadas as seguintes avaliações fisiológicas: Número de folhas (NF), Altura da planta (AP), Clorofila (SPAD), Comprimento da raiz (CMPR), Massa Fresca Parte Aérea (MFA), Massa Fresca Raiz (MFR), Massa Seca Parte Aérea (MSPA), Massa Seca Raiz (MSR), Comprimento da Raiz (CMPR), Diâmetro do Caule (DM), Área Foliar (AF).

Para a determinação da altura de plantas (AP) e comprimento de raiz (CMPR) foram mensurados com o auxílio de régua graduada em milímetros medindo da base do coleto até o ápice da parte aérea ou da raiz. Para a determinação da massa fresca parte aérea (MFA) e massa fresca da raiz (MFR) A parte de cada planta foi separada e pesada em balança digital, assim considerando as folhas e os caules, como usualmente é vendido no comércio.

O número de folhas (NF) foi obtido através da contagem total de folhas de cada planta. Para determinação da massa seca parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) o material vegetal foi seco em estufa de circulação forçada de ar (SL – 102, Solab), a 65°C até atingir massa constante, e então pesadas utilizando uma balança semianalítica (ARD110 classe II, Ohaus Corporation).

O diâmetro do caule (DM) foi obtido através da medição da seção transversal da raiz, com auxílio de paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm, em amostragem de todos os caules por parcela, expresso em mm. Já a área Foliar (AF) foi determinada com o auxílio de uma régua, foi realizada a medida em cm do comprimento e largura de uma folha de cada planta.

2.2.2 Índice de clorofila

Os índices de clorofilas a e b bem como a relação clorofila a/b foram determinados aos 15 e 30 dias de cultivo, foi realizado a análise de fotossíntese, estas foram feitas na parte da manhã (07h) e o teor de clorofila (índice SPAD) foi estimado a partir de um aparelho portátil, por meio do clorofilômetro ClorofiLOG1030®(Falker®, RS, Brasil).

2.2.3 Fluorescência da clorofila a e trocas gasosas

Aos 30 dias após o plantio, foram determinadas as trocas gasosas das plantas, e foi estimada a fotossíntese líquida (A) transpiração (E), condutância estomática

(GS), concentração atmosférica de CO₂ (C_a) e interna (C_i) e eficiência do uso da água (EUA). As avaliações foram realizadas em folhas completamente desenvolvidas do centro da planta, no período de 7h às 8h da manhã. De cada tratamento, selecionou-se uma planta, e fez-se leituras, utilizando o analisador de gás no infravermelho (IRGA, LI-6800XT, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA) com fonte de luz constante de 1.200 μmol de fótons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

2.2.4 Análises Bioquímicas

Determinação da atividade de enzimas do sistema antioxidativo: as amostras de 0,200g de embriões de sementes de grão-de-bico, de cada repetição por tratamento, serão armazenadas em papel alumínio e mantidas em nitrogênio (N₂) líquido durante todo procedimento de coleta e, em seguida, armazenadas em ultrafreezer a -80°C para posteriores análises, sendo estas a determinação das atividades das enzimas peroxidase do ascorbato (APX, EC 1.11.1.11), catalase (CAT, EC 1.11.1.6), peroxidases inespecíficas (POX, EC 1.11.7) e dismutase do superóxido (SOD, EC 1.15.1.1). O cálculo das atividades das enzimas (APX) será conforme Nakano e Asada (1981) com algumas modificações; (CAT) conforme Cakmak e Marschner (1992), com modificações; (POX) conforme Kar e Mishra (1976), com algumas modificações; (SOD) conforme Del Longo *et al.*, (1993), com modificações. A atividade das enzimas analisadas será expressa em base de proteína determinada pelo método de Bradford (1976).

Determinação da concentração de aldeído malônico (MDA): para as amostras serão utilizadas 100 mg de embriões que serão maceradas em N₂ líquido e homogeneizadas em 2 mL de ácido tricloroacético (TCA) 0,1% (m/v). O homogeneizado será centrifugado e a absorvância inespecífica será mensurada de acordo com Cakmak e Horts (1991) a 532 nm e subtraída do valor da absorvância específica. A concentração de MDA será determinada conforme Heath e Packer (1968), calculada usando o coeficiente de extinção de 155 $\text{mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ e expressa em $\mu\text{mol kg}^{-1}$ de massa fresca.

Para a determinação da concentração dos pigmentos de clorofila foi utilizado método de Lichtenthaler (1987), adaptado de forma a possibilitar a extração e determinação dos pigmentos em sementes soja, com base em extração em acetona a 80%.

O procedimento de extração foi realizado com cuidados para minimizar os efeitos da luz, da temperatura e da ação enzimática sobre a degradação da clorofila, protegendo as amostras contra a incidência de luz. Após este processo, o sobrenadante foi

retirado e centrifugado por 3 minutos a 9200 rpm em temperatura de 12°C, na sequência procedeu-se leitura de absorbância em espectrofotômetro nos comprimentos de 663,2, 646,8 e 750 nm. O cálculo dos teores de clorofila a e b e carotenoides, expressos em $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ de extrato de solução, foram feitos com base nas equações abaixo e coeficientes de absorção propostos por (Lichtenthaler1987).

$$\text{Clorofila a} = 12,72 * \text{abs}663,2\text{nm} - 2,79 * \text{abs } 646,8\text{nm}$$

$$\text{Clorofila b} = 21,5 * \text{abs}646,8\text{nm} - 5,10 * \text{abs } 663,2\text{nm}$$

$$\text{Clorofila a e b} = 7,15 * \text{abs}663,2\text{nm} + 18,71 * \text{abs } 646,8\text{nm}$$

$$\text{Cx+c} = ((1000 * \text{abs}470 - 1,82 * \text{Ca} - 85,02 * \text{Cb})) / 198$$

2.2.5 Análises Estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade. A análise de variância (teste F) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) de probabilidade. As análises estatísticas foram processadas através do programa de análise estatística R (R Core Team, 2018).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a altura de plantas (AP) foi observado resultados significativos tanto para os diferentes intensidades de luz de LED quanto para as lâminas de irrigação (Figura 1), assim, observou-se que para a testemunha e o menor intensidade de luz de LED ($100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) as plantas obtiveram maior crescimento, comparadas as demais intensidades, e em relação as lâminas de irrigação, as plantas que se submeteram a maior disponibilidade de água obtiveram melhor crescimento.

Estes resultados corroboram com Yan et al. (2019), que observando as mudas de alface submetidas a intensidade de $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$, apresentaram máxima altura de 7,7 cm de altura. De acordo com Olle & Viršile (2013) a luz vermelha geralmente é o componente basal nos espectros de iluminação, sendo suficiente, por si só, para promover bom crescimento e desenvolvimento das plantas.

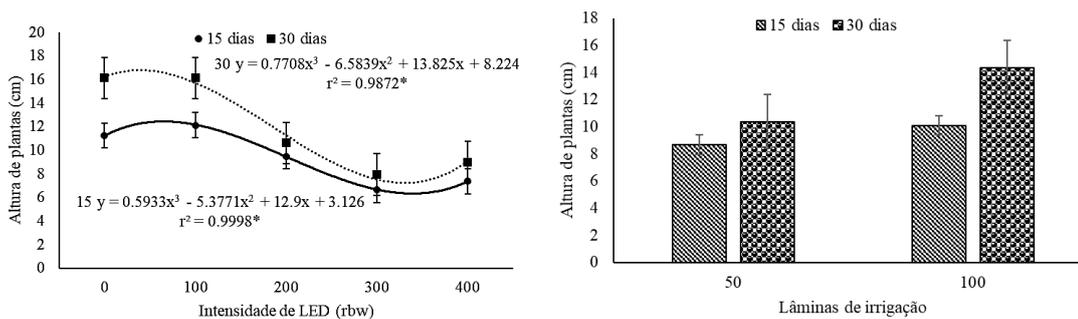


Figura 1. Altura (A) de plantas de alface submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.

O teor de clorofila (SPAD) foi observado valores significativos apenas aos 15 dias de avaliação, sendo aos 30 dias valores não significativos tanto para a clorofila a e clorofila b (Figura 2), e as lâminas de irrigação não interferiram nos teores de clorofila. Pode-se destacar a intensidade de luz de $300 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$, e pode-se observar maior concentração da clorofila a e b, seguido da intensidade de $400 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$.

Como apresentado por Fukuda et al. (2008), a intensidade da luz é um dos principais fatores a serem considerados para o crescimento das plantas. Observa-se aumento do processo fotossintético como resultado da utilização de iluminação em alta intensidade, influenciando positivamente a biomassa resultante.

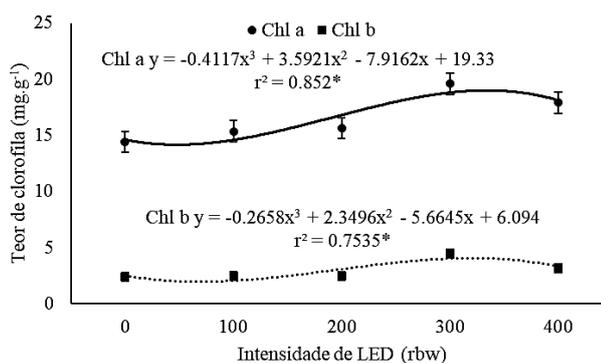


Figura 2. Teor de clorofila (SPAD) de plantas de alface submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.

A massa fresca da parte aérea e raiz das plantas foram afetadas pelos diferentes intensidades de luz de LED, e a intensidade de $400 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$ foi aquela que apresentou maior crescimento da parte aérea (Figura 3), já para as lâminas de irrigação,

apenas a massa fresca da parte aérea obteve maior crescimento, em que a lâmina de irrigação de 100% foi superior.

Em um estudo realizado por Kong et al. (2015), foi observado que a aplicação de diferentes espectros de luz trouxe ganhos significativos para a massa fresca da alface, como apresentado neste trabalho. Lima et al. (2019) apresentaram resultados mostrando que a massa fresca das folhas foi maior para a combinação de LED. Goins et al. (2001) demonstraram que o rendimento de biomassa das plantas de alface aumentou quando o comprimento de onda do LED vermelho foi ampliado de 660 para 690 nm.

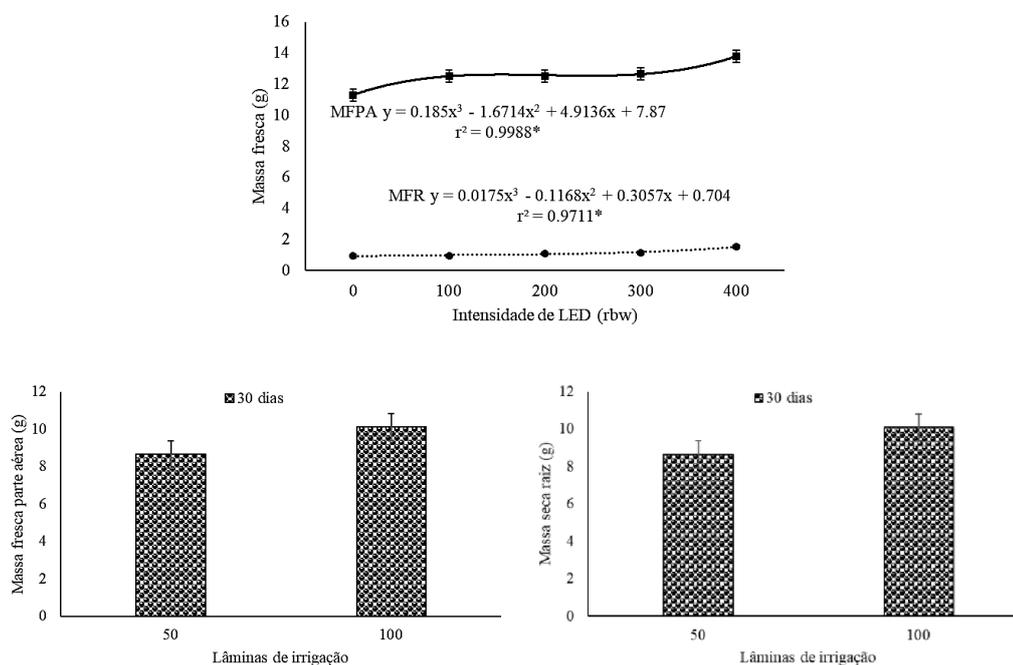


Figura 3. Massa fresca parte aérea e raiz, massa seca raiz de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.

O número de folhas foi observado diferença apenas aos 30 dias de avaliação (Figura 4), e somente as intensidades de luz interferiram na quantidade de número de folhas, descartando o papel da irrigação. A partir da intensidade de luz de $200\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ pode-se observar maior quantidade de número de folhas. Resultados semelhantes foram encontrados por Bian et al. (2018), em que a suplementação de luz trouxe ganhos na taxa fotossintética, porém não afetou o número de brotos, resultando no número final de folhas.

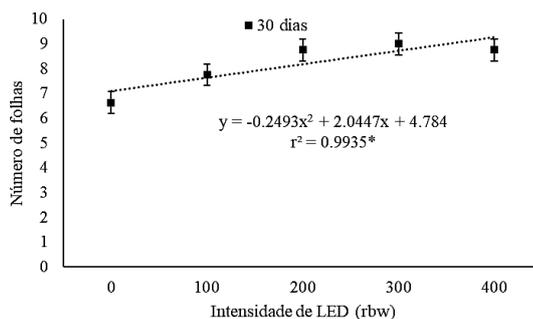


Figura 4. Número de folhas de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.

A área foliar foi realizada após o período de cultivo de 30 dias, e foi observado resultados significativos tanto para as diferentes intensidades de luz quanto para as lâminas de irrigação (Figura 5). A intensidade de luz de LED de $100 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$ foi o que obteve maior crescimento da área foliar, seguido da testemunha, e como observado nas demais avaliações ao qual a irrigação foi significativa, a lâmina de 100% demonstrou melhor resultado comparada a irrigação de 50%.

Estes resultados corroboram com De França et al. (2022), observaram que o tratamento branco apresentou o melhor resultado em comparação aos demais espectros aplicados. De acordo com Kim et al. (2004), constatou que o complemento de luz verde em proporção de 24% apresentou os melhores resultados referentes área foliar, de forma que o excesso apresentou resultados negativos.

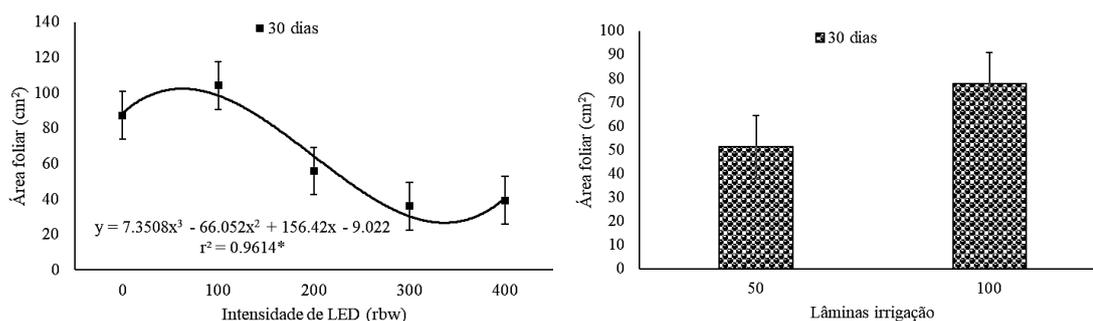


Figura 5. Área foliar de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.

A taxa transpiratória foi observado diferença apenas para as intensidades de luz de LED, assim a irrigação não interferiu nos resultados (Figura 6). Pode-se observar que a testemunha foi aquela que obteve melhor resultado e a intensidade de LED de $200 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$ foi a que teve o resultado inferior as demais. Estes resultados

corroboram com Lanoue et al. (2017), evidenciando que os tratamentos de luz LED mostram EUA levemente inferior.

O carbono atmosférico não teve relação junto a taxa transpiratória com as lâminas de irrigação, apenas para as intensidades de luz de LED, e a intensidade que teve o melhor resultado comparado aos demais, foi a intensidade de 200 $\mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$, diferindo totalmente dos resultados de taxa transpiratória (Figura 6).

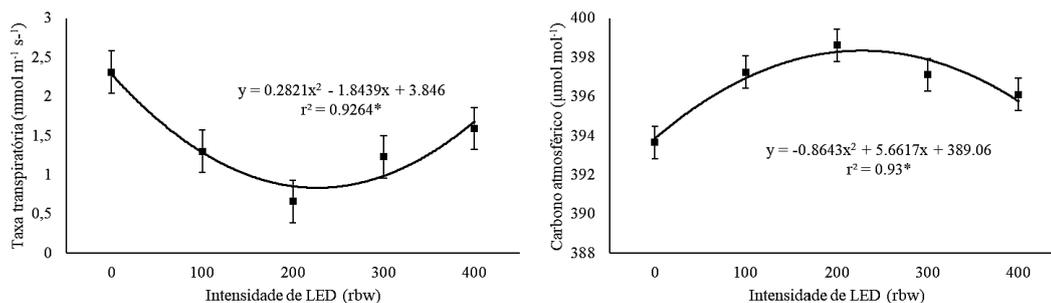


Figura 6. Taxa transpiratória e carbono atmosférico de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.

Para a fotossíntese líquida pode-se observar resultados significativos tanto para intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação (Figura 7), que obteve melhores resultados na intensidade luminosa de 100 $\mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$ e para testemunha, e seguido dos demais resultados a lâmina de 100% foi aquela que demonstrou melhor resultado.

Estudos feitos com plantas de alface sob tratamento com luzes LED vermelha e azul em comparação com a fluorescente indicaram que a taxa de fotossíntese da alface é maior na luz vermelha monocromática e na luz mista (Vermelha – V + Azul – A) em comparação com a fluorescente (Shimizu et al., 2011).

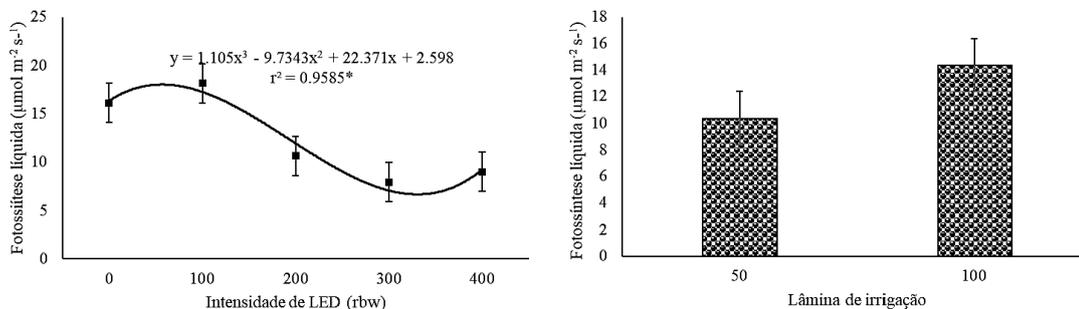


Figura 7. Fotossíntese líquida de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.

Na condutância estomática observou-se interação entre as intensidades de luz de LED e as lâminas de irrigação (Figura 8), e a testemunha foi a que demonstrou melhores resultados comparados aos demais. De acordo com Gherghina et al. (2020) resultados demonstram que a variação nos LEDs influenciou as características bioquímicas das plantas de alface, indicando que a luz LED com um componente predominantemente vermelho aumenta o processo de fotossíntese e, conseqüentemente o acúmulo de metabólitos.

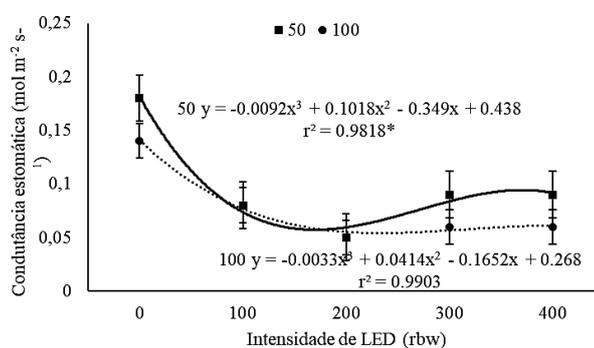


Figura 8. Condutância estomática de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.

Na relação da fotossíntese e carbono observou-se também interação entre intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação (Figura 9), a testemunha sobressaiu-se as demais intensidades de luz de LED, em relação a lâmina de irrigação de 100%, sendo o oposto da intensidade de 400 µmol.m².s⁻¹ que teve melhor resultado com a lâmina de 50%. Seguido de resultado semelhante, a intensidade de luz de LED de 400 µmol.m².s⁻¹ também obteve melhor resultado comparada as demais na lâmina de irrigação de 50% (Figura 9).

Gherghina et al. (2020) relata que a iluminação LED suplementar também resultou em maiores quantidades de antioxidantes, compostos fenólicos, carotenoides e clorofilas, nas folhas das variedades de alface analisadas, em comparação com as plantas cultivadas sem luz suplementar.

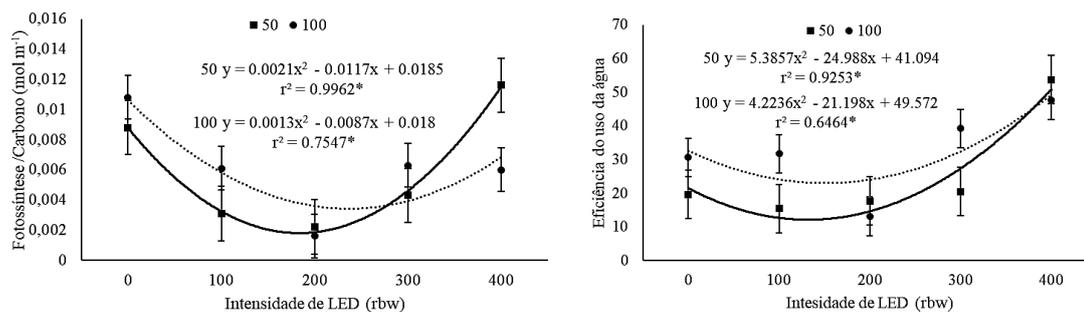


Figura 9. Relação fotossíntese e carbono, e eficiência do uso da água de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.

Para a peroxidase do ascorbato foi observado que a intensidade de luz de 100 $\mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$ resultou na maior atividade de APX em comparação com as demais intensidades. No entanto, ao aumentar a intensidade para 200, 300 e 400 $\mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$, a atividade de APX mostrou leve estabilização ou diminuição, sugerindo possível efeito de saturação ou estresse pela alta intensidade luminosa (Figura 10). A menor atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX) nas plantas é pela lenta ou ausente recuperação da homeostase redox, que leva ao aumento dos mecanismos de defesa antioxidantes (Maevskaya et al., 2013; Zhang et al., 2015). A APX é crucial para a remoção de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) nas células, utilizando o ascorbato como doador de elétrons. Esta enzima está presente em mitocôndrias, citosol, peroxissomos e cloroplastos (Sharma et al., 2012).

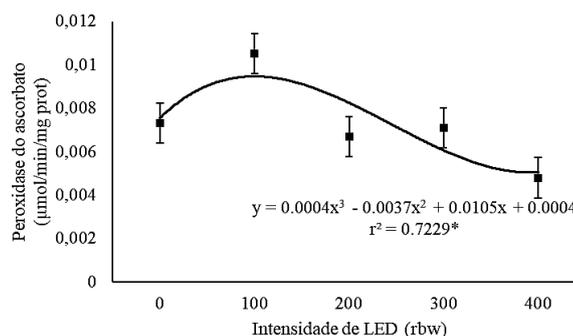


Figura 10. Peroxidase do ascorbato de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.

Para a catalase, foi observado resultados significativos apenas para as lâminas de irrigação e seguindo resultados semelhantes de outras análises, sobressaiu-se a lâmina de irrigação de 100% (Figura 11). Durante o processo fotorrespiratório, a atividade da catalase (CAT) é crucial em períodos de estresse devido à eficiência na eliminação

de H_2O_2 , especialmente nos peroxissomos (Sofo et al., 2015). Dessa forma, a menor atividade da CAT é uma resposta comum ao estresse hídrico, indicando capacidade reduzida de defesa antioxidante e potencial aumento do dano oxidativo nas células da planta (Sharma et al., 2012).

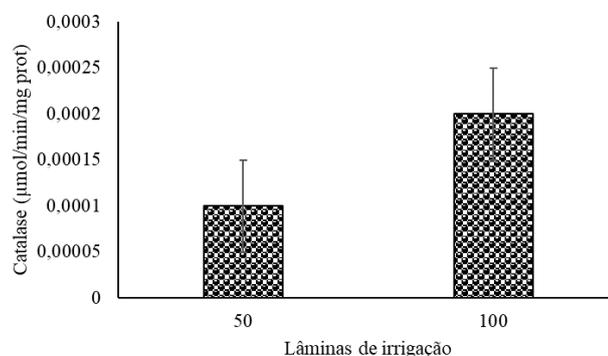


Figura 11. Catalase de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.

Tanto para a peroxidase e dismutase foram observados resultados significativos, apenas para a luz de LED, e nas duas análises, aquela que se destacou foi a testemunha (Figura 12). Assim, a atividade da peroxidase (POX) em plantas de alface diminuiu conforme a intensidade da luz LED aumentou, indicando a redução enzimática de peróxido (H_2O_2), por meio da atividade da POX (Maia et al., 2015). Isso indica que maiores intensidades de luz LED podem ter efeito inibitório na atividade da POX, uma enzima crucial para a defesa antioxidante das plantas. O H_2O_2 , como mencionado anteriormente, é formado pela reação de catálise do O_2^- pela SOD. Embora moderadamente reativo nas células, possui meia-vida longa (Berwal; Ram, 2018). Para a SOD, o controle do ânion superóxido (O_2^-) é essencial pela alta reatividade (Sahu et al., 2017).

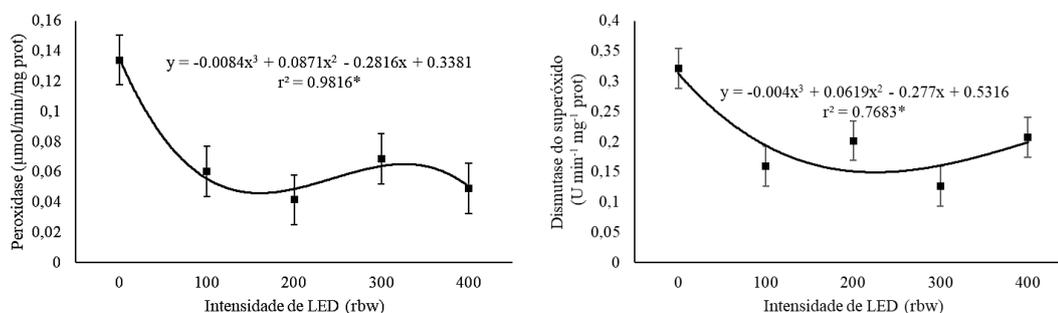


Figura 12. Peroxidase e dismutase do superóxido de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.

O teor de pigmentação foi observado resultados significativos para a clorofila b na intensidade de $100 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$ juntamente com carotenoides, seguido da intensidades de $200 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$ e $400 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$ (Figura 13).

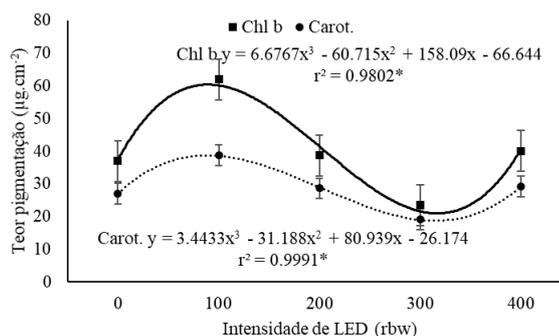


Figura 13. Teor de pigmentação de plantas submetidas a diferentes intensidades de luz de LED e lâminas de irrigação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde Goiás, 2023.

De acordo com Lima et al. (2019), de maneira geral, a produção de alface cultivada sob iluminação de LED é influenciada pela combinação de fontes de luz vermelha (R) e azul (A), e pelo tipo de cultivar utilizado. Portanto, o rendimento das plantas resulta da interação de diversos fatores ambientais, incluindo a iluminação a que são submetidas.

Gherghina et al. (2020) demonstram que a qualidade espectral da luz pode influenciar o desenvolvimento das plantas, evidenciando o efeito favorável da iluminação LED. Esta tecnologia permite a manipulação espectral, tornando-se promissora para a horticultura em estufa.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que as diferentes intensidades luminosas juntamente com as diferentes lâminas de irrigação afetam diretamente a qualidade de plantas de alface a partir das análises biométricas, fisiológicas e bioquímicas.

Os parâmetros biométricos obtiveram melhor desenvolvimento nas intensidades luminosas de 100 e 300 $\mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$. Já os parâmetros bioquímicos reduziram sua atividade com o aumento da intensidade luminosa.

Para as lâminas de irrigação, aquela que se observou melhor desenvolvimento biométrico, fisiológico e bioquímico foi a de 100% da capacidade de campo, totalizando para cada.

5. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amoozgar A, Mohammadi A, Sabzalian MR. 2017. Impact of lightemitting diode irradiation on the photosynthesis, phytochemical composition and mineral element content of lettuce cv. Grizzly Photosynth 55(1):1–11

Bernardo, S, Soares, A.A, Mantovani, EC. Manual de Irrigação. 2013. 8. Ed. Viçosa: Ed. UFV, 23-463.

Berwal, M, Ram, C. (2018). Superoxide dismutase: A stable biochemical marker for abiotic stress tolerance in higher plants. Abiotic and biotic stress in plants, 7, 1-10.

Bian, Z, Yang, Q, Li, T, Cheng, R, Barnett, Y, Lu, C. 2018. Study of the beneficial effects of green light on lettuce grown under short-term continuous red and blue light-emitting diodes. Physiologia plantarum, 164(2): 226-240.

Boyle, G. 1996. Renewable Energy: power for a sustainable future. Journal of energy literature, 2, 106-107.

Bradford, MN. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analyt. Biochemistry, 72(1-2): 248-254.

Cakmak, I, Horst, WJ. 1991. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). *Physiologia plantarum*, 83(3): 463-468.

Cakmak, I, Marschner, H. 1992. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. *Plant physiology*, 98(4): 1222-1227.

Caldwell, CR, Britz, SJ. 2006. Effect of supplemental ultraviolet radiation on the carotenoid and chlorophyll composition of green house-grown leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars, *J. Food Compos.* 19: 637–644.

Chen, XL, Guo, WZ, Xue, X., Wang, LC, Qiao, XJ. 2014. Growth and quality responses of ‘Green Oak Leaf’ lettuce as affected by monochromic or mixed radiation provided by fluorescent lamp (FL) and light-emitting diode (LED). *Scientia Horticulturae*, 172:168-175.

Christopoulou M, Wo SR, Kozik A, McHale LK, Truco MJ, Wroblewski T, Michelmore RW (2015) Genome-wide architecture of disease resistance genes in lettuce. *G3 Genes Genomes Genet* 5(12):2655–2669

de França, MTA, Luchese, AV, de Paula Filho, PL, de Araújo Schutz, FC. 2022. Efeitos provenientes da aplicação de iluminação LED em um modelo de plantio vertical para cultivo de alface crespa.

Ferreira LT, Silva MMA, Ulisses C, Camara TR, Willadino L. 2017. Using LED lighting in somatic embryogenesis and micropropagation of an elite sugarcane variety and its effect on redox metabolism during acclimatization. *Plant Cell Tiss Organ Cult*, 128:211–221

Fukuda, N, Fujita, M, Ohta, Y, Sase, S, Nishimura, S, & Ezura, H. 2008. Directional blue light irradiation triggers epidermal cell elongation of abaxial side resulting in inhibition of leaf epinasty in geranium under red light condition. *Scientia Horticulturae*, 115(2): 176-182.

Gherghina, E, Gabriela, LUȚĂ, Dobrin, E, Drăghici, EM, Bălan, D, Sanmartin, AM. 2020. Biochemical changes under artificial led lighting in some *Lactuca sativa* L. varieties. *AgroLife Scientific Journal*, 9(1).

Goins, GD, Ruffe, LM, Cranston, NA, Yorio, NC, Wheeler, RM, Sager, JC. 2001. Salad crop production under different wavelengths of red lightemitting diodes (LEDs). SAE Technical Paper, 31st International Conference on Environmental Systems, Orlando, Florida, USA, 1-9.

Han, T, Vaganov, V, Cao, S, Li, Q, Ling, L, Cheng, X, Tu, M. 2017. Improving “color rendering” of LED lighting for the growth of lettuce. *Scientific Reports*, 7(1): 45944.

He, J, L. Cheok, L. Qin. 2011. Nitrate accumulation, productivity and photosynthesis of temperate butter head lettuce under different nitrate availabilities and growth irradiances. *The Open Horticulture Journal* 4 (1):17–24.

Heath, RL, Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of biochemistry and biophysics*, 125(1): 189-198.

Johkan, M, Shoji, K, Goto, F, Hashida, SN, Yoshihara, T. 2010. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience*, 45(12): 1809-1814.

Kar M, Mishra D. 1976. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant physiology*, 57(2):315-319.

Kim, HH, Goins, GD, Wheeler, RM, Sager, JC. 2004. Stomatal conductance of lettuce grown under or exposed to different light qualities. *Annals of botany*, 94(5): 691-697.

Koetz, M, Coelho, G, Costa, CCD, Lima, EP, Souza, RJD. 2006. Efeito de doses de potássio e da frequência de irrigação na produção da alface-americana em ambiente protegido. *Engenharia Agrícola*, 26: 730-737.

Kong, SW, Chung, HY, Chang, MY, Fang, W. 2015. The contribution of different spectral sections to increase fresh weight of boston lettuce. *HortScience*, 50(7): 1006-1010.

Lanoue, J, Leonardos, ED, Ma, X, Grodzinski, B. 2017. The effect of spectral quality on daily patterns of gas exchange, biomass gain, and water-use-efficiency in tomatoes and lisianthus: An assessment of whole plant measurements. *Frontiers in plant science*, 8: 1076.

Lima, S, Lima, SCD. 2018. Influência da radiação eletromagnética de diodos emissores de luz no cultivo da alface.

Lichtenthaler, HK. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology*. Academic Press, 148:350-382.

Maia, JM, de Macêdo, CEC., da Silveira, JAG., da Silva, AF., de Lira, EHA, de Melo, A. S, Meneses, CHSG. (2015). Seca e salinidade na resposta antioxidativa de raízes de feijão caupi. *BIOFARM-Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management*, 11(1): 59-93.

Maevskaya, SN, Nikolaeva, MK. (2013). Response of antioxidant and osmoprotective systems of wheat seedlings to drought and rehydration. *Russian Journal of Plant Physiology*, 60, 343-350.

Nakano, Y, Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and cell physiology*, 22(5): 867-880.

Nakonechnaya, OV, Kholin, AS, Subbotin, EP, Burkovskaya, EV, Khrolenko, YA, Gafitskaya, IV, Kulchin, YN. 2023. The Influence of LED Lights of Different Spectra on the Development of *Lactuca sativa*. *Biology Bulletin*, 50(3): 371-378.

Olle, M, Viršile, A. 2013. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agricultural and Food Science*, 22(2): 223- 234.

Raven, PH, Evert, RF, Eichhorn, SE. 2007. *Biologia vegetal*, 830-830.

Samuolienė G, Urbonavičiūtė A, Duchovskis P, Bliznikas Z, Vitta P, Žukauskas A. 2009. Decrease in nitrate concentration in leafy vegetables under a solid-state illuminator. *Hortscience*, 44(7):1857–1860.

Sahu, B, Sahu, AK, Chennareddy, SR, Soni, A, Naithani, SC. (2017). Insights on germinability and desiccation tolerance in developing neem seeds (*Azadirachta indica*): role of AOS, antioxidative enzymes and dehydrin-like protein. *Plant Physiology and Biochemistry*, 112, 64-73.

Sharma, P, Jha, AB, Dubey, RS, Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of botany*, 2012(1): 217037.

Shimokawa, A, Tonooka, Y, Matsumoto, M, Ara, H, Suzuki, H, Yamauchi, N, Shigyo, M. 2014. Effect of alternating red and blue light irradiation generated by light emitting diodes on the growth of leaf lettuce. *BioRxiv*, 003103.

Shimizu, H, Saito, Y, Nakashima, H, Miyasaka, J, Ohdoi, K. 2011. Light environment optimization for lettuce growth in plant factory. *IFAC Proceedings Volumes*, 44(1): 605-609.

Sofo, A, Scopa, A, Nuzzaci, M, Vitti, A. (2015). Ascorbate peroxidase and catalase activities and their genetic regulation in plants subjected to drought and salinity stresses. *International journal of molecular sciences*, 16(6): 13561-13578.

Son KH, Oh MM. 2013. Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes. *Hortscience*, 48(8):988–995.

Taiz, L, Zeiger, E, Møller, I. M, & Murphy, A. 2017. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora.

Testezlaf, R, & Matura, EE. 2018. *Engenharia de Irrigação*.

Yan, Z, He, D, Niu, G, Zhai, H. 2019. Evaluation of growth and quality of hydroponic lettuce at harvest as affected by the light intensity, photoperiod and light quality at seedling stage. *Scientia horticulturae*, 248: 138-144.

Zhang, M, Jin, ZQ, Zhao, J, Zhang, G, Wu, F. (2015). Physiological and biochemical responses to drought stress in cultivated and Tibetan wild barley. *Plant Growth Regulation*, 75, 567-574.

**CAPÍTULO II: INTENSIDADE LUMINOSA E ATIVIDADE
MICORRÍZICA EM ALFACE CULTIVADA SOB CONDIÇÕES DE
ESTRESSE HÍDRICO**

(Normas de acordo com Revista Scientific Reports - Nature)

Resumo: Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) formam associações simbióticas com as plantas, melhorando a absorção de nutrientes, a tolerância ao estresse abiótico e a resistência a patógenos, e tem a atividade estimulada quando a planta se encontra sob condição de estresse ambiental. A interação entre as plantas e os FMAs pode atenuar o estresse causado por variações na intensidade luminosa, melhorando a eficiência fotossintética e a estabilidade metabólica das plantas. O objetivo deste trabalho foi verificar a atividade micorrízica em plantas de alface submetidas a diferentes níveis de intensidade luminosa sob condições de estresse hídrico. O trabalho foi realizado em casa de vegetação no Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde e as análises desenvolvidas no laboratório de microbiologia da Faculdade Evangélica de Goianésia. Foram utilizados LED (rbw) a $400 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$ em quatro intensidades luminosas, 100, 200, 300 e $400 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$. O déficit hídrico foi realizado em duas lâminas de irrigação, sendo 50% e 100% da capacidade de campo. A intensidade luminosa é fator crucial no desenvolvimento vegetal, afetando processos como fotossíntese, crescimento e diferenciação celular. A adequação da intensidade luminosa é essencial para otimizar esses processos. A intensidade luminosa inadequada pode induzir estresse nas plantas, o que por sua vez estimula a atividade dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) nas raízes. Isso é evidenciado pelo aumento da taxa de colonização micorrízica sob maior intensidade luminosa, sugerindo que as plantas recorrem aos FMAs como estratégia de enfrentamento do estresse. Não foi verificada diferenças na atividade micorrízica sob diferentes condições de disponibilidade hídrica, indicando que a quantidade de água fornecida foi suficiente para o desenvolvimento das plantas sem induzir estresse hídrico.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L.; Fungos micorrízicos; Qualidade do solo; Superação do estresse.

LIGHT INTENSITY AND MYCORRHIZAL ACTIVITY IN LETTUCE CULTIVATED UNDER WATER STRESS CONDITIONS

Abstract: Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) form symbiotic associations with plants, improving nutrient absorption, tolerance to abiotic stress and resistance to pathogens, and their activity is stimulated when the plant is under environmental stress. The interaction between plants and AMF can mitigate the stress caused by variations in light intensity, improving the photosynthetic efficiency and metabolic stability of plants. The objective of this work was to verify mycorrhizal activity in lettuce plants subjected to different levels of light intensity under water stress conditions. The work was carried out in a greenhouse at the Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde and the analyzes were carried out in the microbiology laboratory of the Faculdade Evangélica de Goianésia. LED (rbw) at $400 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$ were used in four light intensities, 100, 200, 300 and $400 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$. The water deficit was carried out in two irrigation levels, being 50% and 100% of the field capacity. Light intensity is a crucial factor in plant development, affecting processes such as photosynthesis, growth and cell differentiation. Light intensity adequacy is essential to optimize these processes. Inadequate light intensity can induce stress in plants, which in turn stimulates the activity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in the roots. This is evidenced by the increased rate of mycorrhizal colonization under greater light intensity, suggesting that plants resort to AMF as a strategy to cope with stress. There were no differences in mycorrhizal activity under different water availability conditions, indicating that the amount of water supplied was sufficient for plant development without inducing water stress.

Keywords: *Lactuca sativa* L.; Mycorrhizal fungi; Soil quality; Overcoming stress.

1. INTRODUÇÃO

Os Fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são organismos do solo que formam associações simbióticas com as plantas e constituem componentes fundamentais nas interações planta-solo, exercendo influência significativa na absorção de nutrientes, na tolerância ao estresse abiótico e na resistência contra patógenos em diversas espécies vegetais (Adeyemi et al., 2021). A simbiose estabelecida entre FMAs e raízes de plantas facilita a troca de nutrientes minerais do solo, com destaque ao fósforo, por carboidratos derivados da fotossíntese vegetal (Ezawa and Saito, 2018), principalmente em solos altamente intemperizados e com baixa fertilidade natural, como é o caso dos solos de Cerrado (Moura and Cabral, 2019). As interações entre as plantas e os fungos são fortemente influenciadas pelos fatores ambientais, dentre os quais a intensidade luminosa

Destaca-se por seu impacto direto e indireto tanto sobre as funções fisiológicas da planta quanto sobre as interações micorrízicas (Shi et al., 2014).

A intensidade luminosa afeta diretamente a taxa de fotossíntese, que é o processo pelo qual as plantas convertem luz, água e dióxido de carbono em oxigênio e carboidratos (Velez-Ramirez et al., 2011). Luz em intensidades ótimas maximiza a taxa de fotossíntese, resultando em maior produção de biomassa e crescimento vegetal. No entanto, luz excessivamente intensa pode levar à fotoinibição, um estado em que o aparelho fotossintético é danificado, levando a redução na eficiência da fotossíntese (Taiz et al., 2017). Alterações na intensidade luminosa podem resultar em modificações significativas na morfologia e estrutura das plantas. Por exemplo, em condições de baixa luminosidade, muitas plantas exibem etiolamento, caracterizado por caules alongados e folhas menores, como estratégia para maximizar a captação de luz. Em contraste, sob alta intensidade de luz, as plantas tendem a desenvolver folhas mais espessas e robustas, com maior concentração de clorofila, para otimizar a absorção e utilização da luz (Ruban, 2009; Taiz et al., 2017).

Embora a luz seja essencial para a fotossíntese, intensidades luminosas excessivamente altas podem levar à formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), que são potencialmente prejudiciais às células vegetais. As plantas possuem sistemas antioxidantes para mitigar os danos causados pelas EROs, mas a capacidade de tolerar o estresse oxidativo varia significativamente entre as espécies e está relacionada à eficiência dos mecanismos de defesa da planta (Ruban, 2009; Velez-Ramirez et al., 2011; Taiz et al., 2017).

A intensidade luminosa é um dos principais fatores abióticos que influenciam o desenvolvimento vegetal, atuando como regulador crítico da fotossíntese, morfogênese, ritmos circadianos e ciclos de vida (Taiz et al., 2017). A luz não apenas fornece a energia necessária para a fotossíntese, mas, funciona como sinal informativo que modula vários aspectos do crescimento e desenvolvimento das plantas que regula aspectos cruciais do crescimento e desenvolvimento vegetal, influenciando diretamente processos fotossintéticos e, por conseguinte, a biossíntese de fotoassimilados (Ruban, 2009). Sob condições de estresse induzidas por variações na intensidade luminosa, as plantas experimentam alterações metabólicas e fisiológicas significativas. Nesse cenário, a interação planta-FMA pode atuar como elemento atenuador de

estresse, fornecendo suporte adicional às plantas em situações de adversidade luminosa (Shi et al., 2014; Iqbal et al., 2021).

Visto que condições ambientalmente estressantes podem estimular a atividade micorrízica, a colonização por FMAs pode influenciar a eficiência fotossintética e a capacidade das plantas de mitigar o estresse oxidativo, promovendo maior estabilidade nas redes metabólicas vegetais (Hayman, 1974; Son et al., 1988; Gehring, 2003; Shi et al., 2014). Entretanto, os mecanismos que fundamentam essas interações ainda são parcialmente compreendidos, e a relação entre intensidade luminosa, estresse vegetal e atividade micorrízica no solo constitui um campo de investigação relevante. Com isso, o objetivo deste trabalho foi verificar a atividade micorrízica em plantas de alface submetidas a diferentes níveis de intensidade luminosa sob condições de estresse hídrico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Informações gerais

O trabalho foi realizado em casa de vegetação no Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x2, com 4 repetições. Foram utilizados LED (rbw) em quatro intensidades luminosas, 100, 200, 300 e 400 $\mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$. O déficit hídrico foi realizado em duas lâminas de irrigação, sendo 50% e 100% da capacidade de campo. Foram adquiridas mudas de alface da cultivar crespa em um comércio de Rio Verde – Goiás, estas possuíam 7 dias de germinação. Foram coletadas amostras de solo rizosférico compostas por 3 amostras simples coletadas aleatoriamente em cada parcela.

As análises foram realizadas no laboratório de microbiologia agrícola da Faculdade Evangélica de Goianésia. Os esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) foram extraídos de 50 cm³ solo rizosférico pela técnica de peneiramento úmido (Gerdemann and Nicolson, 1963) seguida por centrifugação em água e solução de sacarose 50 %. Os esporos foram separados de acordo com as características fenotípicas como cor, tamanho e forma, compondo os diferentes morfotipos, sob lupa binocular estereoscópica.

Para a determinação da porcentagem de colonização, as raízes foram clarificadas e coradas com 0,05% de Azul-de- Trypan em lactoglicerol (Phillips and Hayman, 1970) e a avaliação da colonização será feita em microscópio estereoscópico, seguindo a técnica de interseção dos quadrantes (Giovannetti and Mosse, 1980).

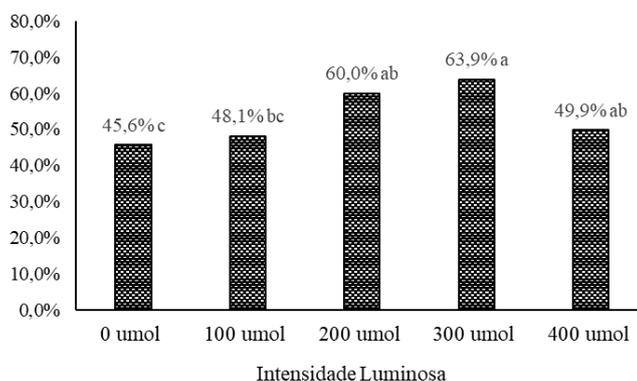
Para a identificação dos gêneros de FMAs a partir das características morfológicas, os esporos foram separados de acordo com os morfotipos e montados em lâminas com polivinil-lacto-glicerol (PVLG) puro e PVLG misturados com Melzer (1:1 v/v). Para subsidiar o trabalho de identificação, será utilizado artigos originais da descrição das espécies e descrições das espécies fornecidas no site da “International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi” (INVAM, 2022).

2.2. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade. A análise de variância (teste F) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) de probabilidade. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo programa Agrostat (Agrostat, 2020) e as análises estatísticas de correspondência canônica foram realizadas pelo software Past (Hammer, 2021).

3. RESULTADOS

Foi verificada diferença estatística ao observar a influência da intensidade luminosa sobre a taxa de colonização micorrízica, entretanto a disponibilidade hídrica não influenciou sobre esta variável resposta (Figura 1).



A

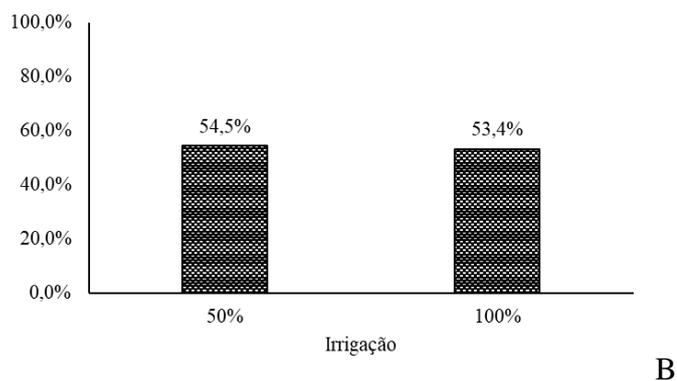
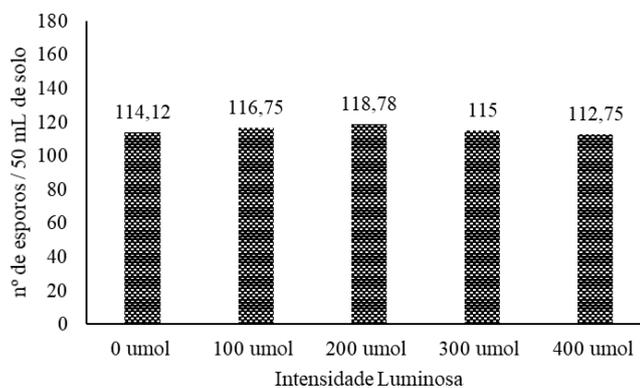


Figura 1. Taxa de Colonização Micorrízica (%) em alface sob diferentes intensidades luminosas (A) e sob diferentes níveis de irrigação (B).

O tratamento com intensidade luminosa de $300 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$ apresentou valores mais elevados de colonização micorrízica, 63,9%, em detrimento aos demais tratamentos, e o tratamento controle apresentou os valores mais baixos de taxa de colonização, 45,6% (Figura 1A). Já os tratamentos com 100% e 50% da disponibilidade hídrica para as plantas não influenciaram o desenvolvimento dos fungos dentro das raízes das plantas avaliadas (Figura 1B).

E ao avaliar a densidade de esporos no solo rizosférico, tanto a intensidade luminosa, quanto a disponibilidade hídrica não apresentaram influência sobre o desenvolvimento dos fungos micorrízicos em solo (Figura 2).



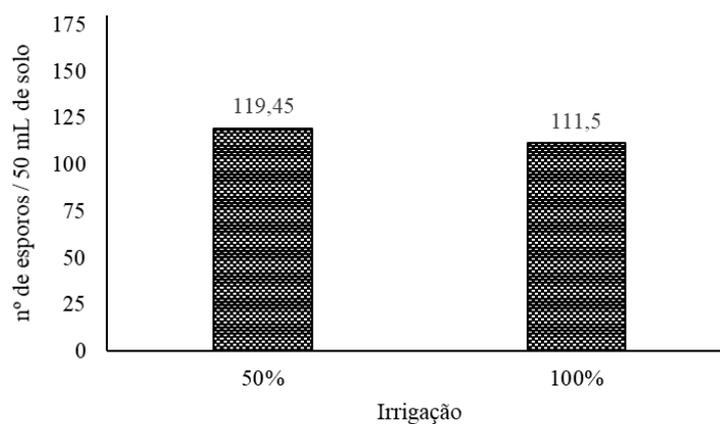


Figura 2. Densidade de Esporos (Nº de esporos / 50 mL de solo) em alface sob diferentes intensidades luminosas (A) e sob diferentes níveis de irrigação (B).

Os gêneros de Fungos Micorrízicos Arbusculares identificados em rizosfera de alface cultivado sob diferentes intensidades luminosas e diferentes níveis de irrigação estão descritos na tabela 1. Os gêneros *Glomus* e *Scutellospora* foram aqueles identificados em todas as condições de luminosidade.

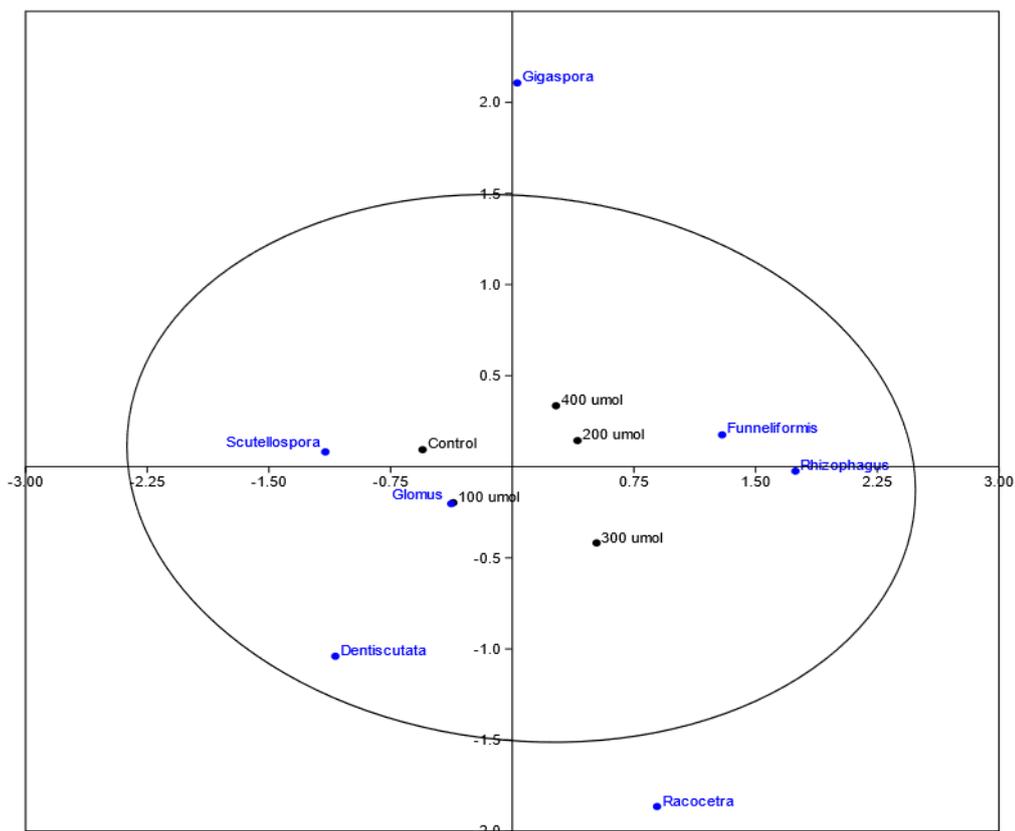
Tabela 1. Gêneros de Fungos Micorrízicos Arbusculares identificados em rizosfera de Alface cultivado sob diferentes intensidades luminosas e diferentes níveis de irrigação.

Gêneros	Controle		100 µmol		200 µmol		300 µmol		400 µmol	
	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%
Acaulospora		x			x	x	x	x	x	x
Ambispora										x
Archaeospora		x		x		x	x	x	x	x
Cetraspora				x	x				x	x
Claroideoglosum	x		x							
Dentiscutata	x	x	x	x			x		x	
Funneliformis		x			x		x	x	x	x
Gigaspora		x		x		x				x
Glomus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Racocetra			x		x		x	x	x	
Rhizophagus				x	x	x	x	x	x	x

Scutellospora	x	x	x	x	x	x
---------------	---	---	---	---	---	---

Os gêneros *Cetraspora*, *Gigaspora*, *Funneliformis*, *Racocetra* e *Ambispora* foram menos frequentemente identificados no solo rizosférico das plantas submetidas aos tratamentos de intensidade luminosa e disponibilidade hídrica.

A análise de correspondência canônica traça correlação entre a presença dos gêneros identificados com as plantas cultivadas sobre as condições aplicadas aos tratamentos (Figura 3). Os gêneros *Gigaspora* e *Racocetra* apresentam maior distanciamento do grupo de tratamentos de intensidade luminosa (Figura 3 A) e ao analisar a correlação dos gêneros identificados com os regimes hídricos não foi verificado nenhum distanciamento entre a presença dos gêneros e os tratamentos.



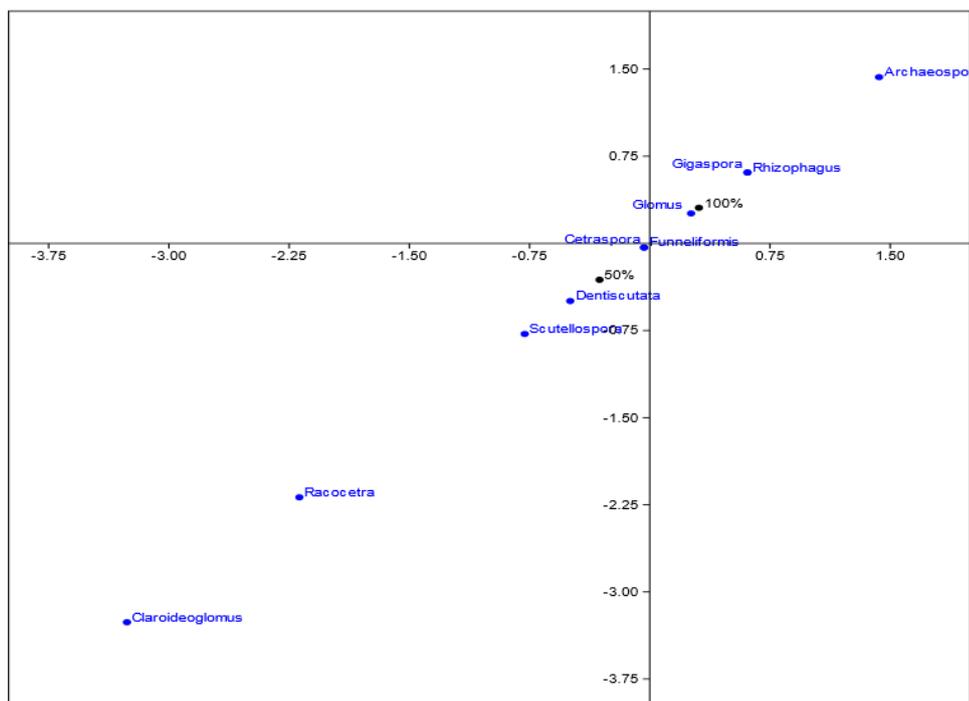


Figura 3. Análise de Correspondência Canônica de Gêneros de Fungos Micorrízicos Arbusculares identificados em rizosfera de Alfaca cultivado sob diferentes intensidades luminosas (A) e diferentes níveis de irrigação (B).

4. DISCUSSÃO

A influência da intensidade luminosa no desenvolvimento vegetal é um aspecto fundamental no cultivo de plantas. A luz é um dos principais fatores ambientais que afetam a fotossíntese, o crescimento, a diferenciação celular e o desenvolvimento do vegetal (Taiz et al., 2017). A intensidade luminosa adequada é essencial para a otimização desses processos, uma vez que a luz é utilizada pelas plantas para converter dióxido de carbono e água em açúcares, que são a principal fonte de energia para o crescimento e desenvolvimento vegetal (Ruban, 2009).

A intensidade luminosa pode afetar diretamente a atividade dos FMAs, uma vez que em valores inadequados, sejam eles em excesso ou em falta, submetem o vegetal a condição de estresse, que por sua vez acaba por estimular atividade micorrízica no solo e nas raízes (Son et al., 1988)

Tal comportamento pode ser verificado na figura 1A, em que os valores mais elevados de intensidade luminosa, $300 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$ promoveram maior taxa de colonização micorrízica, 63,9%. O tratamento controle, que foi cultivado sob condições naturais de luminosidade apresentou valores inferiores de taxa de colonização, 45,6%. O que indica que a maior incidência luminosa pode ter submetido ao vegetal a condição estressante, e este recorreu ao auxílio dos FMA.

Entretanto, não foram observadas diferenças nos valores de densidade de esporos em nenhum dos tratamentos investigados (Figura 2). A taxa de colonização micorrízica remete ao estresse ocasionado ao vegetal, que por sua vez estimula o aumento da colonização das raízes pelos FMAs. Já a densidade de esporos é um parâmetro de atividade do fungo no solo, que somente altera quando o fungo sofre alguma influência ambiental, independente da ligação com as plantas (Giovannetti and Mosse, 1980; Abbott and Robson, 1991; Akaji et al., 2021). Sendo assim, é possível inferir que a alteração da intensidade luminosa afetou somente o desenvolvimento do vegetal, não atingindo as condições de desenvolvimento do fungo no solo.

O estresse hídrico é uma condição ambiental adversa que pode afetar significativamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Nesse contexto, as micorrizas, especialmente as micorrizas arbusculares, desempenham papel crucial, ajudando as plantas a lidar com o estresse hídrico (Augé, 2001; Baslam and Goicoechea, 2012; Augé et al., 2015). O aumento da atividade micorrízica em plantas sob estresse hídrico é uma estratégia adaptativa que melhora a absorção de água, regula o estresse osmótico, aumenta a resistência ao estresse e modifica as interações solo-planta para melhor suportar condições de baixa disponibilidade hídrica (Al-Karaki et al., 2004; Boutasknit et al., 2020). Não foram verificadas diferenças na atividade micorrízica (Figura 1B e 2B) nas condições de disponibilidade hídrica em que as plantas foram submetidas, indicando que a quantidade de água fornecida foi suficiente para o desenvolvimento das plantas sem que estas estivessem em condições de estresse.

5. CONCLUSÕES

A intensidade luminosa inadequada pode induzir estresse nas plantas, que por sua vez estimula a atividade dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) nas raízes. Isso é evidenciado pelo aumento da taxa de colonização micorrízica sob maior intensidade luminosa, sugerindo que as plantas recorrem aos FMAs como estratégia de enfrentamento do estresse.

Não foi verificada diferenças na atividade micorrízica sob diferentes condições de disponibilidade hídrica, indicando que a quantidade de água fornecida foi suficiente para o desenvolvimento das plantas sem induzir estresse hídrico.

6. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbott, L. K., and Robson, A. D. (1991). Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Agric. Ecosyst. Environ.* 35, 121–150. doi: 10.1016/0167-8809(91)90048-3

Adeyemi, N. O., Atayese, M. O., Sakariyawo, O. S., and Azeez, J. O. (2021). Mycorrhizal growth and phosphorus responses of tropical soybean (*Glycine max* L.) cultivars differ with arbuscular mycorrhizal fungi isolates and phosphorus application rates in a derived-savanna zone of Nigeria. *J. Plant Nutr.* 0, 1–17. doi: 10.1080/01904167.2021.1994593

Agrostat (2020). AGROSTAT - Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. Available at: <http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm> (Accessed April 9, 2020).

Akaji, Y., Inoue, T., Taniguchi, T., and Baba, S. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungal communities of a mangrove forest along a salinity gradient on Iriomote Island. *Plant Soil*. doi: 10.1007/s11104-021-05193-4

- Al-Karaki, G., McMichael, B., and Zak, J. (2004). Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza* 14, 263–269. doi: 10.1007/s00572-003-0265-2
- Augé, R. M. (2001). Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11, 3–42. doi: 10.1007/s005720100097
- Augé, R. M., Toler, H. D., and Saxton, A. M. (2015). Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. *Mycorrhiza* 25, 13–24. doi: 10.1007/s00572-014-0585-4
- Baslam, M., and Goicoechea, N. (2012). Water deficit improved the capacity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) for inducing the accumulation of antioxidant compounds in lettuce leaves. *Mycorrhiza* 22, 347–359. doi: 10.1007/s00572-011-0408-9
- Boutasknit, A., Baslam, M., Ait-El-Mokhtar, M., Anli, M., Ben-Laouane, R., Douira, A., et al. (2020). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Mediate Drought Tolerance and Recovery in Two Contrasting Carob (*Ceratonia siliqua* L.) Ecotypes by Regulating Stomatal, Water Relations, and (In)Organic Adjustments. *Plants* 9, 80. doi: 10.3390/plants9010080
- Ezawa, T., and Saito, K. (2018). How do arbuscular mycorrhizal fungi handle phosphate? New insight into fine-tuning of phosphate metabolism. *New Phytol.* doi: 10.1111/nph.15187
- Gehring, C. A. (2003). Growth responses to arbuscular mycorrhizae by rain forest seedlings vary with light intensity and tree species. *Plant Ecol.* 167, 127–139. doi: 10.1023/A:1023989610773
- Gerdemann, J. W., and Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46, 235–244. doi: 10.1016/S0007-1536(63)80079-0
- Giovannetti, M., and Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.* 84, 489–500. doi: 10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x

Hammer, Ø. (2021). Past 4.x - PAleontological STatistics.

Hayman, D. S. (1974). Plant Growth Responses to Vesiculararbuscular Mycorrhiza. *New Phytol.* 73, 71–80. doi: 10.1111/j.1469-8137.1974.tb04607.x

INVAM (2022). International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi | West Virginia University. *Int. Cult. Collect. Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi*. Available at: <https://invam.ku.edu/>

Iqbal, Z., Iqbal, M. S., Hashem, A., Abd_Allah, E. F., and Ansari, M. I. (2021). Plant Defense Responses to Biotic Stress and Its Interplay With Fluctuating Dark/Light Conditions. *Front. Plant Sci.* 12. Available at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.631810> (Accessed January 19, 2024).

Moura, J. B., and Cabral, J. S. R. (2019). “Mycorrhizas in Central Savannahs: Cerrado and Caatinga,” in *Mycorrhizal Fungi in South America Fungal Biology.* , eds. M. C. Pagano and M. A. Lugo (Cham: Springer International Publishing), 193–202. doi: 10.1007/978-3-030-15228-4_10

Phillips, J. M., and Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55, 158–161. doi: 10.1016/S0007-1536(70)80110-3

Ruban, A. V. (2009). Plants in light. *Commun. Integr. Biol.* 2, 50–55. doi: 10.4161/cib.2.1.7504

Shi, G., Liu, Y., Johnson, N. C., Olsson, P. A., Mao, L., Cheng, G., et al. (2014). Interactive influence of light intensity and soil fertility on root-associated arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil* 378, 173–188. doi: 10.1007/s11104-014-2022-z

Son, C. L., Smith, F. A., and Smith, S. E. (1988). Effect of light intensity on root growth, mycorrhizal infection and phosphate uptake in onion (*Allium cepa* L.). *Plant Soil*, 183–186.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., and Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora. Available at: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=PpO4DQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=fisiologia+vegetal+taiz&ots=7SA1xRBNTb&sig=01GR62HzyxM96vIkZlp2ZTv1dzE> (Accessed January 19, 2024).

Velez-Ramirez, A. I., Ieperen, W. van, Vreugdenhil, D., and Millenaar, F. F. (2011).
Plants under continuous light. *Trends Plant Sci.* 16, 310–318. doi:
10.1016/j.tplants.2011.02.003

CONCLUSÃO GERAL

Conclui-se que as diferentes intensidades luminosas juntamente com as diferentes lâminas de irrigação afetam diretamente a qualidade de plantas de alface a partir das análises biométricas, fisiológicas e bioquímicas, e a atividade micorrízica. A adequação da intensidade luminosa é essencial para otimizar processos como fotossíntese, crescimento e desenvolvimento.

Os parâmetros biométricos obtiveram melhor desenvolvimento nas intensidades luminosas de 100 e 300 $\mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$. Já os parâmetros bioquímicos reduziram sua atividade com o aumento da intensidade luminosa.

Para a atividade micorrízica, pode-se observar que as intensidades luminosas interferiram no crescimento dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) nas raízes, aumentando a taxa de colonização sob maior intensidade luminosa.

Para as lâminas de irrigação, aquela que se observou melhor desenvolvimento biométrico, fisiológico e bioquímico foi a de 100% da capacidade de campo, totalizando para cada planta 120 ml diários de água. Já para a atividade micorrízica não foi observado diferenças no desenvolvimento, concluindo que a quantidade de água fornecida foi suficiente.