

INSTITUTO FEDERAL
Goiano

Campus
Rio Verde

Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde
Bacharelado em Ciências Biológicas

GIANIEILY ALVES FLAUSINO DE QUEIROZ SILVEIRA

**ALTERAÇÕES ANATÔMICAS EM FOLHAS DE GIRASSOL (*Helianthus annus* L.)
CULTIVADOS EM SOLO CONTAMINADO COM CÁDMIO**

Junho/2026
Rio Verde – GO

GIANIEILY ALVES FLAUSINO DE QUEIROZ SILVEIRA

**ALTERAÇÕES ANATÔMICAS EM FOLHAS DE GIRASSOL (*Helianthus annus* L.)
CULTIVADOS EM SOLO CONTAMINADO COM CÁDMIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de TCC do curso de Bacharelado em Ciências Biológicas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - campus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do título de graduação.

Orientadora: Valdneá Casagrande Dalvi

Co-orientador: Rafael Marques Pereira Leal

Junho/2026

Rio Verde – GO

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

S587a Silveira, Gianieily Alves Flausino de Queiroz
ALTERAÇÕES ANATÔMICAS EM FOLHAS DE GIRASSOL
(Helianthus annus L.) CULTIVADOS EM SOLO
CONTAMINADO COM CÁDMIO / Gianieily Alves Flausino
de Queiroz Silveira. Rio Verde 2026.

27f. il.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Valdnea Casagrande Dalvi.
Coorientador: Prof. Dr. Rafael Marques Pereira Leal.
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0120054 -
Bacharelado em Ciências Biológicas - Integral - Rio Verde
(2018/1) (Campus Rio Verde).

I. Título.

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 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional | - Tipo: |

Nome Completo do Autor: Gianieily Alves Flausino de Queiroz Silveira

Matrícula:2018102230540526

Título do Trabalho: ALTERAÇÕES ANATÔMICAS EM FOLHAS DE GIRASSOL (*Helianthus annus* L.) CULTIVADOS EM SOLO CONTAMINADO COM CÁDMIO**Restrições de Acesso ao Documento**Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: __/__/__

O documento está sujeito a registro de patente? Sim NãoO 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;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, 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;
- 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.

Rio Verde-GO, 01/07/2026.

Documento assinado digitalmente
GIANIEILY ALVES FLAUSINO DE QUEIROZ SILVEIRA
Data: 01/07/2026 16:34:58-0300
Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Documento assinado digitalmente
VALDINEA CASAGRANDE DALM
Data: 03/07/2026 15:11:37-0300
Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>

Assinatura do(a) orientador(a)

Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – IF Goiano - Campus Rio Verde

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 26 dias do mês de junho de dois mil e vinte e seis às 13:30 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Profa. Dra. Valdneá Casagrande Dalvi (orientadora), Prof. Dr. Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho (membro interno) e Profa. Dra. Maria Andréia Corrêa Mendonça (membro interno), para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado "**ALTERAÇÕES ANATÔMICAS EM FOLHAS DE GIRASSOL (*Helianthus annuus* L.) CULTIVADOS EM SOLO CONTAMINADO COM CÁDMIO**" de **GIANIEILY ALVES FLAUSINO DE QUEIROZ SILVEIRA**, estudante do curso de Bacharelado em Ciências Biológicas do IF Goiano – Campus Rio Verde, sob Matrícula nº 2018102230540526. A palavra foi concedida à estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição da candidata pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Rio Verde, 26 de junho de 2026.

(Assinado eletronicamente)

Valdneá Casagrande Dalvi

Orientadora

(Assinado eletronicamente)

Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho

Membro da Banca Examinadora

(Assinado eletronicamente)

Maria Andréia Corrêa Mendonça

Membro da Banca Examinadora

Documento assinado eletronicamente por:

- **Valdnea Casagrande Dalvi, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 26/06/2026 15:47:50.
- **Maria Andreia Correa Mendonca, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 26/06/2026 15:53:00.
- **Sebastiao Carvalho Vasconcelos Filho, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 03/07/2026 20:23:39.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 22/06/2026. 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: 833708
Código de Autenticação: 27d42a870a



RESUMO

SILVEIRA, Gianieily A. F. de Q. **Alterações anatômicas em folhas de girassol (*Helianthus annuus* L.) cultivados em solo contaminado com cádmio.** 2026. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Bacharelado em Ciências Biológicas. Instituto Federal Goiano campus Rio Verde, Goiás. Rio Verde Goiás, 2026.

A contaminação do solo por elementos tóxicos representa um crescente problema ambiental, destacando-se o cádmio (Cd) por sua elevada toxicidade, alta mobilidade e facilidade de absorção pelas plantas. Esse metal é introduzido no ambiente principalmente por atividades antrópicas, como o uso de fertilizantes fosfatados e o descarte inadequado de resíduos, podendo bioacumular na cadeia trófica e causar riscos ambientais e à saúde humana, mesmo em baixas concentrações. Em plantas, o Cd provoca alterações morfológicas, fisiológicas e anatômicas, incluindo prejuízos à fotossíntese, transpiração, funcionamento estomático e consequente desenvolvimento vegetal. Apesar da existência de estudos sobre efeitos morfofisiológicos do Cd no girassol (*Helianthus annuus* L.), ainda são escassas as informações sobre respostas anatômicas a esse contaminante. Assim, o presente estudo teve como objetivo analisar as alterações anatômicas em folhas de girassol submetidas a diferentes concentrações de Cd. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando três concentrações de Cd (2,5, 5,0, 7,5 mg dm³), além do tratamento controle, aplicadas via CdCl₂, com cinco repetições. Aos 60 dias após a germinação, amostras da região mediana das folhas completamente expandidas foram coletadas, fixadas e processadas para análises microscópicas. As plantas controle apresentaram estrutura foliar típica, com epiderme unisseriada com estômatos e tricomas em ambas as faces, mesofilo dorsiventral e feixes vasculares. A exposição ao Cd resultou em alterações anatômicas progressivas e dependentes da concentração, incluindo colapso das epidermes, alongamento e desorganização das células do mesofilo, aumento dos espaços intercelulares e deformações estruturais severas nas maiores concentrações. Conclui-se que o Cd causa danos anatômicos significativos às folhas de girassol, mesmo em concentrações reduzidas, evidenciando a sensibilidade estrutural da espécie. Destaca-se ainda a importância da anatomia vegetal como ferramenta bioindicadora da ecotoxicidade de elementos potencialmente tóxicos, incluindo o Cd.

Palavras-chave: anatomia, cádmio, girassol, toxicidade

ABSTRACT

SILVEIRA, Gianieily A. F. de Q. **Anatomical changes in sunflower (*Helianthus annuus* L.) leaves grown in cadmium-contaminated soil.** 2026. Undergraduate Thesis - bachelor's degree Biological Sciences Instituto Federal Goiano campus Rio Verde, Goiás. Rio Verde Goiás, 2026.

Soil contamination by toxic elements represents an increasing environmental concern, with cadmium (Cd) standing out due to its high toxicity, elevated mobility, and ease of uptake by plants. This metal is introduced into the environment mainly through anthropogenic activities, such as the use of phosphate fertilizers and the improper disposal of waste, where it can bioaccumulate within the food chain and pose environmental and human health risks even at low concentrations. In plants, Cd induces morphological, physiological, and anatomical alterations, including impairment of photosynthesis, transpiration, stomatal function, and, consequently, plant growth and development. Although several studies have investigated the morphophysiological effects of Cd on sunflower (*Helianthus annuus* L.), information regarding the anatomical responses of this species to Cd contamination remains limited. Therefore, the present study aimed to evaluate the anatomical changes in sunflower leaves exposed to different Cd concentrations. The experiment was conducted under greenhouse conditions using three Cd concentrations (2.5, 5.0, and 7.5 mg dm⁻³), in addition to a control treatment, applied as CdCl₂, with five replicates per treatment. Sixty days after germination, samples from the median region of fully expanded leaves were collected, fixed, and processed for microscopic analyses. Control plants exhibited the typical leaf structure, consisting of a uniseriate epidermis with stomata and trichomes on both leaf surfaces, a dorsiventral mesophyll, and vascular bundles. Exposure to Cd resulted in progressive, concentration dependent anatomical alterations, including epidermal collapse, elongation and disorganization of mesophyll cells, enlargement of intercellular spaces, and severe structural deformation at the highest Cd concentrations. It is concluded that Cd causes significant anatomical damage to sunflower leaves, even at relatively low concentrations, demonstrating the high structural sensitivity of this species to Cd exposure. Furthermore, the findings highlight the importance of plant anatomy as a bioindicator tool for assessing the ecotoxicity of potentially toxic elements, including Cd.

Keywords: anatomy, cadmium, sunflower, toxicity

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Caracterização anatômica das folhas do girassol (*Helianthus annuus* - Asteraceae). A-C: Secções transversais coradas com azul de toluidina. D e E: Material diafanizado. A: Caracterização geral do limbo foliar evidenciado epiderme unisseriada, folhas anfiestomáticas, mesofilo dorsiventral, feixes vasculares (círculos) e tricomas tectores e glandulares. B: Detalhe do tricoma glandular. C: Detalhe da região da nervura mediana com destaque para os feixes vasculares (círculos). D: Tricomas tectores em vista frontal. E: Epiderme da face abaxial com destaque para os estômatos. Abreviações: Es: estômatos; PE: parênquima esponjoso; PP: parênquima paliçádico; TT: tricoma tector; TG: tricoma glandular15

Figura 2 - Cortes transversais das folhas do girassol (*Helianthus annuus* - Asteraceae) submetidas a diferentes concentrações de cádmio. A: Colapso das células da epiderme (cabeças de setas brancas) e das células do parênquima paliçádico (cabeças de setas pretas). Note a hiperplasia das células do parênquima clorofiliano (asteriscos). B: Tricomas e colapso da epiderme abaxial. C: Tricoma. D: Parênquima esponjoso, células plasmolisadas nucleadas. E: Colapso do parênquima esponjoso e epiderme abaxial. F e G: desorganização celular e colapso da epiderme. H: Epiderme abaxial colapsada. I: Colapso na epiderme adaxial e parênquima paliçádico.....17

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3. RESULTADOS.....	14
4. DISCUSSÃO	18
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22

1. INTRODUÇÃO

A contaminação do solo por elementos tóxicos é um problema global crescente, muitas das atividades desenvolvidas pela humanidade resultam na inserção de elementos tóxicos nos ecossistemas. A emissão desses contaminantes, o descarte inadequado de resíduos e o uso de fertilizantes sintéticos, como os fosfatados, são as principais fontes de inserção de metais nos solos, dentre eles o cádmio (ZHANG et al., 2010, YAN et al. 2021, SOROUR et al., 2024, KAZMI et al., 2025).

O cádmio (Cd) é considerado um dos elementos mais tóxicos e prejudiciais para organismos vivos, incluindo microrganismos, plantas e animais (CHELLAIAH, 2018; ZULFIQAR et al., 2019). A incorporação do metal ao solo é proveniente de atividades industriais como mineração, fabricação de fertilizantes fosfatados e incineração de resíduos sólidos, além de práticas agrícolas intensivas (SILVA et al., 2017; SIMÕES, 2019). Segundo a CETESB (2017), enquanto concentrações de chumbo (Pb) superiores a 72 mg/kg podem afetar a qualidade do solo, o Cd já é considerado um risco em concentrações acima de 0,5 mg/kg. Além disso, a toxicidade do Cd no solo é persistente, não apenas porque seu tempo de permanência excede décadas, mas também porque sua biodisponibilidade não diminui a médio prazo (LI et al., 2023). Além disso, a bioacumulação do cádmio na cadeia trófica representa um sério risco à saúde humana e animal por meio do consumo de alimentos contaminados já que, o cádmio não apresenta qualquer função fisiológica conhecida (D'AVILA, 2014; HASSAN et al., 2019, LI et al., 2023, SOROUR et al., 2024).

Uma vez no solo, o Cd exibe uma alta mobilidade sendo facilmente absorvido pelas raízes e translocado para as partes aéreas das plantas, incluindo folhas, caules e, em última análise, grãos e frutos (PIOTTO et al., 2013; CHEN et al., 2016, LI et al., 2023). O metal interfere em diversas rotas metabólicas relacionadas à homeostase iônica, ao equilíbrio redox e à integridade estrutural dos tecidos vegetais (HALL, 2002; CLEMENS, 2006). É capaz de induzir alterações morfológicas e anatômicas de raízes, caules e folhas, assim como deformações da ultraestrutura celular (GARCIA et al., 2018), alterações no metabolismo, como respiração celular, alterações genéticas e morte celular (HE et al., 2017). Ademais, devido à sua semelhança iônica com cátions como o cálcio (Ca^{2+}), zinco (Zn^{2+}) e ferro (Fe^{2+}), o

cádmio (Cd^{2+}) compete pelos mesmos canais transportadores na membrana plasmática das células radiculares, inibindo a absorção e o transporte de nutrientes (FERREIRA, 2013; LI et al., 2023).

Nas plantas, os sintomas de toxidez do cádmio são observados como alterações no crescimento, verificando-se plantas de baixo porte, com baixa produção de biomassa, clorose e necrose foliar, alterações enzimáticas e metabólicas, além de alterações anatômicas, na epiderme, no parênquima, tricomas e estômatos (BENAVIDES et al., 2005; GUIMARÃES et al., 2008). Tais efeitos resultam em danos fisiológicos, inibição da atividade fotossintética, estresse osmótico e a superprodução de espécies reativas de oxigênio (EROs), que danificam membranas e organelas celulares (RIZWAN et al., 2016; ABBAS et al., 2017).

Destaca-se que mesmo não apresentando sintomas macroscópicos, as plantas podem desenvolver em nível microscópico, alterações como “toxidez oculta” (JEZLER, 2016). A constatação de que as alterações histológicas muitas das vezes antecedem as alterações morfológicas, observadas em campo (SOUZA et al., 2009; MARQUES, 2011). Por fim, ressalta-se que a confirmação microscópica de que sintomas não específicos, como clorose e necrose, estão relacionados ao fator estressante, e não a fatores diversos (SANT’ANNA-SANTOS, 2010).

A cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.), pertence à família Asteraceae, tem recebido destaque mundial, pois, além de ser uma das quatro principais espécies fornecedoras de óleo no mundo (SILVA et al., 2025). O girassol tem destaque econômico na alimentação animal, consumo humano, produto ornamental, e apresenta potencial para produção de biocombustíveis e biofármacos (RIBAS, 2009; DOBRIKOVA et al., 2022). Esta cultura é comumente utilizada na rotação ou sucessão de culturas, devido ao rápido desenvolvimento inicial, eficiência na ciclagem de nutrientes e proteção dos solos, ganhando destaque como uma das culturas com um dos maiores índices de crescimento em termos de área plantada e quantidade produzida (SILVA, 2009; SANTOS, 2021). Ademais, o girassol é uma oleaginosa que apresenta maior resistência ao frio, calor e ao estresse hídrico quando comparada com outras espécies cultivadas (SILVA et al., 2025).

Embora pesquisas com diferentes metais incluindo o chumbo (SILVA et al., 2013) e alumínio (JESUS et al., 2016) tenham sido conduzidas com o girassol, os efeitos anatômicos do cádmio na cultura do girassol é pouco conhecida. Zetouni

(2003) evidenciou alterações morfofisiológicas dos efeitos do cádmio no girassol, no entanto, nenhuma identificação de estudos anatômicos ocorreu corroborando Lopes (2015) que destaca que os efeitos do cádmio podem não ser visíveis quando se faz uma análise morfológica, sendo as análises anatômicas cruciais para identificar os reais efeitos do estresse pelo cádmio.

Dessa forma, esta pesquisa visa preencher as lacunas do conhecimento sobre os efeitos de diferentes concentrações de Cd na estrutura anatômica das folhas de girassol (*Helianthus annuus* L.).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Preparo do solo, contaminação e condução do experimento - O experimento foi realizado em casa de vegetação no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, Goiás, Brasil. Amostras de um latossolo vermelho de textura argilosa foram coletadas da camada 0-20 cm de profundidade. Foi realizada a caracterização físico-química do solo, o resultado demonstrou a necessidade da calagem do solo. Dessa forma, foi acrescentado 2,43g de calcário filler com PRNT de 92% por unidade experimental. Após 20 dias de incubação do solo, foi feita nova caracterização físico-química, que resultou em um solo com condições adequadas para o crescimento das plantas. A contaminação das amostras de solo foi realizada com cloreto de cádmio penta-hidratado em três concentrações (2,5 mg dm⁻³; 5 mg dm⁻³ e 7,5 mg dm⁻³). Após a aplicação da solução de contaminação, o solo foi misturado e homogeneizado em sacos plásticos com volume de 2 dm³ de solo, conforme o tratamento. Após a adição do cádmio para a contaminação do solo, as amostras de solo permaneceram incubadas em casa de vegetação por um período de 26 dias. Em seguida, as amostras foram transferidas para sacos de plantio, de 4 litros, realizando-se a semeadura.

A espécie escolhida foi *Helianthus annuus* L., o girassol, uma oleaginosa da família Asteraceae. As sementes de girassol (cultivar Nusol 4170 CL Plus) foram doadas pela empresa Atlântica Sementes. A casualização do experimento foi realizada de forma manual, através de sorteio. Após 20 dias de germinação, foi feito o desbaste, deixando-se apenas duas plantas, por experimento, ficando aquelas que apresentaram maior uniformidade e melhor desenvolvimento até a data.

Após o período de 40 dias do desbaste, o experimento foi desmontado, amostras de folhas foram coletadas para estudos anatômicos.

Estudos anatômicos - Amostras da região mediana das folhas do terceiro ou quarto nó, completamente expandidas foram selecionadas, fixadas em FAA50 (formalina, ácido acético e álcool etílico na proporção 1:1:18 v:v) por 48 horas e armazenadas em álcool etílico 70% (Johansen, 1940). Posteriormente as amostras foram desidratadas em série etanólica e incluídas em 2-hidroxietil-metacrilato (Historesin, Leica, Heidelberg, Alemanha). As amostras das folhas foram seccionadas transversalmente (5µm) em micrótomo rotativo (Modelo 1508R), coradas com azul de toluidina em pH 4,7 (O'BRIEN, FEDER e MCCULLY, 1964) e montadas com resina sintética (Permount).

Amostras foliares foram submetidas ao processo de diafanização, sendo clarificadas com hipoclorito de sódio, lavadas em água destilada e coradas com fucsina 50% e as lâminas foram montadas em gelatina glicerinada. Todas as lâminas foram analisadas em microscópios e as imagens obtidas em microscópio Olympus modelo BX61, com câmera DP-72, no Laboratório de Anatomia Vegetal do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, em Rio Verde, Goiás, Brasil.

3. RESULTADOS

As folhas do girassol apresentam epiderme unisseriada em ambas as faces do limbo (Fig. 1A, B), incluindo na região da nervura mediana (Fig. 1C). Tricomas tectores e glandulares (Fig. 1A-D) ocorrem em ambas as faces do limbo. Os tricomas tectores variam em tamanho sendo simples, curto, uni e multicelular e longo multicelular (Fig. 1D) e os glandulares são multicelulares (Fig. 1B). As folhas são anfiestomáticas, ou seja, os estômatos ocorrem em ambas as faces da lâmina foliar (Fig. 1A). Correspondem a estômatos do tipo anomocítico (Fig. 1E), com células subsidiárias semelhantes às demais células epidérmicas.

O mesofilo é dorsiventral, com parênquima paliçádico formado por 2 camadas de células uniformes, alongadas e dispostas perpendicularmente e parênquima esponjoso (lacunoso) formado por 2-5 camadas de células de formato variado,

normalmente irregulares (Fig. 1A). Feixes vasculares colaterais diminutos ocorrem ao longo do limbo (Fig. 1A).

A nervura mediana é proeminente na face abaxial (Fig. 1C), apresenta colênquima e posição subepidérmica e parênquima de preenchimento. Três feixes vasculares colaterais são observados (Fig. 1C).

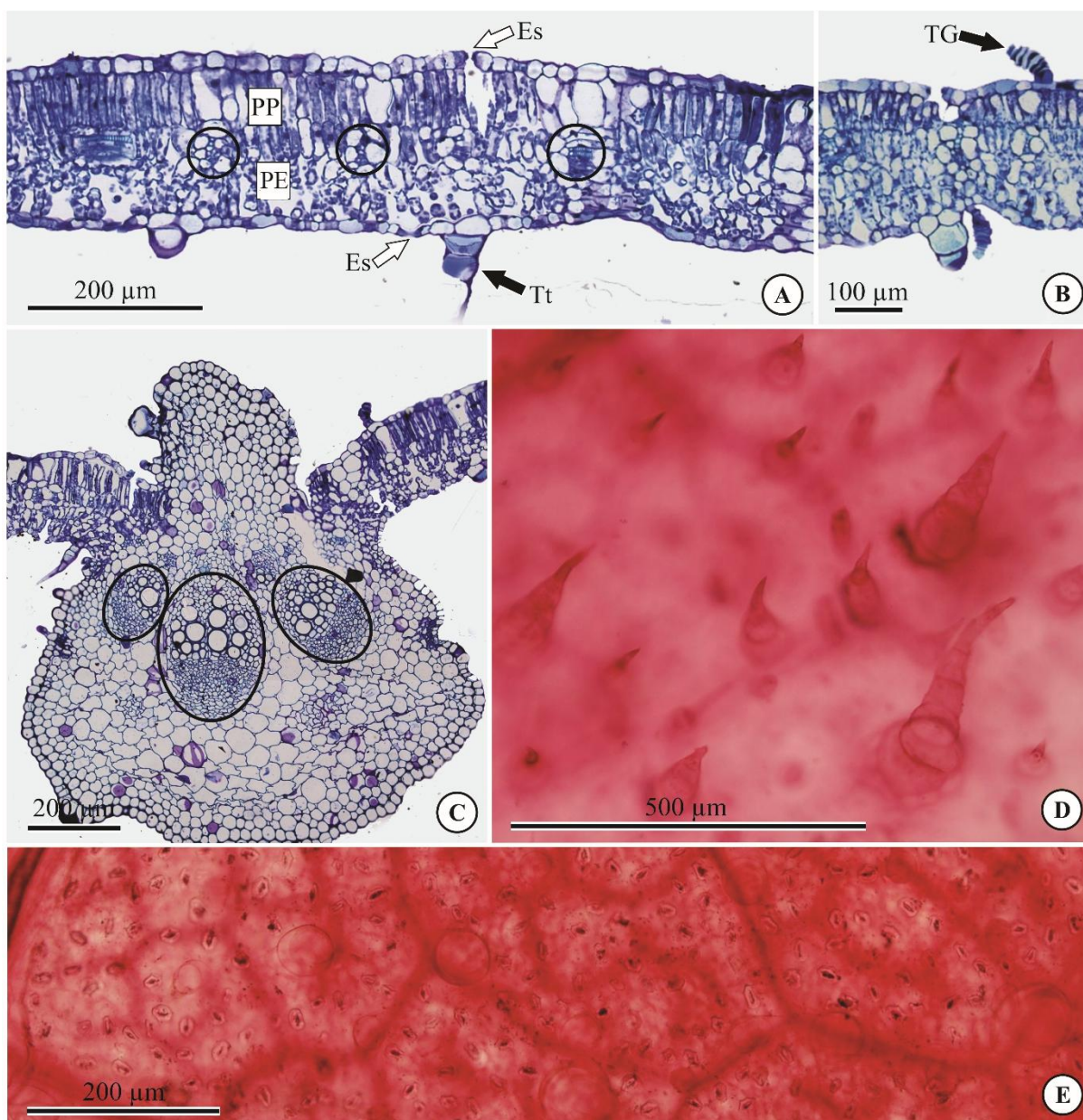


Figura 1: Caracterização anatômica das folhas do girassol (*Helianthus annuus* - Asteraceae). A-C: Secções transversais coradas com azul de toluidina. D e E: Material diafanizado. A: Caracterização geral do limbo foliar evidenciado epiderme unisseriada, folhas anfiestomáticas, mesofilo dorsiventral, feixes vasculares (círculos) e tricomas tectores e glandulares. B: Detalhe do tricoma glandular. C: Detalhe da região da nervura mediana com destaque para os feixes vasculares (círculos). D: Tricomas tectores em vista frontal. E: Epiderme da face abaxial com destaque para os estômatos. Abreviações: Es: estômatos;

PE: parênquima esponjoso; PP: parênquima paliçádico; TT: tricoma tector; TG: tricoma glandular.

Foi possível observar diferenças estruturais nas plantas submetidas ao tratamento com as diferentes concentrações de cádmio (Fig. 2). À partir da primeira concentração de cádmio ($2,5 \text{ mg dm}^{-3}$) a planta apresenta alterações em suas estruturas anatômicas foliares incluindo: colapso nas células da epiderme na face abaxial em grande parte de sua extensão e alterações no tamanho e formato das células do parênquima paliçádico (Fig. 2A-D). Nesse caso, as células em paliçada se tornam mais achatadas e com volume maior e as células do parênquima esponjoso, as quais se apresentam mais alongadas e largas, apresentando-se de tamanho similar ao das células do parênquima paliçádico (Fig. 2A-D). Os tricomas também se encontram alterados (Fig. 2 B, C). Retração do protoplasto e alteração no formato do núcleo, em especial nas células do parênquima esponjoso (Fig. 2D).

Com o aumento da concentração (5 mg dm^{-3}), a epiderme na face adaxial apresenta colapso em grande parte de sua extensão, enquanto na face abaxial não foi observado o mesmo colapso (Fig. 2E). Percebe-se o aumento do espaço intercelular no parênquima paliçádico e esponjoso (Fig. 2E), bem como uma maior concentração de cloroplastos no parênquima esponjoso (Fig. 2E).

Na concentração de $7,5 \text{ mg dm}^{-3}$ (Fig. 2F-I) a epiderme apresenta-se totalmente colapsada tanto na face abaxial quanto na face adaxial (Fig. 2F-I). Percebe-se alterações na forma das células do parênquima clorofiliano, em especial das células do parênquima paliçádico (Fig. 2I).

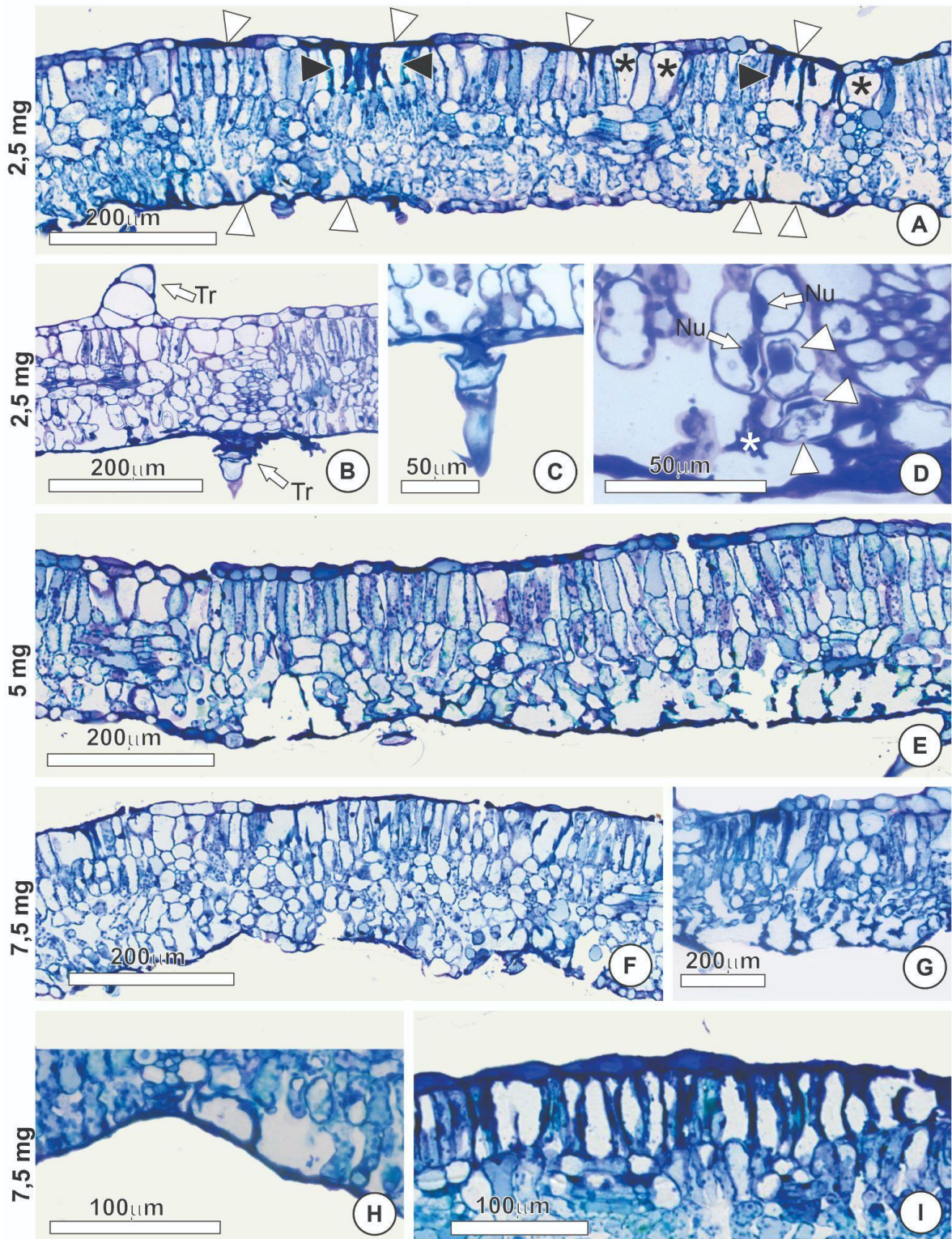


Figura 2: Cortes transversais das folhas do girassol (*Helianthus annuus* - Asteraceae) submetidas a diferentes concentrações de cádmio. A: Colapso das células da epiderme (cabeças de setas brancas) e das células do parênquima paliçádico (cabeças de setas pretas). Note a hiperplasia das células do parênquima clorofiliano (asteriscos). B: Tricomas e colapso da epiderme abaxial. C: Tricoma. D: Parênquima esponjoso, células plasmolisadas nucleadas. E: Colapso do parênquima esponjoso e epiderme abaxial. F e G: Desorganização celular e colapso da epiderme. H: Epiderme abaxial colapsada. I: Colapso na epiderme adaxial e do parênquima paliçádico.

4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo indicaram que *Helianthus annuus* L. apresentou uma série de alterações anatômicas nos tecidos foliares quando exposto a crescentes concentrações de Cd. Nossos dados são semelhantes aos identificados em algumas espécies de plantas, e, que indicam que a exposição das plantas ao cádmio desencadeia respostas fisiológicas, bioquímicas e anatômicas, que refletem a toxicidade do metal, bem como a capacidade adaptativa de cada espécie vegetal a esta toxicidade (ZHANG et al., 2010, PIRSELOVÁ et al., 2021; DOBRIKOVA et al., 2021; ILYAS et al., 2023; LI et al., 2023; KAZMI et al., 2025).

As modificações corroboram achados relatados para outras espécies cultivadas como *Pisum sativum*, cuja células foram expostas a cloreto de cádmio nas concentrações de 0,35 mg kg⁻¹, 0,7 mg kg⁻¹, 1,4 mg kg⁻¹, 7,0 mg kg⁻¹ (HATTAB et al., 2010); *Schinus molle* submetidas a 0, 10, 20, 50, 125 ou 250 µM de cádmio (PEREIRA, 2013); *Arachis hypogaea* cultivadas em solo contaminado nas concentrações de 10, 50, e 100µM Cd (SHI & CAI, 2008); *Salvia sclarea* que foi exposta a uma alta concentração de 100 µM (DOBRIKOVA et al., 2021); *Faba bean* cultivadas em solo contaminado com cádmio nas concentrações de 50 e 100 mg.kg⁻¹ (PIRSELOVÁ et al., 2021) e *Brassica oleracea*, que foram cultivadas em solo contaminado com cádmio nas concentrações de 0,5 mM e 1,0 mM (ILYAS et al., 2023), indicando que essas alterações são efeitos recorrentes do estresse por Cd.

A análise anatômica das secções transversais das folhas destacou o colapso epidérmico, a reorganização estrutural do mesofilo. Tais alterações, quando integradas, permitem uma visão abrangente do impacto do Cd sobre a folha e de como a planta tenta mitigar seus efeitos danosos. Já na primeira concentração do cádmio, foi observado o colapso das células epidérmicas. Essa alteração é considerada uma das respostas anatômicas mais sensíveis à presença de elementos tóxicos e indica falhas na manutenção da integridade da parede celular e da membrana plasmática (DOBRIKOVA et al., 2022). A literatura aponta que o Cd promove intenso estresse oxidativo, levando à formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), que atacam lipídios de membrana e provocam peroxidação lipídica, perda de permeabilidade seletiva e consequente colapso celular (ROMERO-PUERTAS et al., 2004; ILYAS et al., 2023). Como apontado por Dobrikova et al. (2022), esse padrão sugere que o Cd tende a se acumular preferencialmente na epiderme e nas paredes celulares das primeiras

camadas do mesofilo, favorecendo danos ultraestruturais como lise de organelas, ruptura vacuolar e desorganização citoplasmática (GARCIA et al., 2018 e THONGCHAI et al., 2021).

O aumento do tamanho das células foliares são um tanto contraditórios, já que em *Phaseolus vulgaris*, o Cd causou uma diminuição no tamanho das células (Barcelo et al., 1986), enquanto em *Brassica napus* e *Pisum sativum* levou a um aumento nas dimensões das células do mesofilo (Baryla et al., 2001; Sandalio et al., 2001). Rodrigues et al. (2016), estudando a *Salvinia auriculata*, identificaram aumento na espessura do mesofilo, conseqüente maior diâmetro das folhas, aumento da altura e largura das lacunas do aerênquima. No presente estudo, as células do parênquima paliçádico apresentaram aumento de comprimento e volume, principalmente nas concentrações mais elevadas. Esse padrão foi relatado por Shi e Cai (2009) em amendoim e por Ozyigit et al. (2013) em algodão, indicando que o alongamento celular pode representar um mecanismo compensatório para manter a eficiência fotossintética diante de danos aos cloroplastos. Em contrapartida, estudos como o de Dobrikova et al. (2022) com *Salvia sclarea*, Souza et al. (2009) com duas macrófitas aquáticas e Marques et al. (2011) apresentou os efeitos anatômicos do cádmio em plantas de *Eucalyptus camaldulensis*, observou redução dos espaços intercelulares, e conseqüente diminuição do mesofilo e do limbo foliar. Assim o aumento ou compactação do mesofilo, sugere que a resposta anatômica ao Cd é altamente dependente da espécie e da concentração utilizada.

Observou-se aumento significativo dos espaços intercelulares tanto no parênquima paliçádico quanto no esponjoso do girassol, especialmente nas concentrações de 5 e 7,5 mg dm⁻³. Esse comportamento é frequentemente relatado em espécies mais tolerantes e interpretado como uma forma de aumentar a difusão interna de CO₂, favorecendo o contato entre cloroplastos e gases presentes no mesofilo (EVANS et al., 1994; PEREIRA et al., 2015, RODRIGUES et al., 2016). Assim, o aumento dos espaços intercelulares pode representar um ajuste benéfico em baixos níveis de estresse.

Em concentrações mais elevadas de Cd, a irregularidade do parênquima esponjoso se acentua, com células assumindo formas alongadas ou arredondadas, evidenciando perda de padrão estrutural. Ilyasa et al. (2023) e Garcia et al. (2018) relatam que essa desorganização morfológica está associada à degradação de componentes da parede celular e ao mau funcionamento das organelas, especialmente

cloroplastos e mitocôndrias. Esses danos tendem a comprometer a eficiência fotossintética, reduzindo a taxa de assimilação de CO₂ e alterando o balanço energético da planta. O acúmulo de cloroplastos no parênquima esponjoso, observado nas maiores concentrações também foi registrado em outras espécies submetidas a elementos tóxicos e pode estar relacionado a uma tentativa da planta de redistribuir organelas fotossintéticas buscando minimizar perdas na captação de luz (PEREIRA et al., 2015).

Em suma, aos resultados obtidos demonstram que o girassol (cultivar Nusol 4170 CL Plus) possui mecanismos moderados de tolerância ao Cd. Essas observações estão de acordo com estudos que apontam que espécies não hiperacumuladoras sofrem danos anatômicos progressivos quando excedem sua capacidade de detoxificação (KÜPPER et al., 2016). De modo geral, os resultados obtidos reforçam que o Cd desencadeia respostas estruturais que variam desde ajustes morfofisiológicos em baixos níveis de exposição até danos severos e irreversíveis em concentrações mais altas. Ressaltamos ainda que a compreensão desses mecanismos anatômicos é fundamental para a avaliação da tolerância das espécies ao Cd e para direcionar futuros estudos sobre fitorremediação, cultivo em solos contaminados e impactos ambientais associados a elementos tóxicos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo anatômico forneceu evidências de que a exposição ao cádmio causou danos em níveis microscópicos, conforme as doses utilizadas nas folhas de *Helianthus annuus* L, mesmo que esses efeitos não tenham sido identificados na macroscopia da planta. As principais alterações identificadas incluem o colapso progressivo das células epidérmicas, a desorganização celular dos parênquimas paliçádico e esponjoso, e a formação de grandes lacunas intercelulares resultantes da degradação tecidual. Estas alterações estruturais não são meramente sintomas, mas sim bioindicadores da fitotoxicidade do cádmio, representando a base física para o declínio da função fisiológica, como a fotossíntese e a regulação hídrica, que levam à redução do crescimento e da saúde geral da planta.

Conclui-se que a análise anatômica é uma poderosa ferramenta para a avaliação do estresse por metais pesados. A sua capacidade de revelar danos

celulares antes do aparecimento de sintomas macroscópicos severos torna-a um instrumento valioso para o monitoramento ambiental e para a avaliação de risco. É possível destacar também, que a espécie *Helianthus annuus* L., atua como uma espécie bioacumuladora de cádmio, porém não bioindicadora, sendo importante na área de fitorremediação do solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARYLA, A. et al. Leaf chlorosis in oilseed rape plants (*Brassica napus*) grown on cadmium-polluted soil: causes and consequences for photosynthesis and growth. *Planta*, v. 212, p. 696–709, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s004250000439>.

BENAVIDES, M. P.; GALLEGO, S. M.; TOMARO, M. L. Toxicidade de cádmio em plantas. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 17, n. 1, p. 21–34, 2005. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-04202005000100003.

BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C.; ANDREU, I.; GUNSE, B. Cadmium-induced decrease of water stress resistance in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Contender). I. Effects of Cd on water potential, relative water content and cell wall elasticity. *Journal of Plant Physiology*, v. 125, n. 1–2, p. 17–25, 1986. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(86\)80239-5](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(86)80239-5).

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Cádmio e seus compostos*. São Paulo: CETESB, 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Cadmio.pdf>.

CLEMENS, S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*, v. 88, p. 1707–1719, 2006.

D'ÁVILA, R. C. *Potencial fitorremediador do Lupinus sp. em solos contaminados com cádmio*. 2014. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

DOBRIKOVA, A. G. et al. Cadmium-induced structural and functional changes in leaves of *Salvia sclarea*. *Plants*, v. 11, 2022.

DOBRIKOVA, A. G. et al. Combined impact of excess zinc and cadmium on elemental uptake, leaf anatomy and pigments, antioxidant capacity, and function of photosynthetic apparatus in clary sage (*Salvia sclarea* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 209, 2021.

FERREIRA, M. M. A. A. S. *Toxidez de cádmio inibe o crescimento e altera a absorção de nutrientes do girassol*. 2013. 45 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Cruz das Almas, 2013.

EVANS, J. R.; VOGELMANN, T. C.; JOHNSON, P. et al. The dependence of photosynthesis on light distribution in leaves. *Plant, Cell & Environment*, v. 17, p. 357–366, 1994.

GARCIA, J. S. et al. Ultrastructural changes induced by cadmium in plant mesophyll. *Environmental and Experimental Botany*, v. 148, p. 1–10, 2018.

GARCIA, J. S. et al. Short-term cadmium exposure induces gas exchanges, morphological and ultrastructural disturbances in mangrove *Avicennia schaueriana* young plants. *Marine Pollution Bulletin*, v. 131, p. 122–129, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.058>.

GUIMARÃES, M. A.; SANTANA, T. A.; SILVA, E. V.; ZENZEN, I. L.; LOUREIRO, M. E. Toxicidade e tolerância ao cádmio em plantas. *Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas*, v. 2, n. 2, p. 58–68, 2008.

HALL, J. L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of Experimental Botany*, v. 53, p. 1–11, 2002.

HATTAB, S. et al. Cadmium- and copper-induced DNA damage in *Pisum sativum* roots and leaves as determined by the Comet assay. *Plant Biosystems*, v. 143, suppl. 1, p. S6–S11, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/11263500903187035>.

HE, S.; YANG, X.; HE, Z.; BALIGAR, V. C. Morphological and physiological responses of plants to cadmium toxicity: a review. *Pedosphere*, v. 27, n. 3, p. 421–438, 2017. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60339-4](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60339-4).

ILYASA, F. et al. Leaf anatomical responses to cadmium stress in plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 252, 2023.

JESUS, D. S.; MARTINS, F.; AZEVEDO NETO, A. Structural changes in leaves and roots are anatomical markers of aluminum sensitivity in sunflower. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 46, p. 383–390, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v46a41426>.

JOHANSEN, D. A. *Plant microtechnique*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1940.

KAZMI, A et al. Cadmium stress alters heterophylly, anatomy, and photosynthetic activity of *Hygrophila difformis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 302, art. 118685, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118685>.

KÜPPER, H.; ANDRESEN, E. Mechanisms of metal toxicity in plants. *Metallomics*, v. 8, n. 3, p. 269–285, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C5MT00244C>.

LOPES, C. *Acúmulo de cádmio e crescimento de plantas de agrião, chicória e rúcula cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo*. 2015. 91 f. Tese (Doutorado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2015.

LI, Y. et al. Toxic effects of cadmium on the physiological and biochemical attributes of plants, and phytoremediation strategies: a review. *Environmental Pollution*, v. 325, art. 121433, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121433>.

MARQUES, T. C. L. L. S. M. et al. Respostas fisiológicas e anatômicas de plantas jovens de eucalipto expostas ao cádmio. *Revista Árvore*, v. 35, n. 5, p. 997–1006, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622011000600005.

O'BRIEN, T. P.; FEDER, N.; McCULLY, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. *Protoplasma*, v. 59, n. 2, p. 368–373, 1964.

OZYIGIT, I. I. et al. Leaf anatomical changes in cotton under cadmium stress. *Biologia Plantarum*, v. 57, p. 612–620, 2013.

PEREIRA, M. P. *Anatomia e fisiologia de plantas de Schinus molle L. (Anacardiaceae) expostas ao cádmio: mecanismos de tolerância e potencial para fitorremediação*. 2013. 77 f. Dissertação (Mestrado em Botânica Aplicada) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

PEREIRA, M. P et al. Cadmium tolerance in *Schinus molle* trees is modulated by enhanced leaf anatomy and photosynthesis. *Trees*, v. 30, p. 807–814, 2016.

PEREIRA, G. S. et al. Anatomical adjustments in leaves exposed to heavy metals. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 22, p. 1–12, 2015.

PIOTTO, F. A. et al. Cadmium in foodstuffs and health risk: a review of the literature. *Food and Chemical Toxicology*, v. 50, n. 3–4, p. 585–594, 2012.

PIRSELOVÁ, B.; KUBOVÁ, V.; BOLECEK, P.; HEGDUSOVÁ, A. Impact of cadmium toxicity on leaf area and stomatal characteristics in faba bean. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, v. 11, n. 2, e3718, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.15414/jmbfs.3718>.

RIBAS, M. L. *Caracteres agronômicos de cinco genótipos de girassol (Helianthus annuus L.) avaliados em Campos dos Goytacazes – RJ*. 2009. 58 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Campos dos Goytacazes, 2009.

RIZWAN, M. et al. A critical review on effects, tolerance mechanisms and management of cadmium in vegetables. *Chemosphere*, v. 159, p. 285–301, 2016.

RODRIGUES, D. A. et al. Effect of cadmium on the morphology and anatomy of *Salvinia auriculata*. *African Journal of Biotechnology*, v. 15, n. 21, p. 891–896, 2016.

ROMERO-PUERTAS, M. C. et al. Cadmium-induced changes in the growth and antioxidant properties of pea plants. *Journal of Plant Physiology*, v. 161, p. 692–700, 2004.

SANDALIO, L. M.; DALURZO, H. C.; GÓMEZ, M.; ROMERO-PUERTAS, M. C.; DEL RÍO, L. A. Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea

plants. *Journal of Experimental Botany*, v. 52, n. 364, p. 2115–2126, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.364.2115>.

SANTOS, J. B. et al. *Produção de girassol no Brasil: panorama e desafios*. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2021.

SHI, G.; CAI, Q. Photosynthetic and anatomic responses of peanut leaves to cadmium stress. *Photosynthetica*, v. 46, p. 627–630, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11099-008-0107-8>.

SHI, G.; CAI, Q. Cadmium tolerance and detoxification mechanisms in peanut plants. *Plant Physiology*, v. 135, p. 115–125, 2009.

SILVA, M. A. et al. *Girassol na safrinha: uma alternativa para rotação de culturas*. São Paulo: Agrianual, 2009.

SILVA, H. L. *Potencial alelopático da cultura do girassol (Helianthus annuus L.)*. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2009.

SILVA, S. A.; TECHIO, V. H.; CASTRO, E. M.; FARIA, M. A.; PALMIERI, M. J. Reproductive, cellular, and anatomical alterations in *Pistia stratiotes* L. plants exposed to cadmium. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 224, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1454-z>.

SILVA, O. B.; et al. Leaf morphoanatomical and physiological characteristics of sunflower genotypes under water deficit. *South African Journal of Botany*, v. 178, p. 244–256, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2025.01.018>.

SOROUR, A. A.; BADR, R.; MAHMOUD, N.; ABDEL-LATIF, A. Cadmium and zinc accumulation and tolerance in two Egyptian cultivars (S53 and V120) of *Helianthus annuus* L. as potential phytoremediator. *International Journal of Phytoremediation*, v. 26, n. 10, p. 1643–1654, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15226514.2024.2343842>.

SOUZA, V. L. et al. Efeitos do cádmio na anatomia e na fotossíntese de duas macrófitas aquáticas. *Acta Botanica Brasilica*, v. 23, n. 2, p. 343–354, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062009000200006.

THONGCHAI, S. et al. Ultrastructural effects of heavy metal accumulation in leaves. *Protoplasma*, v. 258, 2021.

YAN, Y.; SUN, Q.; YANG, J.; ZHANG, X.; GUO, B. Source attributions of cadmium contamination in rice grains by cadmium isotope composition analysis: a field study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 210, art. 111865, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111865>.

ZHANG, M. et al. Cadmium contamination in rice and its risk to human health. *Environmental Pollution*, v. 158, n. 5, p. 1573–1577, 2010.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. et al. Leaf anatomy and gas exchange of ornamental sunflower in response to silicon application. *Bioscience Journal*, v. 33, n. 4, p. 833–842, 2017.

ZEITOUNI, C. F. *Eficiência de espécies vegetais como fitoextratoras de cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico*. 2003. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas, 2003.

ZULFIQAR, U.; FAROOQ, M.; HUSSAIN, S.; MAQSOOD, M.; HUSSAIN, M. et al. Cadmium toxicity in plants: a review on the uptake, transport, and mitigation strategies. *Journal of Hazardous Materials*, v. 372, p. 1–12, 2019.