

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

DAVI DE SOUZA ALVES

**EFEITO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE
HELIANTHUS ANNUUS PARA APLICAÇÃO EM BIOENSAIO**

ALFENAS/MG

2025

DAVI DE SOUZA ALVES

**EFEITO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE
HELIANTHUS ANNUUS PARA APLICAÇÃO EM BIOENSAIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Bacharel em Ciências Biológicas pela
Universidade Federal de Alfenas.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Barbosa

Coorientador: Me. Arthur Arnoni Occhiutto

ALFENAS/MG

2025

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Central

Alves, Davi de Souza.

Efeito das condições ambientais sobre o desenvolvimento de *Helienthus annuus* para aplicação em bioensaio / Davi de Souza Alves. - Alfenas, MG, 2025.

40 f. : il. -

Orientador(a): Sandro Barbosa.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2025.

Bibliografia.

1. Desenvolvimento vegetal. 2. Fatores ambientais. 3. Girassol ano. I. Barbosa, Sandro, orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.

DAVI DE SOUZA ALVES

**EFEITO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE
HELIANTHUS ANNUUS PARA APLICAÇÃO EM BIOENSAIO**

O Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Alfenas.

Aprovada em: 3 de dezembro de 2025

Prof. Dr. Sandro Barbosa
Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

Dra. Alexandra dos Santos Ambrósio
Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

Dra. Erika dos Santos Silva
Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

Dedico este trabalho à minha família, aos meus professores, orientadores e amigos, uma vez que seu apoio e sua companhia me sustentaram mais do que podem imaginar.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força e proteção durante a trajetória acadêmica.

A Universidade Federal de Alfenas, pela oportunidade e pela formação acadêmica e pessoal.

Ao Prof^o Dr. Sandro Barbosa, meu orientador, pelos conhecimentos transmitidos, orientação e confiança.

Ao Me. Arthur Arnoni Occhiutto, meu co-orientador, pela colaboração, paciência, disponibilidade e orientação.

Ao Laboratório de Biotecnologia Ambiental e Genotoxicidade - BIOGEN, pelo apoio estrutural, técnico e pessoal durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Coordenação do Curso de Graduação, pela política de incentivo, suporte e apoio.

Aos servidores e técnicos, pela dedicação, cuidado e zelo pelo ambiente acadêmico.

À minha família, pelo apoio, compreensão e amor incondicional.

O que realmente importa é ter a sensação de que se está tocando a própria natureza trabalhando.

(Barbara McClintock)

RESUMO

Fatores ambientais podem afetar o desenvolvimento vegetal devido ao impacto que exercem sobre processos metabólicos, fisiológicos e morfológicos. Nesse contexto, o girassol-anão (*Helianthus annuus* L.) destaca-se como modelo promissor em bioensaios que buscam entender a influência de fatores sobre o desenvolvimento vegetal por apresentar elevada sensibilidade a variações ambientais. Este trabalho teve como objetivo avaliar quais condições ambientais são adequadas para garantir a germinação, o crescimento e o desenvolvimento do girassol-anão para bioensaio, por meio do cultivo em três ambientes diferentes: dois ambientes *indoor* (câmara BOD e sala de crescimento) e ambiente *outdoor*. O experimento foi conduzido durante 70 dias, utilizando cinco vasos por ambiente, cada um contendo cinco sementes. As plantas foram observadas ao longo de seu desenvolvimento, considerando parâmetros visuais e morfológicos, como germinação, crescimento, formação de botões florais, sinais de estresse e padrões adaptativos relacionados à luminosidade, temperatura e umidade. Os resultados evidenciaram diferenças expressivas entre os ambientes: na câmara BOD, a iluminação unilateral gerou forte fototropismo, estiolamento, ausência de florescimento e elevada mortalidade ao final do experimento. A sala de crescimento apresentou desenvolvimento intermediário, porém com ocorrência de clorose, fungos e presença de insetos associados à alta umidade do substrato. O ambiente *outdoor* proporcionou o melhor desempenho, com arquitetura equilibrada e formação de botões florais, favorecidos pela variação térmica natural e pela exposição à luz solar de espectro completo. Conclui-se que o ambiente *outdoor* é o mais adequado para o cultivo de *Helianthus annuus*, e que o cultivo destas plantas em ambientes controlados requer atenção especial a fatores como temperatura, luminosidade e umidade.

Palavras-chave: Desenvolvimento vegetal; Fatores ambientais; Girassol anão.

ABSTRACT

Environmental factors can affect plant development due to the impact they exert on metabolic, physiological, and morphological processes. In this context, the dwarf sunflower (*Helianthus annuus* L.) stands out as a promising model in bioassays that seek to understand the influence of factors on plant development because it presents high sensitivity to environmental variations. This work aimed to evaluate which environmental conditions are suitable to ensure the germination, growth, and development of the dwarf sunflower for bioassay, through cultivation in three different environments: two *indoor* environments (BOD chamber and growth room) and an *outdoor* environment. The experiment was conducted for 70 days, using five pots per environment, each containing five seeds. The plants were observed throughout their development, considering visual and morphological parameters, such as germination, growth, formation of floral buds, signs of stress, and adaptive patterns related to light, temperature, and humidity. The results showed significant differences between the environments: in the BOD chamber, unilateral lighting generated strong phototropism, etiolation, absence of flowering, and high mortality at the end of the experiment. The growth room presented intermediate development, but with the occurrence of chlorosis, fungi, and the presence of insects associated with the high humidity of the substrate. The *outdoor* environment provided the best performance, with balanced architecture and formation of floral buds, favored by natural thermal variation and exposure to full-spectrum sunlight. It is concluded that the outdoor environment is the most suitable for the cultivation of *Helianthus annuus*, and that the cultivation of these plants in controlled environments requires special attention to factors such as temperature, light, and humidity.

Keywords: Plant development; Environmental factors; Dwarf sunflower.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenvolvimento inicial das plântulas	19
Figura 2 - Efeito de posição das plantas cultivadas em câmara BOD	20
Figura 3 - Crescimento das plantas cultivadas em câmara BOD	20
Figura 4 - Crescimento das plantas cultivadas em sala de crescimento	21
Figura 5 - Crescimento das plantas cultivadas em ambiente <i>outdoor</i>	22
Figura 6 - Efeito de posição nas plantas cultivadas em ambiente <i>outdoor</i>	23
Figura 7 - Botões florais	24
Figura 8 - Murcha das plantas cultivadas em câmara BOD	25
Figura 9 - Morte das plantas cultivadas em câmara BOD	25
Figura 10 - Deficiências em plantas cultivadas em sala de crescimento	27
Figura 11 - Inseto invasor presente no substrato	27
Figura 12 - Plantas ao final do experimento	28
Figura 13 - Comparação das plantas ao final do experimento	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 OBJETIVOS.....	11
1.1.1 Objetivo geral.....	11
1.1.2 Objetivos específicos.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 BIOENSAIOS VEGETAL.....	13
2.2 INFLUÊNCIA DO AMBIENTE.....	13
2.2.1 Luminosidade.....	13
2.2.2 Temperatura	14
2.2.3 Umidade.....	15
2.3 GIRASSOL ANÃO COMO MODELO VEGETAL.....	15
4 METODOLOGIA.....	16
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
6 CONCLUSÃO.....	29
REFERÊNCIAS.....	29

1 INTRODUÇÃO

O crescimento e desenvolvimento das plantas é diretamente afetado por fatores ambientais, como luz, temperatura e umidade, exercendo grande influência no ajuste de seus processos fisiológicos e metabólicos (Alsubhi e Alzahrani, 2024; Razzaq e Du, 2025). A luz desempenha um papel crucial na regulação do crescimento e do ciclo circadiano das plantas por meio da fotossíntese e ativação genética. A temperatura também influencia as fases fenológicas e pode gerar estresses que impactam a produtividade a depender de sua intensidade (Ahmad *et al.*, 2022; Hassan *et al.*, 2024). A umidade relativa, por sua vez, afeta as trocas gasosas e a saúde geral da planta, influenciando tanto a fotossíntese quanto a distribuição de nutrientes (Ampim *et al.*, 2022), de modo que tais fatores naturais estejam intimamente interligados ao desenvolvimento das plantas. O estudo dessas relações permite uma melhor compreensão do comportamento dos organismos vegetais frente às alterações do ambiente, bem como as especificidades de cada espécie (Durán-Nebrida e Bassel, 2019).

Neste cenário e em meio às inúmeras mudanças no clima impulsionadas pela ação antrópica, os bioensaios vegetais vem se destacando no monitoramento e avaliação ambiental devido à sua simplicidade, baixo custo e menor impacto ético em relação aos modelos animais (Marcussi *et al.*, 2023). Experimentos que utilizam plantas são frequentemente empregados para monitorar e identificar efeitos tóxicos de contaminantes em diversos ambientes (da Silva; Andrade-Vieira, 2025) e também são eficientes para avaliar a influência de fatores ambientais sobre as diferentes fases fenológicas de diferentes espécies, seja na germinação ou no desenvolvimento da planta (Yamashita *et al.*, 2008; Islam *et al.*, 2021).

O girassol (*Helianthus annuus* L.), nativo da América do Norte, é uma heliófita pertencente à família Asteraceae (Kantar *et al.*, 2021), que se adaptou bem ao Brasil devido sua maior resistência a temperaturas elevadas e condições de baixa umidade (Castro e Leite, 2018). Seu movimento heliotrópico faz com que sua inflorescência (do tipo capítulo) se oriente em direção ao Sol, seguindo seu percurso ao longo do dia, característica responsável pelo nome popular da espécie (Gai *et al.*, 2020). A capacidade adaptativa do girassol, somado às características edafoclimáticas do Brasil e ao amplo melhoramento e cultivo histórico, permitiu o surgimento de um grande número de variedades da espécie, com amplas formas de uso (Guo, Ge e Na Jom, 2017).

A variedade girassol anão, modelo vegetal desse estudo, apresenta porte reduzido, ciclo de vida curto (Vilvert *et al.*, 2018), e, além do seu valor como planta ornamental, possui grande potencial para fitorremediação, sendo capaz de acumular metais pesados em solos contaminados, apresentando respostas morfológicas, fisiológicas e antioxidantes às alterações as quais são expostos, o que reforça sua relevância ecológica e econômica (Yasdanbakhsh, 2020; Waseen, 2024).

O uso de plantas em bioensaios é essencial para o desenvolvimento de novas tecnologias, para o entendimento de como certos fatores podem afetar sistemas biológicos e para a busca de soluções para diversos problemas, principalmente no âmbito ambiental. Nesse sentido, o girassol anão se destaca como um sistema biológico promissor a ser usado como bioensaio, devido à sua rápida adaptação a diversos ambientes e respostas fisiológicas sensíveis às mudanças ambientais (Guimarães, 2018). Porém, é necessário, antes de tudo, identificar as melhores condições para o cultivo do girassol anão, e um dos fatores principais é o ambiente de cultivo. Diferentes ambientes podem gerar diferentes respostas morfofisiológicas nas plantas, por apresentarem variações na temperatura, luminosidade, umidade relativa, entre outros fatores. Dessa forma, identificar o tipo de ambiente que favorece o cultivo de *Helianthus annuus* é essencial para o desenvolvimento de bioensaios utilizando essa espécie.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo entender como o ambiente de cultivo pode afetar o crescimento e desenvolvimento de *Helianthus annuus*. Para isso, foram avaliados três ambientes: dois ambientes *indoor* (sala de crescimento e câmara BOD) e um ambiente *outdoor*. Também tem por objetivo identificar as melhores condições para o cultivo dessa espécie, para padronizar futuros bioensaios que a utilizem.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- a) Selecionar ambientes com diferentes condições que possam introduzir variações morfológicas no desenvolvimento de *Helianthus annuus*;
- b) Avaliar o crescimento e desenvolvimento do girassol ao longo do tempo;

- c) Avaliar as características morfológicas apresentadas pelo girassol nos diferentes ambientes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 BIOENSAIOS VEGETAIS

Bioensaios vegetais consistem na utilização de plantas ou sementes utilizadas para análise de compostos químicos, amostras ambientais, contaminantes ou substâncias, constituindo uma importante ferramenta na análise de riscos ambientais em experimentos ecotoxicológicos, auxiliando na tomada de decisões e na avaliação de risco ambiental, com potencial para prever e mitigar impactos ambientais (da Silva; Andrade-Vieira, 2025; Ma *et al.*, 1999). Apesar de grande parte dos experimentos com bioensaios se utilizarem de animais (Khabib *et al.*, 2022), Marcussi *et al.* (2023) demonstrou que, mesmo diante da distância evolutiva, há uma correlação consistente entre os dados provenientes de plantas e os obtidos em células animais, indicando que modelos vegetais podem ser uma alternativa ágil, econômica e de fácil aplicação para complementar ou até substituir modelos convencionais para determinadas análises, além de requererem protocolos menos complexos.

A eficiência dos organismos vegetais em detectar agentes estressores no ambiente foi demonstrada inicialmente pelo programa de Toxicologia Genética (Gene-Tox) da Agência de Proteção Ambiental dos EUA, no final da década de 1970. Os principais sistemas vegetais descritos pelo programa foram *Arabidopsis thaliana*, *Allium cepa*, *Vicia baba*, *Hordeum vulgare*, *Zea mays*, *Tradescantia paludosa* e *Glycine max* (Ma, 1999). No entanto, atualmente, vários outros organismos são frequentemente utilizados como bioensaios como *Lactuca sativa* (Aguilar-Ascón; Marrufo-Saldaña; Barra-Hinojosa, 2024), *Lamna* sp. (Mkandawire; da Silva; Dudel, 2014), *Pisum* sp. (Grant; Owens, 2001) e várias espécies de macrófitas (Wang; Freemark, 1995).

Além das iniciativas internacionais, o uso de bioensaios vegetais também é amplamente demonstrado pelos estudos desenvolvidos no Laboratório de Biotecnologia Ambiental e Genotoxicidade (BIOGEN) da UNIFAL-MG, onde o presente trabalho foi conduzido. Experimentos que se utilizam desses organismos permitem avaliar a capacidade tóxica de determinados compostos, como no ensaio conduzido por Calvelli (2023) que investigou a capacidade alelopática de compostos químicos de *Duranta erecta* L sobre o bioensaio *Lactuca sativa* L e Cunha Neto *et al.*, (2023), que avaliou o efeito de diferentes

concentrações de metais pesados no crescimento, fisiologia, metabolismo e ciclo celular do bioensaio *Allium cepa*. Tais avaliações são feitas por meio da análise de parâmetros mensuráveis como a porcentagem de germinação e a taxa de sobrevivência, e características morfológicas como o comprimento de raiz, comprimento de parte aérea, massa fresca e sintomas de fitotoxicidade (da Silva; Andrade-Vieira, 2025). Além disso, também são eficientes para a detecção de efeitos genotóxicos causados por agentes mutagênicos e clastogênicos, possibilitando a análise de alterações no material genético do organismo, por meio da medição do índice mitótico, de aberrações cromossômicas e da fragmentação do DNA (Martins *et al.*, 2025), fazendo dos bioensaios vegetais poderosas ferramentas de monitoramento e avaliação ambiental.

2.2 INFLUÊNCIA DO AMBIENTE SOBRE O DESENVOLVIMENTO

Através da análise da fenologia vegetal, compreende-se como a planta responde a diversas condições ambientais (Alsubhi; Alzahrani, 2023), sinais como luz, temperatura, umidade e outros. Tais fatores externos cíclicos regulam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, devido a grande influência em seu ciclo circadiano (Vandenbrinck *et al.*, 2014). Quando estão fora das condições ideais, fatores como altas temperaturas e excesso de luz e seca, frequentemente geram estresse (Kulundzić *et al.*, 2022). As alterações desses sinais ambientais são convertidas em informações temporais que levam a alterações nas expressões de genes responsáveis por programas metabólicos, fisiológicos e bioquímicos de forma sincronizada com o ambiente externo. Portanto, o relógio circadiano depende de sinais ambientais extrínsecos, como luz e temperatura, para coordenar o metabolismo e o desenvolvimento das plantas (Zwang *et al.*, 2023).

2.2.1 Luminosidade

Dentre os fatores ambientais que modulam as funções biológicas das plantas, a luminosidade é o sinal externo mais importante, já que sua variação afeta diretamente o desenvolvimento dos vegetais, permitindo até mesmo a antecipação de mudanças sazonais (Razzaq, 2025; Osnato *et al.*, 2022). A intensidade e o amplo espectro de comprimentos de onda da luz desempenham papéis importantes em vários processos fisiológicos (Wu *et al.*, 2025). A captação de luz pelos fotorreceptores ativam vias de sinalização moduladas por fitormônios que regulam a germinação e o desenvolvimento da planta no processo de fotomorfogênese (Wei; Wang; Yu, 2023; Razzaq, 2025). A luz também é fundamental para que ocorra fotossíntese, já que a energia provinda da radiação é convertida em energia

fotoquímica, possibilitando a produção de açúcares e energia (ATP) para o crescimento e desenvolvimento através da divisão e diferenciação celular (Johnson, 2016). Além disso, a luz ainda estimula a síntese de clorofila, promove o crescimento dos tecidos e regula o movimento estomático (Osnato *et al.*, 2022), processos importantes para a eficiência da fotossíntese, a manutenção do balanço hídrico e o desenvolvimento geral das plantas (Taiz *et al.*, 2017).

A captação de luz pela planta acarreta uma cascata de eventos moleculares, ativando genes e vias hormonais responsáveis pelo relógio circadiano e o fotoperíodo em diferentes momentos do dia. Essa captação ativa redes gênicas semelhantes que respondem a mudanças na duração dos ciclos de luz e escuridão, de modo que diferentes fotoperíodos geram padrões de crescimento distintos. Muitos outros aspectos do desenvolvimento também são afetados por mudanças na duração do dia, as plantas podem ajustar seu crescimento a horários e estações específicas do dia, a fim de otimizar a coleta de luz e prevenir a sombra, por meio de alterações estruturais durante o fototropismo (Osnato *et al.*, 2022; Urrea-Castellanos; Caldana; Henriques, 2022).

2.2.2 Temperatura

A temperatura também exerce papel fundamental na germinação de sementes e no crescimento da parte aérea da planta (Ahmad; Cashmore, 2022), além de promover o crescimento primário e secundário das raízes. Todavia, sob altas temperaturas, o efeito contrário pode ocorrer (Seiler, 1998). As diferentes temperaturas desencadeiam reações bioquímicas que controlam os intrínsecos processos de desenvolvimento das plantas, como o início do crescimento, o avanço da brotação, a saída de folhas, flores e frutos, e o atraso da senescência durante as diferentes estações do ano (Hassan *et al.*, 2024). Pequenas alterações podem influenciar na fenologia da planta em diferentes estágios de desenvolvimento (Hassan *et al.*, 2024), afetando significativamente atividades celulares, expressão gênica, características anatômicas, orientação funcional e estrutural de folhas, galhos, raízes e brotos, bem como a floração, a frutificação e a biomassa (Ahmad; Cashmore, 2022).

O estresse gerado durante estágios críticos de crescimento, como o estresse por temperatura ou o estresse hídrico, pode reduzir drasticamente a produtividade de culturas, interromper as atividades enzimáticas e prejudicar processos fisiológicos essenciais, como a fotossíntese, o metabolismo de carboidratos, a síntese de proteínas, a defesa antioxidante e a regulação de fitohormônios (Mahajan *et al.*, 2025). As alterações fenológicas em razão das

alterações de temperatura podem, por sua vez, perturbar as interações planta-polinizador e causar uma redução na produção de sementes, afetando os processos ecológicos e evolutivos. As mudanças na fenologia, são o indicador biológico mais observado das mudanças climáticas, servindo como uma importante ferramenta no monitoramento dos impactos do aquecimento global (Hassan *et al.*, 2024).

2.2.3 Umidade

A umidade relativa do ar, frequentemente avaliada por meio do déficit de pressão de vapor (VPD), é um fator fundamental que influencia o crescimento das plantas, impactando sua fisiologia em níveis anatômicos, bioquímicos e no desenvolvimento geral, com variações expressivas entre espécies (López; Way; Sadok, 2021). O controle da umidade relativa em ambientes protegidos é essencial para manter a composição fitoquímica e a capacidade antioxidante (Ampim; Obeng; Oliveira-Gonzalez, 2022). Atualmente, o elevado VPD, impulsionado pelo aquecimento global, é responsável por limitações fotossintéticas decorrentes da redução da condutância estomática, para minimizar a perda de água (López; Way; Sadok, 2021).

As plantas sofrem danos tanto em situações de alto quanto de baixo VPD, pois nesses contextos ocorre redução da taxa de evapotranspiração e do fluxo de seiva pelo floema, comprometendo o transporte de íons e causando deficiência nutricional (Ampim; Obeng; Oliveira-Sadok, 2022). López (2021) demonstrou que o aumento do VPD reduz o rendimento e a produtividade das plantas, gerando alterações na anatomia foliar, na nutrição e no balanço hormonal. Essa redução também está ligada a impactos negativos no desenvolvimento reprodutivo, a modificações na arquitetura, taxas de crescimento e, em casos extremos, podem levar à morte das plantas (Grzelak; Pacholczak; Nowakowska, 2024).

2.3 GIRASSOL ANÃO COMO MODELO VEGETAL PARA BIOTESTES

O girassol anão é uma variedade de *Helianthus annuus L.* usada principalmente para fins ornamentais devido ao menor tamanho, ao seu visual chamativo, com inflorescência de cores vibrantes, e a sua facilidade de manejo (Luna *et al.*, 2025; Silva *et al.*, 2022). Pertencentes à família Asteraceae, seu ciclo de vida é curto, com o tempo entre o plantio e a colheita sendo de aproximadamente 52 a 69 dias, caracterizando-o como uma espécie de fácil cultivo, principalmente as cultivares sem pólen, que apresentam maior vida útil em vaso e melhor qualidade para arranjos florais (Chew *et al.*, 2024; Lovejoy; Smemo, 2021; Shatoori;

Saffari; Farahmand, 2020; Vilvert *et al.*, 2018). Suas características morfológicas, tais como a inflorescência em capítulo e o heliotropismo, conferem atributos essenciais para o seu desenvolvimento e atração visual, explicando também o nome popular (Chew *et al.*, 2024; Ecker, 2013). Essa espécie de metabolismo C3 (Vanaja *et al.*, 2011) possui grande adaptabilidade, apresentando certa tolerância a seca e à altas temperaturas (García-López *et al.*, 2022) com temperatura ótima de 25 °C na fase de desenvolvimento inicial (Haj Sghaier *et al.*, 2023). Suas características estruturais e adaptáveis também permitem seu desenvolvimento mesmo em solos com baixa fertilidade, o que contribui para sua resistência e versatilidade no cultivo (de Luna *et al.*, 2025; Chew *et al.*, 2024).

O heliotropismo, característico do girassol, é o fenômeno que consiste na tendência de alguns órgãos e tecidos se direcionarem continuamente em direção ao sol, movendo-se de leste a oeste, voltando para leste durante a noite e cessando o movimento antes da antese, ao amanhecer (Vandenbrink *et al.*, 2014). Kutschera e Briggs (2016) destacaram a eficiência da espécie como modelo representativo para o estudo dos mecanismos básicos do heliotropismo, ressaltando ainda a falta de estudos sobre esse mecanismo na planta em desenvolvimento.

O girassol é uma das espécies vegetais oleaginosas mais importante do mundo, e além do seu valor comercial e ornamental, tem se destacado como planta tolerante a metais pesados, apresentando capacidade de acumular compostos metálicos em solos contaminados e salinizados, evidenciando seu potencial para aplicações em fitorremediação (Dhiman *et al.*, 2017). Além disso, suas respostas morfológicas e fisiológicas são facilmente detectáveis quando cultivadas sob condições desfavoráveis que causam estresse, como fatores climáticos e edáficos, o que se reflete na produção de biomassa e sementes, por exemplo (Chew *et al.*, 2024; Kulundzić *et al.*, 2022; Yasdanbakhsh *et al.*, 2020). Assim, o girassol não apresenta-se não apenas como uma planta ornamental de fácil manejo e alta produtividade, mas também como uma alternativa eficiente para o manejo ambiental de solos contaminados e para avaliação de alterações ambientais.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do experimento, cinco vasos, cada um contendo cinco sementes de girassol anão (*Helianthus annuus* - Takii Seed, safra 2022, lote 1Y/001-040), foram cultivados em três ambientes diferentes, sendo eles câmara incubadora BOD, sala de vegetação e ambiente externo. As plantas foram cultivadas durante 70 dias, a fim de analisar a influência de cada ambiente sobre o desenvolvimento inicial do bioteste. Para o ensaio foi

adotado o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com tratamentos correspondendo a cada um dos três ambientes, e com cinco repetições cada, totalizando 15 unidades experimentais, onde uma parcela corresponde a um vaso com cinco plantas.

Foram utilizados vasos redondos simples de cor preta de 16 cm de altura, 12,5 cm de diâmetro de base e 18 cm de diâmetro de abertura, com capacidade para 2,5 L de substrato. Os vasos foram forrados com uma fina camada de casca de pinus, cobertos com uma camada de argila expandida de modo a cobrir o fundo, e em seguida uma camada de carvão vegetal. O substrato foi preparado com quantidades iguais de Carolina Soil (substrato comercial composto por turfa de sphagno, vermiculita expandida, calcário dolomítico e fertilizante NPK) e vermiculita, adicionando areia sobre cada deposição da mistura, seguindo a proporção 2:1 (substrato e areia), enquanto na camada superficial foi adicionado apenas Carolina soil. Foram abertos 5 buracos de 3 cm de profundidade na camada de Carolina soil de cada vaso, um no meio e os demais nas quatro regiões laterais, de modo a ficarem igualmente distantes entre si, dispostos em cruz. Uma semente da variedade girassol anão foi colocada em cada buraco, sem nenhum procedimento de escarificação ou embebição inicial e encobertas. Todo o experimento foi montado tomando os devidos cuidados para não comprimir muito o substrato.

A câmara BOD utilizada possui fonte de iluminação unilateral do tipo bastão de LED posicionada na porta, e com circulação interna de ar forçado que mantém a temperatura constante. A câmara foi programada com fotoperíodo de 18 horas de luz e 6 horas de escuridão, devido a maior afinidade do girassol por condições de maior luminosidade, e com temperatura de 26 °C (Chen *et al.*, 2024; Yañes *et al.*, 2004). Para coletar o excesso de água da irrigação, foram colocadas bandejas em uma grade abaixo dos vasos, de modo que a circulação de ar não fosse interrompida. As instalações da sala de crescimento possuem 8 lâmpadas do tipo bastão de LED e 6 lâmpadas ultravioleta, posicionadas em duas filas de maneira uniforme no teto. Ao longo do experimento, a sala foi mantida em uma temperatura média de 25 °C. Os vasos foram mantidos em bandejas para a coleta do excesso de água da irrigação. O ambiente *outdoor* selecionado está localizado nas dependências da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), no lado oeste do prédio N, em ambiente protegido de chuva, onde as plantas pudessem receber regularmente a luminosidade proveniente do sol. Em cada um dos ambientes foram colocados cinco vasos com as devidas identificações sobre o experimento.

Os vasos foram irrigados três vezes por semana entre 11h e 13h, com água da rede pública. Foram utilizados 100mL às segundas e quartas (60% da capacidade de campo), e 150mL às sextas-feiras, correspondente a 100% da capacidade de campo (CC) previamente calculada. A aplicação foi feita de forma homogênea diretamente no substrato. Antes de cada irrigação, os vasos foram fotografados em diferentes ângulos para registrar o crescimento das plantas.

As avaliações foram realizadas ao longo dos 70 dias nos dias em que realizava-se a irrigação. Observou-se a taxa de germinação, alongamento da parte aérea, efeitos de posição, estiolamento, floração, clorose e outras características das plantas ao longo do tempo. Foram tiradas fotos das plantas nos dias 4, 6, 8, 18, 34, 48, 55, 59, 69 e 70.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Até o 8º dia do experimento não houve grande diferença entre as plantas dos diferentes ambientes, com a germinação e o alongamento da parte aérea ocorrendo normalmente, com um leve efeito de posição em relação a fonte de luz das plantas cultivadas em câmara BOD (Figura 1).

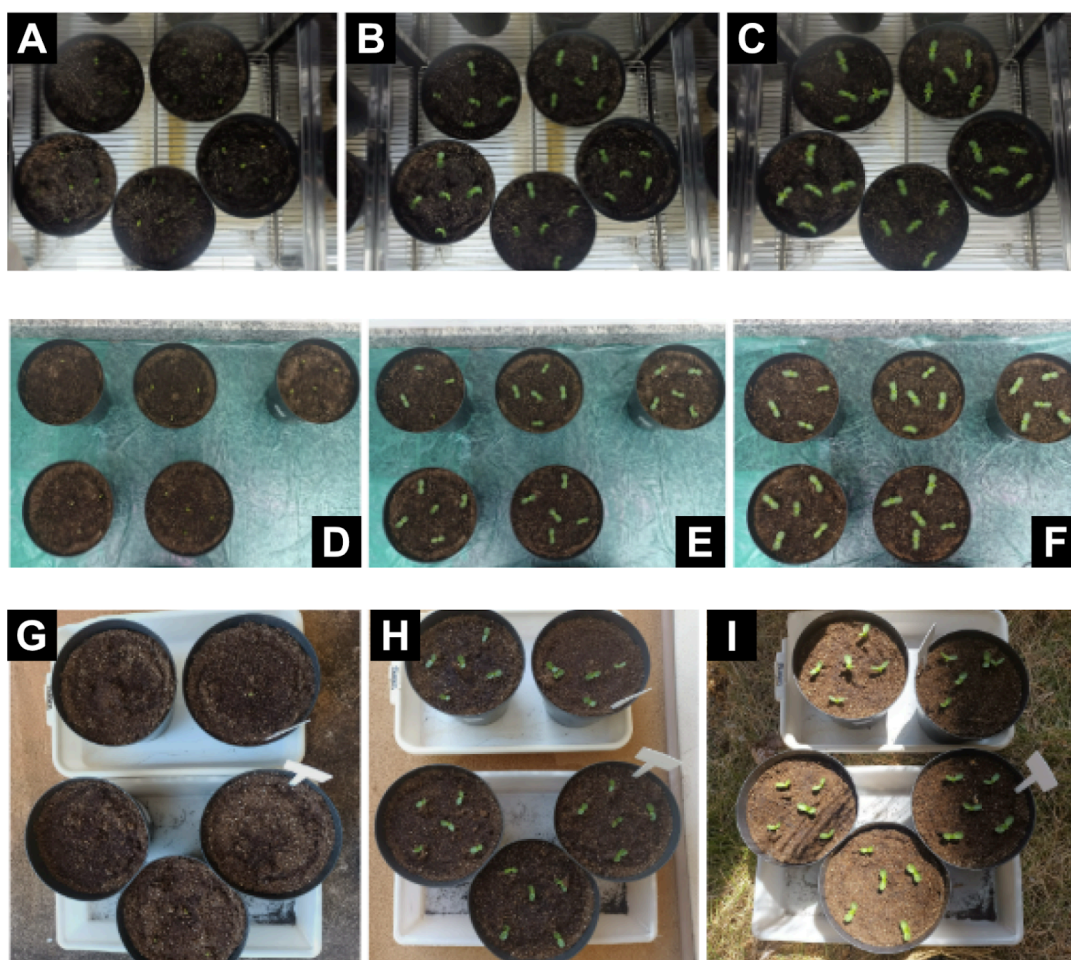


Figura 1. Desenvolvimento inicial das plântulas. Plântulas cultivadas em câmara BOD após 4 dias (A), após 6 dias (B) e após 8 dias (C); em sala de crescimento após 4 dias (D), após 6 dias (E) e após 8 dias (F); e em *outdoor* após 4 dias (G), após 6 dias (H) e após 8 dias (I).
Fonte: do autor.

Após 15 dias, as plantas cultivadas em câmara BOD apresentaram resultados contrastantes em relação àquelas cultivadas em sala de crescimento ou ambiente externo, em decorrência do posicionamento da fonte de luz, o que gerou um acentuado efeito de posição (Figura 2).



Figura 2. Efeito de posição das plantas cultivadas em câmara BOD. Plantas após 18 dias (A), após 34 dias (B) e após 48 dias (C). Fonte: do autor.

As plântulas localizadas mais distantes da lâmpada exibiram menor estiolamento, algumas vindo a murchar posteriormente. Aquelas mais próximas da fonte de luz apresentaram alongamento pronunciado e curvatura evidente em direção à fonte luminosa (Figura 3). Tal resposta morfológica é típica do fototropismo, em que ocorre redistribuição de auxinas para o lado oposto à incidência luminosa, promovendo alongamento celular assimétrico e curvatura do caule (Hohm; Demarsy; Fankhauser, 2013; Christie; Murphy, 2021).

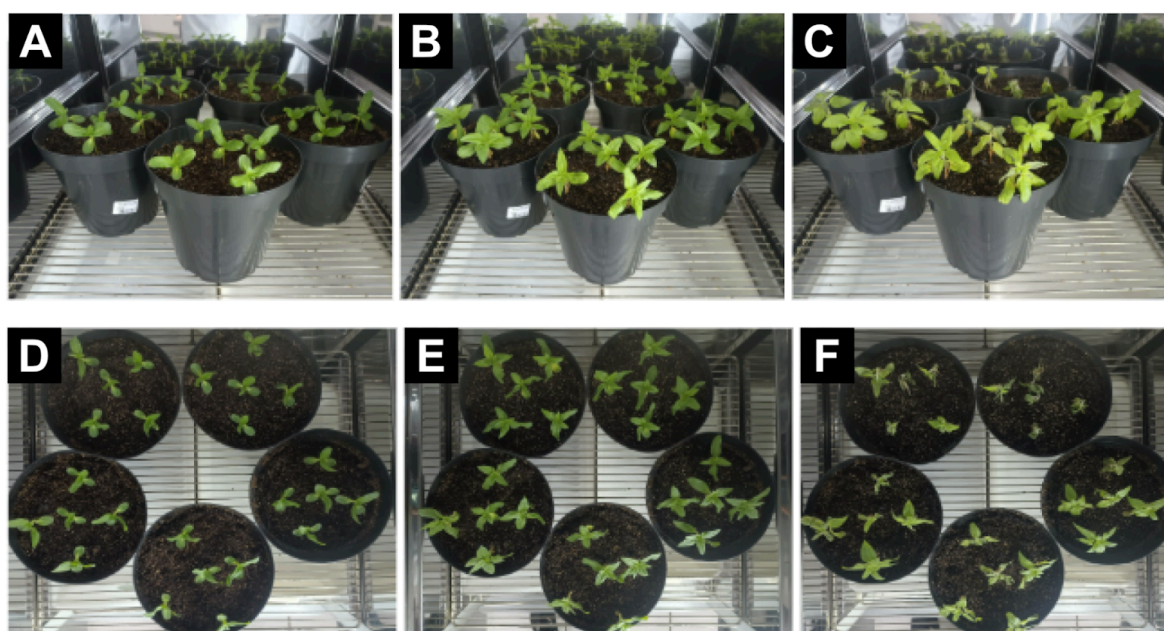


Figura 3. Crescimento das plantas cultivadas em câmara BOD. Plantas no 18º dia (A), no 34º dia (B), no 48º dia (C); vista superior das plantas no 18º dia (D), no 34º dia (E) e no 48º dia (F). Fonte: do autor.

O efeito de posição evidencia a plasticidade fenotípica do girassol. Essa característica adaptativa é vital para a sobrevivência e crescimento em ambientes instáveis, permitindo a

redistribuição de recursos metabólicos para estruturas mais eficientes na captação de luz (Nicotra *et al.*, 2019). No entanto, sob iluminação controlada e não uniforme, tal plasticidade pode resultar em alongamento excessivo e fragilidade estrutural do caule (Smith *et al.*, 2023).

O fototropismo positivo é particularmente acentuado em espécies heliófitas, como o girassol, cuja adaptação permite maximizar a captação de energia luminosa e otimizar a fotossíntese (Vandenbrink *et al.*, 2014). No presente experimento, a resposta obtida na BOD se deve à direção fixa e à intensidade limitada da luz artificial, que levou as plantas a ajustarem o crescimento em direção à fonte luminosa. Tal comportamento reflete um estado de estresse luminotrópico, em que as plantas compensam a falta de iluminação homogênea por meio de alterações estruturais (Inoue *et al.*, 2008).

Nos ambientes de sala de crescimento (Figura 4) e *outdoor*, observou-se um desenvolvimento mais homogêneo das plantas.

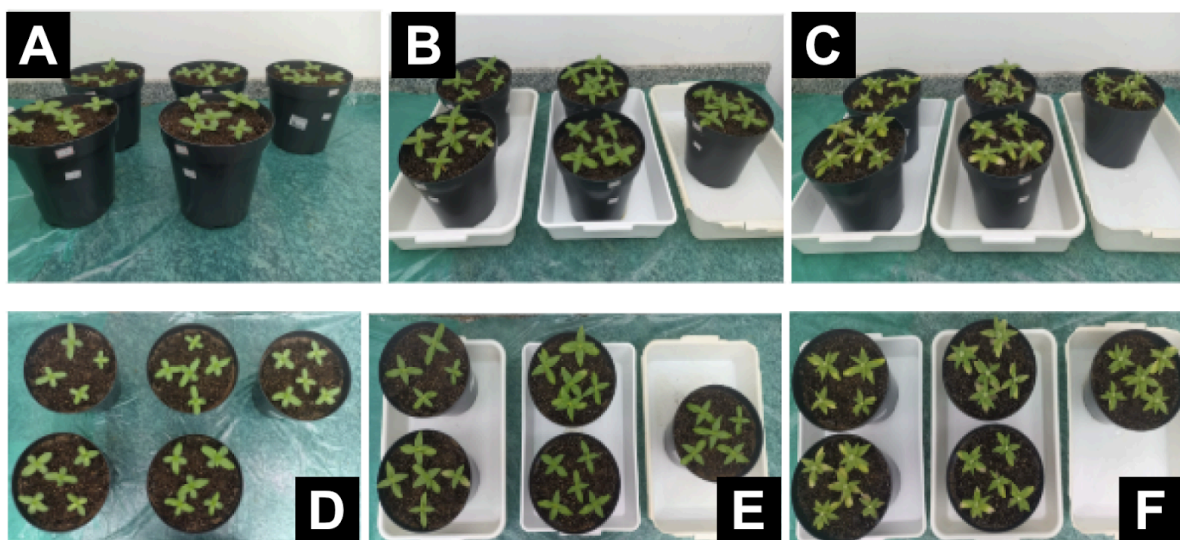


Figura 4. Crescimento das plantas cultivadas em sala de crescimento. Plantas no 18º dia (A), no 34º dia (B), no 48º dia (C); vista superior das plantas no 18º dia (D), no 34º dia (E) e no 48º dia (F). Fonte: do autor.

Esse resultado associa-se à maior intensidade e à qualidade espectral da luz, que fornece um espectro maior capaz de ativar distintos fotorreceptores, como os fitocromos e criptocromos, responsáveis pela regulação de processos fotomorfogênicos e metabólicos (Kami *et al.*, 2010; Ahmad; Cashmore, 2022). A luz solar, por abranger múltiplos comprimentos de onda, regula não apenas a fotossíntese, mas também o balanço hormonal,

que influencia a plasticidade e o crescimento equilibrado (Galvão; Fankhauser, 2015), como ocorreu nas plantas cultivadas em ambiente *outdoor* (Figura 5).

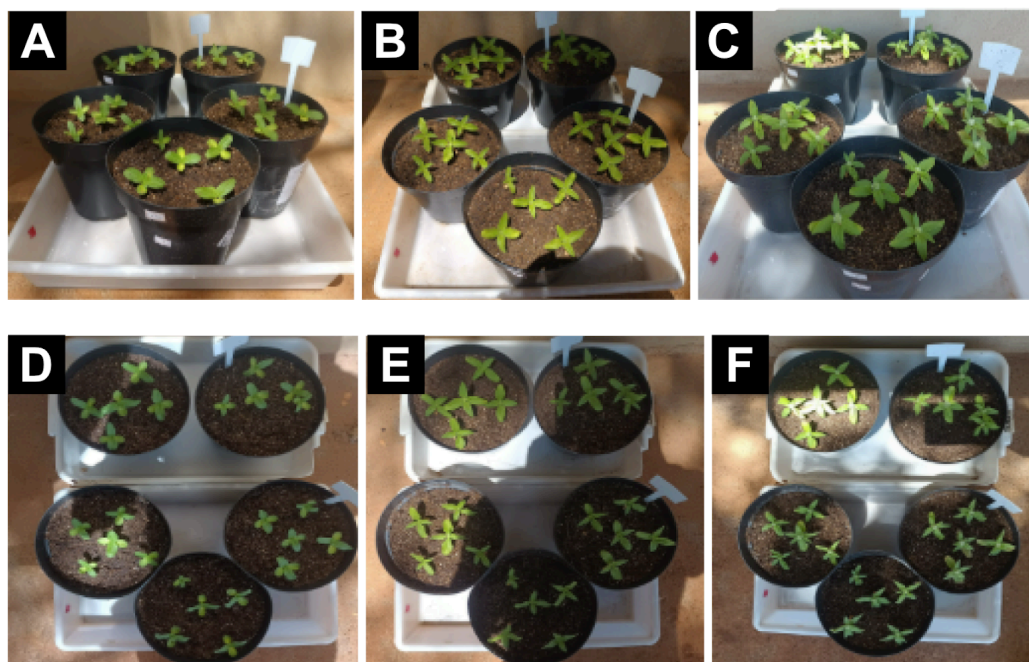


Figura 5. Crescimento das plantas cultivadas em ambiente *outdoor*. Plantas no 18° dia (A), no 34° dia (B), no 48° dia (C); vista superior das plantas no 18° dia (D), no 34° dia (E) e no 48° dia (F). Fonte: do autor.

Adicionalmente, as plantas do ambiente *outdoor* também demonstraram efeito de posição mais ao final do experimento, porém menos atenuado que o obtido na câmara BOD (Figura 6). A incidência solar, abrangendo uma área ampla e variável ao longo do dia, assegurou exposição homogênea da radiação, minimizando assimetrias estruturais, apesar de ainda presentes. Esse padrão reflete o comportamento heliotrópico do girassol, realizando movimentos diários de orientação da parte aérea em direção à luz, ajustando-se conforme a posição solar (Atamian *et al.*, 2016; Fal *et al.*, 2019). Esse movimento é coordenado por um sincronismo circadiano que combina crescimento diferencial com variações endógenas de alongamento celular (Vandenbrink *et al.*, 2014).



Figura 6. Efeito de posição nas plantas cultivadas em ambiente *outdoor*. Efeito de posição (A) e vista aproximada do efeito de posição (B). Fonte: do autor.

A interação entre luz, temperatura e umidade também contribuiu para as diferenças de desempenho. Ambientes mais expostos à luz solar, como o *outdoor*, apresentam temperaturas diurnas elevadas que possivelmente aceleraram o metabolismo e estimulam o desenvolvimento inicial, embora a temperaturas excessivas aumentem a transpiração e reduzam a eficiência do uso da água (Yamori; Hikosaka; Way, 2014). Por outro lado, a BOD manteve temperatura estável, limitação lumínica que restringiu o ganho fotossintético, e uma provável maior umidade relativa em seu interior.

As plantas do ambiente *outdoor*, obtiveram resultados melhores de desenvolvimento, provavelmente devido à variação de temperatura ao longo do dia. Essas oscilações térmicas diárias favorecem processos de aclimação metabólica e o equilíbrio entre fotossíntese e transpiração (Yamori; Handa; Terashima, 2013). A temperatura constante da câmara BOD pode ter contribuído para o comprometimento destes processos.

Botões florais começaram a se formar por volta do 39º dia nas plantas da câmara de crescimento e do ambiente *outdoor*, o que não foi observado nas plantas da câmara BOD (Figura 7).



Figura 7. Botões florais. Ausência de botão floral em planta cultivada em câmara BOD (A), Presença de botões florais em plantas cultivadas em sala de crescimento (B) e Presença de botões florais em plantas cultivadas em ambiente *outdoor* (C). Fonte: do autor.

A ausência de botões florais nas plantas da câmara BOD pode estar relacionada à baixa disponibilidade de luz nesse ambiente, condição que reduz significativamente a taxa fotossintética e, conseqüentemente, a produção de carboidratos necessários para a indução e o desenvolvimento floral, como Corbisier, Lejeune e Bernier (1998) observou em experimentos com *Arabidopsis thaliana*, carboidratos vegetais influenciam diretamente a transição vegetativo-reprodutivo das plantas. Em situações de irradiância limitada, as plantas tendem a direcionar os poucos fotoassimilados disponíveis para a manutenção do crescimento vegetativo, em vez de investir recursos no processo reprodutivo (Li *et al.*, 2019; Tang *et al.*, 2021). Além disso, a menor taxa de transpiração associada à baixa luminosidade compromete o transporte de seiva bruta e a absorção de nutrientes essenciais, como nitrogênio, potássio e boro, que desempenham papel fundamental na formação de tecidos reprodutivos (Ma *et al.*, 2016; Vega *et al.*, 2023; Zhou *et al.*, 2019).

Após 46 dias de experimento, as plantas da câmara BOD começaram a murchar, principalmente as dos vasos posicionados na parte posterior (Figura 8). No entanto, a primeira mortalidade observada ocorreu após uma eventual queda de luz não prevista em um final de semana. Na ocasião, a câmara permaneceu desligada até a próxima irrigação de segunda-feira, quando as plantas começaram a murchar gradualmente.



Figura 8. Murcha das plantas cultivadas em câmara BOD. Plantas após 46 dias (A), após 55 dias (B) e após 59 dias (C). Fonte: Autor.

A segunda mortalidade observada também ocorreu após um evento de queda de energia, o que indica que a falta prolongada de luz e a alteração repentina de temperatura foram as responsáveis (Figura 9).

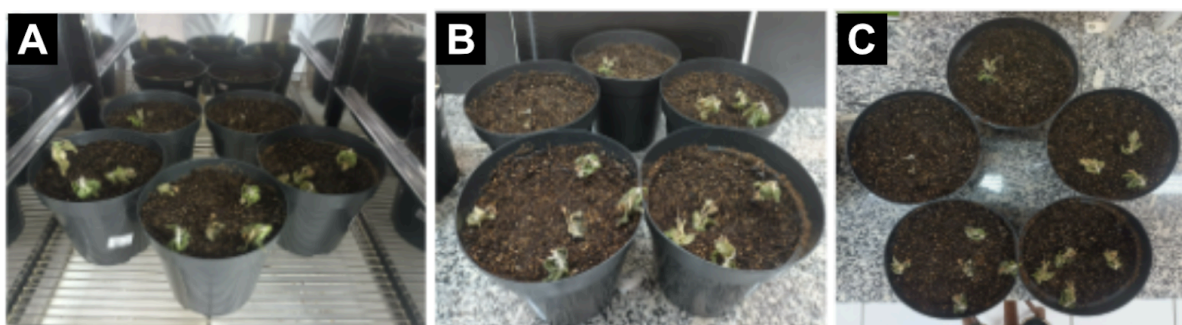


Figura 9. Morte das plantas cultivadas em câmara BOD. Plantas após 69 dias (A), vista aproximada (B) e vista superior (C). Fonte: do autor.

A intensidade luminosa é um fator decisivo para determinar a eficiência fotossintética e, conseqüentemente, o crescimento vegetal (Taiz *et al.*, 2017). Em condições de luminosidade insuficiente, como no interior da BOD, há redução na taxa de fotossíntese e no acúmulo de carboidratos, comprometendo o metabolismo energético e o desenvolvimento vegetativo (Proctor; Atkin; Day, 2021). Essa limitação explica a mortalidade observada nas plântulas localizadas em áreas menos iluminadas após algum tempo de experimento, visto que a escassez de energia luminosa prejudica processos fisiológicos essenciais, como abertura estomática e expansão foliar (López; Way; Sadok, 2021). A temperatura constante no interior da câmara BOD também pode ter contribuído para as taxas de mortalidade. Yamori, Handa e Terashima (2013) destacam que a falta de variação de temperatura no ambiente prejudica a

plasticidade fenotípica e o potencial de aclimação do girassol, levando à morte das plantas em decorrência da alteração repentina desse fator, após os picos de luz.

Além disso, o uso de bandejas para a coleta do excesso de água da irrigação, manteve o ar úmido dentro da câmara BOD, o que pode ter contribuído para um subdesenvolvimento do girassol nesse ambiente, tendo em vista que se trata de uma espécie adaptada a ambientes moderadamente secos (García-López *et al.*, 2022). A alta umidade reduz o déficit de pressão de vapor (VPD) entre a folha e o ambiente, diminuindo a taxa de transpiração e, conseqüentemente, afetando o transporte de seiva bruta via xilema (Amitrano *et al.*, 2021; Ding *et al.*, 2022). Tais fatores atuando em conjunto prejudicam o transporte de água e sais minerais pelos tecidos, afetando o potencial hídrico e a pressão do turgor, levando à murcha das plantas (Taiz *et al.*, 2017).

Algumas folhas das plantas cultivadas em sala de crescimento, apresentaram sinais de clorose, causada pela degradação da clorofila (Taiz *et al.*, 2017) e contaminação fúngica (Figura 10), o que segundo Shafique *et al.*, (2024) é comum no girassol devido à sua susceptibilidade a esses efeitos. Na sala de crescimento, os vasos também foram deixados sobre bandejas para a coleta do excesso de água e a umidade acumulada prejudicou o transporte de água e minerais essenciais à síntese manutenção da clorofila, como nitrogênio e magnésio (Amitrano *et al.*, 2021; Ding *et al.*, 2022. Taiz *et al.*, 2017).

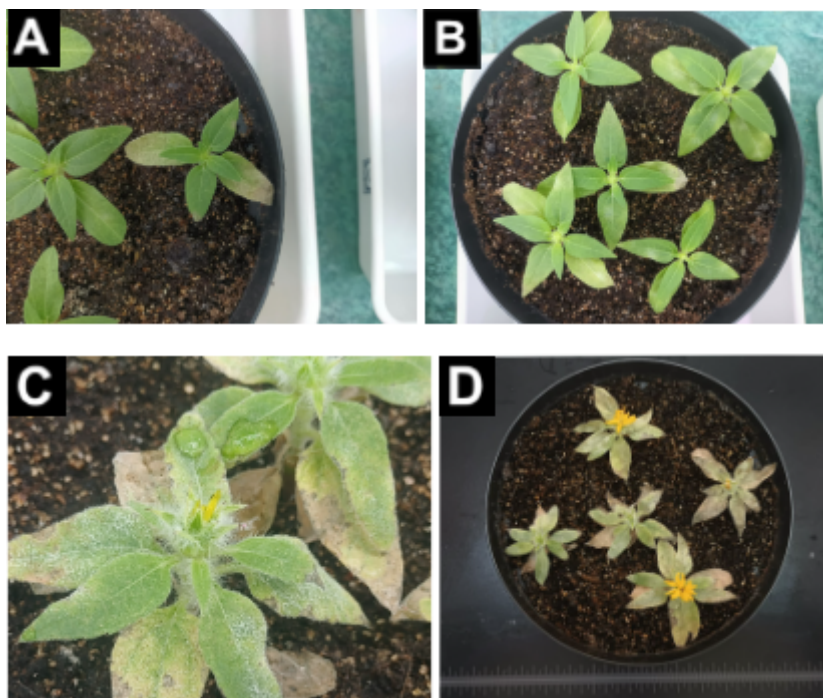


Figura 10. Deficiências em plantas cultivadas em sala de crescimento. Início de clorose (A), desenvolvimento de clorose (B), clorose e contaminação fúngica (C), plantas ao final do experimento (D). Fonte: do autor.

Adicionalmente, o ambiente úmido criou um microambiente propício ao desenvolvimento de fungos superficiais sobre as folhas o que refletiu na maior atração de pequenos insetos (cuja fase larval se desenvolve em substratos úmidos e se alimentam de matéria orgânica) após um certo tempo de experimento (Figura 11).



Figura 11. Inseto invasor presente no substrato. Fonte: do autor.

A presença de larvas no substrato pode ter prejudicado diretamente as raízes, diminuindo a absorção de água e nutrientes e contribuindo para a degradação dos cloroplastos, acarretando em menor assimilação de nutrientes nessas plantas, o que provavelmente contribuiu com o baixo desenvolvimento das flores em comparação com as do ambiente externo (Cloyd, 2015; Vaughan; Tholl; Tokuhisa, 2011).

Desta forma, as três condições de cultivo analisadas revelaram diferenças expressivas no desenvolvimento do girassol anão (*Helianthus annuus* L.), confirmando a influência determinante dos fatores ambientais sobre o crescimento vegetal (Figura 12).



Figura 12. Plantas ao final do experimento. Plantas cultivadas em câmara BOD (A), em sala de crescimento (B) e em ambiente *outdoor* (C). Fonte: do autor.

O ambiente externo, ao oferecer a variação térmica natural, espectro completo de luz solar e menor retenção de umidade no substrato, proporcionou condições melhores para o desenvolvimento das plantas, o que foi refletido em crescimento uniforme e antecipação da fase reprodutiva. Em contraste, os ambientes controlados apresentaram limitações que afetaram o desenvolvimento. A comparação visual entre os tratamentos reforça como ajustes sutis nas condições ambientais são capazes de modificar profundamente a arquitetura e a vitalidade do girassol, destacando sua utilidade como bioensaio sensível para diferentes cenários experimentais (Figura 13).



Figura 13. Comparação das plantas ao final do experimento. Plantas cultivadas em câmara BOD (A), em sala de crescimento (B) e em ambiente externo (C). Fonte: do autor.

Esses resultados, analisados em conjunto, demonstram que o girassol anão responde de maneira clara e consistente às variações impostas pelos diferentes ambientes de cultivo. As alterações morfológicas, a formação de botões florais, a ocorrência de estresses fisiológicos e as diferenças de vigor entre as plantas constituem indicadores precisos do impacto das condições ambientais sobre o desenvolvimento vegetal.

5 CONCLUSÃO

O ambiente de cultivo afeta o crescimento e desenvolvimento das plantas de *Helianthus annuus* L. O ambiente *outdoor* proporciona crescimento e desenvolvimento mais vigorosos, enquanto a câmara BOD prejudica tais parâmetros.

Assim, conclui-se que o girassol anão demonstra ser um bioensaio eficiente e responsivo, capaz de indicar mudanças ambientais por meio de alterações morfológicas e fisiológicas. No entanto, sua utilização em ambientes controlados requer ajustes precisos e padronizados de luminosidade, temperatura e umidade, destacando-se a importância de condições de iluminação e ventilação adequadas para garantir seu pleno desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- AGUILAR-ASCÓN, E.; MARRUFO-SALDAÑA, L.; BARRA-HINOJOSA, J. A. Toxicity assessment of tanning effluents treated via electrocoagulation and ozonation using a bioassay with *Lactuca sativa* L. **Journal of Ecological Engineering**, v. 25, n. 9, p. 316-327, 2024
- AHMAD, M.; CASHMORE, A. R. *The effect of blue light on plant photoreceptors*. **Journal of Experimental Botany**, v.73, n.2, p.415–430, 2022.
- AHMAD, M.; IMTIAZ, M.; NAWAZ, M. S.; MUBEEN, F.; IMRAN, A. *What did we learn from current progress in heat stress tolerance in plants? Can microbes be a solution?* **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 794782, 2022.
- ALSUBHI, N. H.; ALZHRANI, S. M. *Plant phenology: definition, history, and response to environmental factors*. **Egyptian Journal of Botany**, v. 64, n. 4, p. 49-58, 2024.
- AMITRANO, C.; ROUPHAEL, Y.; DE PASCALE, S.; DE MICCO, V. Reducing the evaporative demand improves photosynthesis and water use efficiency of indoor cultivated lettuce. **Agronomy**, v. 11, n. 7, art. n° 1396, 2021.
- AMPIM, P. A. Y.; OBENG, E.; OLVERA-GONZALEZ, E.. Indoor Vegetable Production: An Alternative Approach to Increasing Cultivation. **Plants**, v. 11, n. 21, art. 2843, 2022.
- AMPIM, P. A. Y.; OLIVEIRA, L. M.; SANTOS, F. R.; MARTINS, C. P.; SOUZA, T. A. Environmental vapor pressure deficit impacts photosynthetic efficiency and growth in ornamental species. **Frontiers in Plant Science**, v.13, p.1084–1092, 2022.
- ATAMIAN, H. S.; CREUX, N. M.; BROWN, E. A.; GARNER, A. G.; BLACKMAN, B. K.; HARMER, S. L. Circadian regulation of sunflower heliotropism, floral orientation, and pollinator visits. **Science**, v.353, n.6299, p. 587–590, 2016.
- CALVELLI, J. V. B.; BETELLI, V. M.; BRAGA, D. V. B.; BASTOS, R. G.; CUNHA NETO, A. R.; VILEGAS, W.; SILVA, M. J. D.; DA SILVA, M. A.; DA SILVA, G. A.; BARBOSA, S. Phytochemical characterization and bioherbicide potential of *Duranta erecta* L. **Allelopathy Journal**, v. 60, n. 2, p. 123-136, 2023.
- CASTRO, C.; LEITE, R. M. V. B. C. Main aspects of sunflower production in Brazil. **OCL - Oilseeds & Fats Crops and Lipids**, v. 25, n. 1, p. 1-11, 2018.

CHEN, F.; XIAO, L.; HUANG, Q.; XIANG, L.; LI, Q.; HOU, X.; LEI, Z.; ZENG, Y. Physiological Evaluation of Salt Tolerance in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Seedlings Across Different Genotypes. **Agronomy**, v. 14, n. 12, p. 2995, 2024.

CHRISTIE, J. M.; MURPHY, A. S. Phototropin signaling in higher plants. **Current Biology**, v.31, n.14, p.879–885, 2021.

CLOYD, R. A. Ecology of Fungus Gnats (*Bradysia* spp.) in Greenhouse Production Systems Associated with Disease-Interactions and Alternative Management Strategies. **Insects**, v. 6, n. 2, p. 325–332, 2015.

CORBESIER, L.; LEJEUNE, P.; BERNIER, G. The role of carbohydrates in the induction of flowering in *Arabidopsis thaliana*: comparison between the wild type and a starchless mutant. **Planta**, v. 206, p. 131–137, 1998.

CUNHA NETO, A. R.; DA SILVA, I. G.; CALVELLI, J. V. B.; MARTINS, G. E. C.; CARVALHO, M.; BARBOSA, S. Toxicity of Heavy Metals that Affect Germination, Development and Cell Cycle of *Allium cepa* L. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 111, art. n° 22, 2023.

DA SILVA, L. M.; ANDRADE-VIEIRA, L. F. Ecotoxicological bioassays with terrestrial plants: a holistic view of standards, guidelines, and protocols. **Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: Critical Reviews**, v. 28, n. 3, p. 183, 2025.

DE LUNA, K. A. C.; DA SILVA, R. V. G.; RIBEIRO, N. A.; MONICI, F.; RODRIGUES, M. G. F.; SOUTELLO, R. V. G. Germinação e controle do crescimento de girassol ornamental (*Helianthus annuus* L.) cultivado em tela fotoconversora utilizando diferentes doses de ácido giberélico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 46, n. 1, p. 255–266, jan./fev. 2025.

DHIMAN, S. S.; ZHAO, X.; LI, J.; KIM, D.; KALIA, V. C.; KIM, I. W.; KIM, J. Y.; LEE, J. K. Metal accumulation by sunflower (*Helianthus annuus* L.) and the efficacy of its biomass in enzymatic saccharification. **PLoS ONE**, v. 12, n. 4, 2017.

DING, J.; JIAO, X.; BAI, P.; HU, Y.; ZHANG, J.; LI, J. Effect of vapor pressure deficit on the photosynthesis, growth and nutrient absorption of tomato seedlings. **Plant, Cell & Environment**, v. 45, 2022.

DURÁN-NEBRIDA, S.; BASSEL, G. W. Plant behaviour in response to the environment: information processing in the solid state. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 374, n. 1774, art. 20180370, 2019.

ECKER, A. E. A. *Longevidade de girassol anão ornamental com aplicação de silício*. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013.

FAL, K.; SZABÓ, G.; NAGY, Z. M.; TÓTH, B.; SÁNDOR, E.; KOVÁCS, A.; PAPP, Z. Daily reorientation in *Helianthus annuus* enhances photosynthetic efficiency. **Plant Physiology**, v.179, n.3, p.1166–1178, 2019.

GAI, F.; KARAMÁC, M.; JANIÁK, M.A.; AMAROWICZ, R.; PEIRETTI, P.G. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants at various growth stages subjected to extraction — comparison of the antioxidant activity and phenolic profile. **Antioxidants**, v. 9, n. 6, art. 535, 2020.

GALVÃO, V. C.; FANKHAUSER, C. Photoreceptors and signaling in photomorphogenesis: from the plants' perspective. **Annual Review of Plant Biology**, v.66, p. 559–581, 2015.

GARCÍA-LÓPEZ, J.; LORITE, I. J.; GARCÍA-RUIZ, R.; DOMINGUEZ, J. Evaluation of three simulation approaches for assessing yield of rainfed sunflower in a Mediterranean environment for climate change impact modelling. **Climatic Change**, v. 124, n. 1, p. 147-162, 2014.

GRANT, W. F.; OWENS, E. T. Chromosome aberration assays in *Pisum* for the study of environmental mutagens. **Mutation Research**, v. 488, n. 2, p. 93-118, May 2001.

GRANT, W. F.; OWENS, E. T. Zea mays assays of chemical/radiation genotoxicity for the study of environmental mutagens. **Mutation Research – Reviews in Mutation Research**, v. 613, n. 1, p. 17-64, 2006.

GRZELAK, M.; PACHOLCZAK, A.; NOWAKOWSKA, K. Challenges and insights in the acclimatization step of micropropagated woody plants. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 159, p. 72, 2024.

GUIMARÃES, T. C. Desenvolvimento e produtividade do girassol (*Helianthus annuus* L.) irrigado com efluentes domésticos tratados sob diferentes lâminas de irrigação. **Seminário de Iniciação Científica da UEFS**, 2018.

GUO, S.; GE, Y.; NA JOM, K.. A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common sunflower seed and sprouts (*Helianthus annuus* L.). **BMC Chemistry**, v. 11, art. 95, 2017.

HAI SGHAIER, A.; KHAEIM, H.; TARNAWA, Á.; KOVÁCS, G. P.; GYURICZA, C.; KENDE, Z. *Germination and Seedling Development Responses of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Seeds to Temperature and Different Levels of Water Availability*. **Agriculture**, v. 13, n. 3, p. 608, 2023.

HASSAN, T.; GULZAR, R.; HAMID, M.; AHMAD, R.; WAZA, S. A.; KHUROO, A. A. Shifts in plant phenology under climate warming: a systematic review of recent scientific literature. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 196, art. 36, 2024.

HOHM, T.; DEMARSY, E.; FANKHAUSER, C. Phototropism: translating light into directional growth. **American Journal of Botany**, v.100, n.1, p.47–59, 2013.

INOUE, S.; TAKEMOTO, T.; WATANABE, Y.; TANAKA, T. Blue light-induced phototropism and growth regulation in *Arabidopsis*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.105, p.18767–18772, 2008.

ISLAM, S.; REZA, M. N.; CHOWDHURY, M.; CHUNG, S.; CHOI, I.. A review on effect of ambient environment factors and monitoring technology for plant factory. **Precision Agriculture Science and Technology**, v. 3, n. 3, p. 83-98, 2021.

JOHNSON, M. P. Photosynthesis. **Essays in Biochemistry**, v. 60, n. 3, p. 255-273, 2016.

KAMI, C.; LORRAIN, S.; HORNITSCHKE, P.; FANKHAUSER, C.. Light-regulated plant development: phytochromes, cryptochromes, phototropins and their signaling networks. **Annual Review of Plant Biology**, v.61, p.305–333, 2010.

KANTAR, M. B.; POLAND, J.; KELLOGG, E. A.; RAMAKRISHNAN, K. The genomics of sunflower domestication and evolution. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, art. 658289, 2021.

KHABIB, M. N. H.; SIVASANKU, Y.; LEE, H. B.; KUMAR, S.; KUE, C. S. Alternative animal models in predictive toxicology. **Toxicology**, v. 465, p. 153053, 2022.

KULUNDŽIĆ, A. M.; VULETIĆ, M. V.; KOČAR, M. M.; DUNIĆ. Efeito da temperatura elevada e excesso de luz na eficiência fotossintética, pigmentos e proteínas em girassóis cultivados a campo durante a tarde. **Horticulturae**, v. 8, n. 5, p. 392, 2022.

KUTSCHERA, U.; BRIGGS, W. R. Phototropic solar tracking in sunflower plants: an integrative perspective. **Annals of Botany**, v. 117, n. 1, p. 1-8, 2016.

LI, L.; DING, M.; LAN, Z.; ZHAO, Y.; CHEN, J. Light availability and patterns of allocation to reproductive and vegetative biomass in the sexes of the dioecious macrophyte *Vallisneria spirulosa*. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 572, 2019.

LIU, A.; WANG, M.; DONG, J.; YAN, Z.; WANG, X.; LI, J.; SONG, H. Foliar application of exogenous salicylic acid mitigates the detrimental effects caused by salt stress in sunflower seedlings. **Industrial Crops and Products**, v. 222, p. 119854, 2024.

LÓPEZ, J. P.; WAY, D. A.; SADOK, W.. Impact of high vapor pressure deficit on stomatal dynamics and growth in cultivated species. **Environmental and Experimental Botany**, v.181, p.104–120, 2021.

LÓPEZ, J.; WAY, D. A.; SADOK, W. *Systemic effects of rising atmospheric vapor pressure deficit on plant physiology and productivity*. **Global Change Biology**, v. 27, n. 9, p. 1704-1720, 2021.

LOVEJOY, C.; SMEMO, K. A. Strigolactone significantly increases lead uptake by dwarf sunflower (*Helianthus annuus*). **Bioremediation Journal**, v. 25, p. 191-196, 2021.

LUNA, K. A. C.; SILVA, R. V. G.; RIBEIRO, N. A.; FABRINO, F. M.; FREITAS, P. G. N.; SOUTELLO, R. V. G.; RODRIGUES, M. G. F. *Germination and growth control in ornamental sunflower grown under photoconverter screen using different doses of gibberellic acid*. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 46, n. 1, p. 255-266, 2025.

LYU, J.; PARK, J.; KUMAR PANDEY, L.; CHOI, S.; LEE, H.; DE SAEGER, J.; DEPUYDT, S.; HAN, T. Testing the toxicity of metals, phenol, effluents, and receiving waters by root elongation in *Lactuca sativa* L. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 149, p. 225–232, 2018.

MA, Q.; LIU, L.; LI, T.; ZHU, J.; XUE, Y.; JIN, H. Light intensity affects the uptake and metabolism of glycine and nitrate in pakchoi (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis*). **Scientific Reports**, v. 6, art. n° 21200, 2016.

MA, T. H. The international program on plant bioassays and the report of the follow-up study after the hands-on workshop in China. **Mutation Research**, v. 426, n. 2, p. 103-106, 1999.

MAHAJAN, S.; THAKUR, P.; DAS, S.; SHARMA, R. P.; MANUJA, S.; JHA, P. K.; SAINI, A.; SAHOO, C.; FAYEZIZADEH, M. R. Impression of contemporary heat stress complexities in agricultural crops: a review. **Plant Growth Regulation**, v. 76, p. 1–21, 2025.

MARCUSSI, S.; PALMIERI, M. J.; ANDRADE-VIEIRA, L. F.; BARROSO, A. R.; BRAGA, M. A.; TRENTO, M. V. C. Plant cytogenetics tests can predict toxic effects on human cells: genotoxic and mutagenic effects of *Tityus serrulatus* scorpion venom on vegetal and human cells. **Ciência e Natura**, v. 45, p. e19, 2023.

MARTINS, G. E. C.; OLIVEIRA, J. D. N.; CALVELLI, J. V. B.; NETO, A. R. C.; FERREIRA, E. B.; TRINDADE, L. O. R.; BARBOSA, S.. *Cytogenotoxicity attributed to ioxynil octanoate exposure utilizing Allium cepa L. as a model*. **Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A**, v. 88, n. 20, p. 787-801, 2025.

MKANDAWIRE, M.; DA SILVA, J. A. T.; DUDEL, E. G. The *Lemna* bioassay: contemporary issues as the most standardized plant bioassay for aquatic ecotoxicology. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 44, n. 2, p. 154-197, 2014.

NICOTRA, A. B.; ATKIN, O. K.; BONSER, S. P.; DAVIDSON, A. M.; FINNEGAN, E. J.; MATHESIUS, U.; POOT, P.; PURUGGANAN, M. D.; RICHARDS, C. L.; VALLADARES, F.; VAN KLEUNEN, M. Adaptive plasticity and plant responses to climate change. **Nature Plants**, v.5, p.856–864, 2019.

OSNATO, M.; COTA, I.; NEBHANI, P.; CEREIJO, U.; PELAZ, S.. Photoperiod Control of Plant Growth: Flowering Time Genes Beyond Flowering. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 805635, 2022.

PROCTOR, M. C.; ATKIN, O. K.; DAY, D. A. Light limitation and carbohydrate metabolism in photosynthetic organisms. **Plant Physiology**, v.187, p.759–775, 2021.

RAZZAQ, K.; DU, J. Phytohormonal Regulation of Plant Development in Response to Fluctuating Light Conditions. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 44, p. 1903-1936, 2025.

SEILER, G. J. Influence of temperature on primary and lateral root growth of sunflower seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, v. 40, n. 2, p. 135-146, 1998.

SHABAZ, M.; ANWAR, T.; FATIMA, S.; ONURSAL, N.; QURESHI, H.; QURESHI, W. A.; ULLAH, N.; SOUFAN, W.; ZAMAN, W. Mitigation of salinity stress in sunflower plants (*Helianthus annuus* L.) through topical application of salicylic acid and silver nanoparticles. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 31, n. 1, p. 27-40, 2025.

SHAFIQUE, S.; JAVED, A.; SHAFIQUE, S.; HUSSAIN, A.; RAFIQUE, R.; MUBARAK, A.; JABEEN, S. Morphological and molecular citations of *Aspergillus fumigatus* associated with leaf necrosis of *Helianthus annuus* L. **Revista Pakistan Journal of Botany**, v. 56, n. 6, p. 2381-2388, 2024.

SHARMA, P.; KUMAR, S. Characterization and phytotoxicity assessment of organic pollutants in old and fresh municipal solid wastes at open dump site: a case study. **Environmental Technology & Innovation**, v. 24, 2021.

SHATOORI, M. M.; SAFFARI, V. R.; FARAHMAND, H. Correlation Between Vase Life and Biochemical Parameters in Ornamental Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Affected by Spraying Chemical Materials During the Growth Stages. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 179–186, 2021.

DA SILVA, L. M.; ANDRADE-VIEIRA, L. F. Ecotoxicological bioassays with terrestrial plants: a holistic view of standards, guidelines, and protocols. **Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: Critical Reviews**, p. 1–39, 2025.

SILVA, S. D. P.; SOUZA, G. P.; CHAVES, A. R. M.; SILVA, M. A.; SOUZA, R. R.; CAVALCANTE, M. Z. B. *Morphophysiological aspects of ornamental sunflowers cultivated in different growing seasons under semi-arid conditions*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 4, p. 299-305, 2022.

SMITH, H. L.; JONES, C. E.; BROWN, D. F.; KIM, S. H. Phenotypic plasticity under varied light environments: an ecophysiological perspective. **New Phytologist**, v.238, n.2, p.671–684, 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TANG, M.; ZHAO, W.; XING, M.; ZHAO, J.; JIANG, Z.; YOU, J.; NI, B.; NI, Y.; LI, C.; CHEN, X. Resource allocation strategies among vegetative growth, sexual reproduction and

asexual reproduction during the growing season of *Aconitum kusnezoffii* Reichb. **The Plant Journal**, v. 105, n. 4, p. 957-977, 2021.

URREA-CASTELLANOS, R.; CALDANA, C.; HENRIQUES, R. Growing at the right time: interconnecting the TOR pathway. **Journal of Experimental Botany**, v. 73, n. 20, p. 7006-7015, 2022.

VANAJA, M.; YADAV, S. K.; ARCHANA, G.; JYOTHI LAKSHMI, N.; RAM REDDY, P. R.; VAGHEERA, P.; ABDUL RAZAK, S. K.; MAHESWARI, M.; VENKATESWARLU, B. Response of C₄ (maize) and C₃ (sunflower) crop plants to drought stress and enhanced carbon dioxide concentration. **Plant, Soil and Environment**, v. 57, n. 5, p. 207-215, 2011.

VANDENBRINK, J. P.; BROWN, R. I.; HARMER, S. L.; BLACKMAN, B. K. Turning heads: The biology of solar tracking in sunflower. **Plant Science**, v. 224, p. 20-26, 2014.

VAUGHAN, M. M.; THOLL, D.; TOKUHISA, J. G. An aeroponic culture system for the study of root herbivory on *Arabidopsis thaliana*. **Plant Methods**, v. 7, art. no. 5, 2011.

VEGA, C.; CHI, C.-J. E.; FERNÁNDEZ, V.; BURKHARDT, J. Nocturnal transpiration may be associated with foliar nutrient uptake. **Plants**, v. 12, n. 3, p. 531, 2023.

VILVERT, E.; LANA, M.; ZANDER, P.; SIEBER, S. Multi-model approach for assessing the sunflower food value chain in Tanzania. **Agricultural Systems**, v. 159, p. 103-110, 2018.

WANG, W. C.; FREEMARK, K. The use of plants for environmental monitoring and assessment. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 30, p. 289-301, 1995.

WASEEN, M.; AYAZ, K. S.; TARIQ, S.; AHMAD, J.; JAMAL, A. Phytoremediation of heavy metals from industrially contaminated soil using sunflower (*Helianthus annuus* L.) by inoculation of two indigenous bacteria. **Plant Stress**, v. 11, p. 100297, 2024.

WEI, Y.; WANG, S.; YU, D. The Role of Light Quality in Regulating Early Seedling Development. **Plants**, v. 12, n. 14, art. 2746, 2023.

WU, W.; CHEN, L.; LIANG, R.; HUANG, S.; LI, X.; HUANG, B.; LUO, H.; ZHANG, M.; WANG, X.; ZHU, H. The role of light in regulating plant growth, development and sugar metabolism: a review. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, art. 1507628, 2025.

YAMASHITA, O. M.; ALBUQUERQUE, M. C. F.; GUIMARÃES, S. C.; SILVA, J. L.; CARVILHO DE CARVALHO, M. A. Influência da temperatura e da luz na germinação de sementes de couve-cravinho (*Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass.). **Revista Brasileira de Sementes, Londrina**, v. 30, n. 3, 2008.

YAMORI, W.; HANDA, S.; TERASHIMA, I. The temperature dependence of the photosynthetic electron transport in spinach leaves: activation energies for cytochrome *b6/f* and photosystems II and I. **Photosynthesis Research**, v. 115, n. 2, p. 261–275, 2013.

YAMORI, W.; HIKOSAKA, K.; WAY, D. A. Temperature response of photosynthesis and plant growth. **Physiologia Plantarum**, v.152, p.513–523, 2014.

YAÑEZ, P.; OHNO, H.; OHKAWA, K. Effect of Photoperiod on Flowering and Growth of Ornamental Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Cultivars. **Environmental Control in Biology**, v. 42, n. 4, p. 287-293, 2004.

YAZDANBAKHSI, A.; ALAVI, S. N.; VALADABADI, S. A.; KARIMI, F.; KARIMI, Z. Uptake of heavy metals from saline soils by ornamental sunflower (*Helianthus annuus* L.) using cow manure and biosolids: A case study in Alborz city, Iran. **Air, Soil and Water Research**, v. 13, p. 1178622120988460, 2020.

ZHANG, Y.; Ma, Y.; ZHANG, H.; XU, J.; GAO, X.; ZHANG, T.; LIU, X.; GUO, L.; ZHAO, D. Environmental factors coordinate circadian clock function and rhythm to regulate plant development. **Plant Signaling & Behavior**, v. 18, n. 1, p. 2231202, 2023.

ZHOU, J.; LI, P.; WANG, J.; FU, W. Growth, photosynthesis, and nutrient uptake at different light intensities and temperatures in lettuce (*Lactuca sativa* L.). **HortScience**, v. 54, n. 11, p. 1925-1933, 2019.