


**JANINE FARIAS MENEGAES  
RAQUEL STEFANELLO  
UBIRAJARA RUSSI NUNES  
ORGANIZADORES**

# Sementes

**FOCO EM PESQUISA SOBRE  
QUALIDADE FISIOLÓGICA E SANITÁRIA  
VOLUME II**



2024



**Janine Farias Menegaes**  
**Raquel Stefanello**  
**Ubirajara Russi Nunes**  
Organizadores

**Sementes: foco em pesquisa sobre  
qualidade fisiológica e sanitária**  
**Volume 2**



Pantanal Editora

2024

Copyright© Pantanal Editora

**Editor Chefe:** Prof. Dr. Alan Mario Zuffo

**Editores Executivos:** Prof. Dr. Jorge González Aguilera e Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

**Diagramação:** A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com.

**Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

### Conselho Editorial

#### Grau acadêmico e Nome

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos

Profa. MSc. Adriana Flávia Neu

Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior

Profa. MSc. Aris Verdecia Peña

Profa. Arisleidis Chapman Verdecia

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva

Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo

Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu

Prof. Dr. Carlos Nick

Prof. Dr. Claudio Silveira Maia

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos

Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva

Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos

Prof. MSc. David Chacon Alvarez

Prof. Dr. Denis Silva Nogueira

Profa. Dra. Denise Silva Nogueira

Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão

Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves

Prof. Me. Ernane Rosa Martins

Prof. Dr. Fábio Steiner

Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza

Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez

Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles

Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira

Prof. MSc. Javier Revilla Armesto

Prof. MSc. João Camilo Sevilla

Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales

Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski

Prof. MSc. Lucas R. Oliveira

Prof. Dr. Luciano Façanha Marques

Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela

Prof. Dr. Leandris Argente-Martínez

Profa. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa

Marchesan

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann

Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior

Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos

Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla

Profa. MSc. Mary Jose Almeida Pereira

Profa. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes

Profa. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira

Profa. Dra. Patrícia Maurer

Profa. Dra. Queila Pahim da Silva

Prof. Dr. Rafael Chapman Auty

Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke

Prof. Dr. Raphael Reis da Silva

Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes

Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)

#### Instituição

OAB/PB

Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã

UO (Cuba)

IF SUDESTE MG

Facultad de Medicina (Cuba)

ISCM (Cuba)

UFESSPA

UEA

UNEMAT

UFV

AJES

UFGD

UEMS

IFPA

UNICENTRO

IFMT

UFMG

URCA

ISEPAM-FAETEC

IFG

UEMS

UFF

(Colômbia)

UNAM (Peru)

IFRR

UCG (México)

Rede Municipal de Niterói (RJ)

UNMSM (Peru)

UFMT

SED Mato Grosso do Sul

UEMA

IFPR

Tec-NM (México)

Consultório em Santa Maria

UFJF

UEG

FAQ

UNAM (Peru)

SEDUC/PA

IFB

IFPA

UNIPAMPA

IFB

UO (Cuba)

UFMS

UFPI

UFG

UEMA

Profa. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos IFB  
MSc. Tayronne de Almeida Rodrigues  
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca UFPI  
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira FURG  
Profa. Dra. Yilan Fung Boix UO (Cuba)  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme UFT

Conselho Técnico Científico

- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

**Catalogação na publicação**  
**Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166**

S471

Sementes: foco em pesquisa sobre qualidade fisiológica e sanitária – Volume 2 / Organização de Janine Farias Menegaes, Raquel Stefanello, Ubirajara Russi Nunes. – Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2024. 156p.

Livro em PDF

ISBN 978-65-85756-28-0

DOI <https://doi.org/10.46420/9786585756280>

1. Sementes. I. Menegaes, Janine Farias (Organizadora). II. Stefanello, Raquel (Organizadora). III. Nunes, Ubirajara Russi (Organizador). IV. Título.

CDD 631.521

Índice para catálogo sistemático

I. Sementes



**Pantanal Editora**

Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.  
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.  
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).  
<https://www.editorapantanal.com.br>  
[contato@editorapantanal.com.br](mailto:contato@editorapantanal.com.br)

## **Apresentação**

O e-book **Sementes: foco em pesquisa sobre qualidade fisiológica e sanitária – volume 2** de publicação da Pantanal Editora, apresenta, em seus treze capítulos, os resultados de pesquisas desenvolvidas ao longo dos últimos anos de várias instituições de ensino como a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) Campus Botucatu, todas com participação direta dos acadêmicos de graduação e de pós-graduação.

Sabendo que as pesquisas na Área de Sementes são essenciais para uma agricultura de baixo impacto ambiental e aumento da produtividade, nosso trabalho visa contemplar as necessidades de desenvolvimento do Setor Agrônômico Brasileiro. Aproximando o **produtor** da **ciência**, para que ambos obtenham sucesso na aplicabilidade desse conhecimento no **campo**, de forma a promover um manejo sustentável e rentável ao meio rural.

Ótima leitura e atentiosamente,

**Janine Farias Menegaes**

**Raquel Stefanello**

**Ubirajara Russi Nunes**

...

Quem cultiva a semente do amor  
Segue em frente e não se apavora  
Se na vida encontrar dissabor  
Vai saber esperar a sua hora


...

(Madureira, Bernini & Pilares)


# Sumário


<b>Apresentação</b> .....	<b>4</b>
<b>Capítulo I</b> .....	<b>7</b>
Introdução: principais aspectos na qualidade de sementes (revisão) .....	7
<b>Capítulo II</b> .....	<b>25</b>
Nutrição mineral de plantas e qualidade fisiológica de sementes: uma análise científica.....	25
<b>Capítulo III</b> .....	<b>44</b>
Componentes de produtividade de sementes de nabo-forrageiro em diferentes épocas de colheita ..	44
<b>Capítulo IV</b> .....	<b>54</b>
Embebição e qualidade fisiológica de sementes de cultivares de soja .....	54
<b>Capítulo V</b> .....	<b>65</b>
Mancha-púrpura na qualidade fisiológica de sementes de cultivares de soja.....	65
<b>Capítulo VI</b> .....	<b>74</b>
Qualidade fisiológica e sanitária e patogenicidade de sementes de sorgo-sacarino .....	74
<b>Capítulo VII</b> .....	<b>88</b>
Ácido salicílico na germinação de sementes de trevo-persa.....	88
<b>Capítulo VIII</b> .....	<b>98</b>
Efeitos do estresse salino na germinação de sementes de aveia-branca.....	98
<b>Capítulo IV</b> .....	<b>107</b>
Radiação ultravioleta (UV-B) na germinação de sementes de aveia-branca .....	107
<b>Capítulo X</b> .....	<b>117</b>
Óxido de grafeno na germinação de sementes de aveia-branca .....	117
<b>Capítulo XI</b> .....	<b>127</b>
Germinação de sementes de <i>Solanum sessiliflorum</i> Dunal sob efeito da embebição com ácido giberélico .....	127
<b>Capítulo XII</b> .....	<b>135</b>
Morfologia das sementes e sua relação com a presença de <i>Fusarium</i> spp.....	135
<b>Capítulo XIII</b> .....	<b>144</b>
Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de cártamo armazenadas por diferentes períodos .....	144
<b>Sobre os organizadores</b> .....	<b>155</b>
<b>Índice Remissivo</b> .....	<b>156</b>

# Óxido de grafeno na germinação de sementes de aveia-branca

 10.46420/9786585756280cap10

Raquel Stefanello 

Daiane Balconi Bevilaqua 

Wagner Jesus da Silva Garcia 

Theodoro da Rosa Salles 

Cristiano Rodrigo Bohn Rhoden 

## INTRODUÇÃO

Os nanomateriais à base de grafeno têm recebido atenção especial devido às suas aplicações em diversos campos como dispositivos de armazenamento de energia; na biomedicina (revestimento de dispositivos médicos); nanoeletrônica; em materiais de adsorção; composição de embalagens; como componentes de fertilizantes; em sistemas de nanoencapsulação e liberação inteligente; no tratamento de água e ultrafiltração; na remoção de contaminantes; na quantificação de pesticidas e inseticidas e em sistemas de detecção e agricultura de precisão (Ahamed & Loganathan, 2023; Nasiri, Ahmadzadeh & Amiri, 2021; Nunes et al., 2023; Diraki et al., 2019; Kaymak, Sevim & Metin, 2022; Abu-Nada, Abdala & McKay, 2021; Karamipour, Fathi & Safari, 2021; Salles et al., 2023; Sun et al., 2021; Priyadharshini et al., 2022).

O óxido de grafeno (*graphene oxide* - GO) como material primário possui várias vantagens, como ser atóxico, produzido em larga escala a partir de grafite e de baixo custo em relação aos materiais existentes (Kaymak et al., 2022). Apresenta inúmeras características importantes e únicas, como hidrofiliabilidade, alta dispersão em meio aquoso, fácil síntese, tamanho robusto, alta biocompatibilidade e capacidade de funcionalização de superfície, devido à presença de grupos funcionais o que permite aplicações promissoras em vários campos, incluindo áreas biomédicas, biológicas e agrícolas (Ghulam et al., 2022).

Diversos estudos utilizando o óxido de grafeno e sugerindo melhora significativa no crescimento das plantas, despertaram interesse em suas possíveis aplicações na agricultura, influenciando positivamente nos estágios de desenvolvimento como germinação de sementes, respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas e crescimento de raízes e parte aérea (Zhang et al., 2015; González-García et al., 2019; Park et al., 2020; Samadi et al., 2021; Guo et al., 2021; Yang et al., 2022; Zhao et al., 2023; Kazlauskas et al., 2023).

Por outro lado, alguns estudos apontam possíveis efeitos negativos como observado em alfafa (*Medicago sativa* L.) onde o óxido de grafeno em níveis elevados teve um impacto negativo no crescimento



e desenvolvimento radicular, induzindo estresse oxidativo e desequilíbrio nutricional (Zhao et al., 2023); em arroz onde foram observados menor comprimento de raiz e peso fresco e seco (Shen et al., 2019) e em trigo onde foi verificada inibição da germinação das sementes de 1000-2000  $\mu\text{g mL}^{-1}$  (Vochita et al., 2019). Adicionalmente, na espécie *Larix olgensis* Ostenf. & Syrach as altas concentrações de grafeno ( $>100 \text{ mg L}^{-1}$ ) diminuíram o comprimento, volume, diâmetro e massa seca da raiz das plântulas (Song et al., 2020).

Além disso, o óxido de grafeno têm sido utilizado como mitigador de efeito de toxicidade por cádmio em arroz (Yin et al., 2018) e alface (Gao et al., 2020), por cobre em lentilha d'água (*Lemna minor* L.) (Hu et al., 2018), por níquel (Ni), zinco (Zn), cromo (Cr) e cobre (Cu) em agrião - (*Lepidium sativum* L.) (Kazlauskas et al., 2023), estresse hídrico em abobrinha (*Cucurbita pepo* L.) e estresse salino em melão (*Cucumis melo* L.) (Kaymak et al., 2022) e trevo-persa (*Trifolium resupinatum* L.) (Stefanello et al., 2024), protegendo assim as plantas dos efeitos nocivos de altas concentrações.

A ampla aplicação e as propriedades únicas do óxido de grafeno fazem com que ele interaja com outros poluentes e, posteriormente, altere seu comportamento e toxicidade (Hu et al., 2018). Tem atraído muita atenção por possuir uma excelente propriedade de adsorção para eliminar com eficiência metais pesados como Cd, Pb, Cr, Ni, Zn e Cu que se originam de efluentes farmacêuticos, eliminando assim íons de metais pesados e impurezas orgânicas de águas residuais (Wang et al., 2019).

No entanto, o aumento da produção, usos extensivos e a liberação de nanomateriais à base de grafeno no ambiente levantou preocupações sobre os seus potenciais riscos biológicos e ambientais (Zhao et al., 2022; Yang et al., 2022), sendo essencial entender e investigar se o uso desta nanopartícula de carbono é seguro bem como os efeitos diretos e indiretos nos organismos em vários campos (Yin et al., 2018; Stefanello et al., 2024). Em resposta a essas preocupações, inicialmente em estudos preliminares foi explorado se o grafeno poderia induzir fitotoxicidade em concentrações consideradas altas (0-1000  $\text{mg L}^{-1}$  GO). Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de nanomateriais como o óxido de grafeno, na germinação de sementes de uma espécie forrageira de relevante importância econômica, como a aveia-branca (*Avena sativa* L.).

## MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de aveia não tratadas adquiridas de uma empresa tradicional em comercialização de sementes foram utilizadas para o trabalho desenvolvido no Laboratório de Genética Vegetal & Evolução Vegetal, do Departamento de Biologia (Centro de Ciências Naturais e Exatas) da Universidade Federal de Santa Maria (RS).

A síntese do GO seguiu a metodologia de Salles et al. (2020) onde 1,0 g de grafite em flocos (Sigma-Aldrich®) foi adicionado a 60 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98% (Synth®) sob agitação magnética por 10 min em temperatura ambiente. Sucessivamente foram adicionados 6 g de  $\text{KMnO}_4$  (Synth®) (durante 20 min). A solução resultante foi aquecida a 40 °C e mantida sob agitação durante 5 h. Sequencialmente, à

temperatura ambiente, adicionou-se água destilada (180 mL) lentamente e sob agitação durante 12 h. Em seguida, a reação foi aquecida a 40 °C por 2 h e foram adicionados 300 mL de água destilada e 10 mL de peróxido de hidrogênio (Synth®). A solução amarela foi lavada até pH 7,0 e seca em estufa (DeLeo) a 50 °C por 7 dias. Por fim, 1,5 g do produto final foi disperso em 1000 mL de água destilada, resultando na concentração de 1,5 g L<sup>-1</sup>.

Para avaliar o efeito dos nanomateriais na germinação foram utilizadas concentrações de 0 (somente água destilada), 125, 250, 500 e 1000 mg L<sup>-1</sup> de GO. As sementes de aveia foram embebidas por 24 horas no escuro, em temperatura ambiente, em diferentes concentrações de GO, conforme metodologia adaptada de Kaymak et al. (2022). Após condicionamento com GO, as sementes foram secas em temperatura ambiente e os seguintes testes foram implementados:

**Teste de germinação (%)**: realizado com quatro repetições de 50 sementes distribuídas em papel *germitest* umedecido com água destilada ou respectiva solução de GO (2,5 vezes a massa do papel seco). Após a semeadura, foram confeccionados rolos que foram mantidos em câmara de germinação (BOD - *Biochemical Oxygen Demand*), na temperatura constante de 20 °C, em presença de 12 h de luz, sendo as contagens realizadas aos cinco e 10 dias (quando foi finalizado o teste) e os resultados expressos em percentagem (Brasil, 2009).

**Primeira contagem (%)**: realizada juntamente com o teste de germinação, onde foi determinada a percentagem de plântulas normais no quinto dia após a instalação do teste (Brasil, 2009).

**Comprimento de plântula (cm)**: no quinto dia após a semeadura foram coletadas aleatoriamente dez plântulas do teste de germinação, em que foi medido o comprimento médio total com o auxílio de uma régua milimetrada (Krzyzanowski et al., 2020).

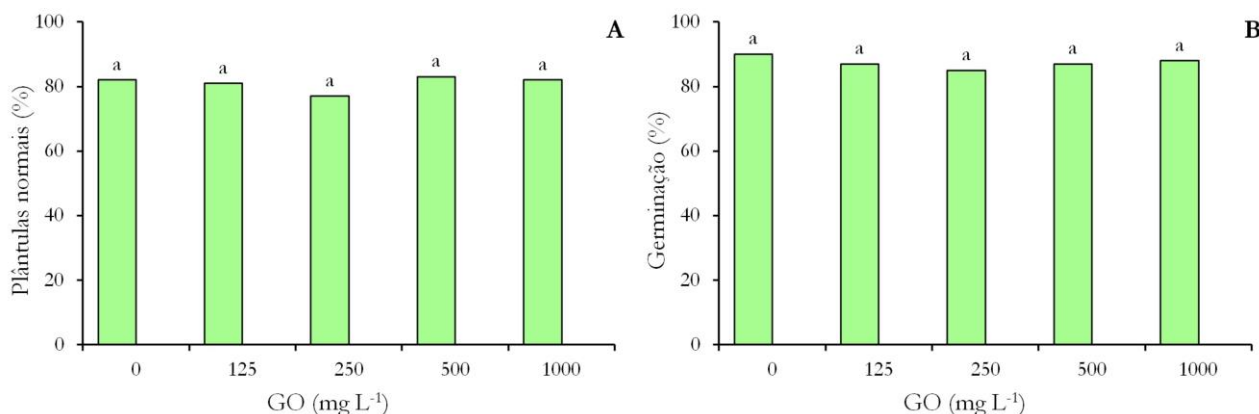
**Massa seca de plântulas (mg)**: foram selecionadas dez plântulas normais de cada repetição do teste de germinação. As plântulas foram pesadas em balança de precisão (0,001 g), após secagem do material em estufa de ventilação forçada a 60±5 °C por 48 h, obtendo-se a massa seca total (Krzyzanowski et al., 2020).

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com tratamentos constituídos por diferentes concentrações de óxido de grafeno e os dados analisados no software SISVAR pelo teste de Scott-Knott (p-valor≤0,05). A apresentação em gráficos de colunas foi definida para melhor visualização dos resultados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

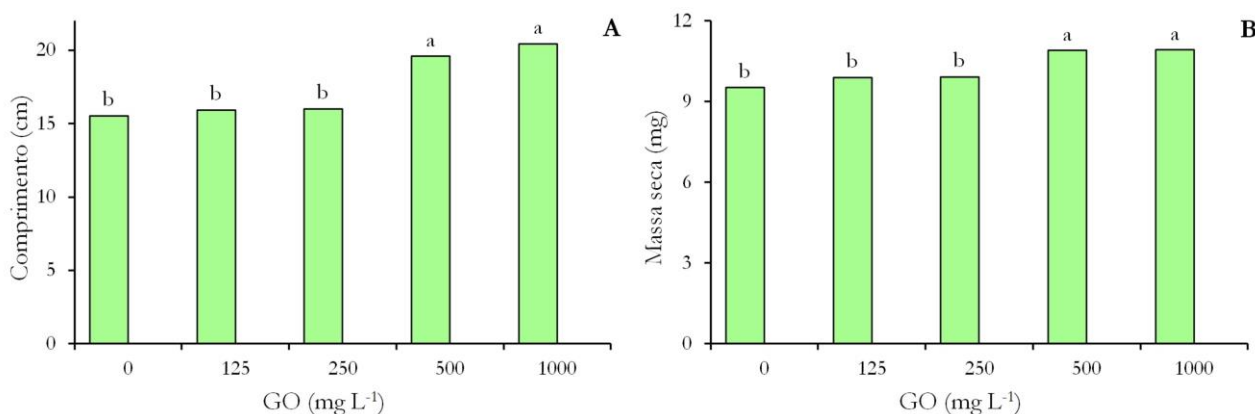
A análise dos dados indicou que os tratamentos com óxido de grafeno não tiveram efeito significativo na percentagem de plântulas normais de aveia avaliada através dos testes de primeira contagem (Figura 1A) e germinação de sementes (Figura 1B). A primeira contagem, avaliada aos cinco dias após a semeadura, apresentou percentagem média de plântulas normais de 82% tanto no controle (sem GO) como na maior concentração utilizada (1000 mg L<sup>-1</sup>). Seguindo a mesma tendência, a

germinação não diminuiu com o aumento das concentrações de GO apresentando valores médios de 90 a 88% (Figura 1 B).



**Figura 1.** Primeira contagem (A) e germinação (B) de sementes de aveia-branca (*Avena sativa* L.) submetidas a diferentes concentrações de óxido de grafeno (GO). \*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p$ -valor $\leq$ 0,05). Fonte: os autores.

Observou-se maior comprimento das plântulas com o aumento das concentrações de GO de 15,53 cm no controle para 19,60 cm em 500 mg L<sup>-1</sup> e 20,45 cm em 1000 mg L<sup>-1</sup> (Figura 2A). Conseqüentemente, a massa seca também foi influenciada significativamente pelas diferentes concentrações de GO (Figura 2B).



**Figura 2.** Comprimento (A) e massa seca (B) de plântulas de aveia-branca (*Avena sativa* L.) submetidas a diferentes concentrações de óxido de grafeno (GO). \*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p$ -valor $\leq$ 0,05). Fonte: os autores.

Alguns estudos indicam que o óxido de grafeno pode atuar como transportador de água para promover a germinação das sementes devido à sua natureza hidrofílica (He et al., 2018). Sugere-se que o GO seja capaz de penetrar nas cascas das sementes, rompendo-as para facilitar a absorção de água, resultando em uma rápida germinação e aumento do crescimento (Samadi et al., 2021). Os grupos

funcionais de GO contendo oxigênio coletam água e os domínios  $sp^2$  hidrofóbicos transportam água para as sementes para acelerar a germinação (Zhang et al., 2015; He et al., 2018; Zhao et al., 2020).

As nossas observações mostraram aumento do comprimento das plântulas de aveia-branca à medida que aumentou a concentração de GO (Figura 3).



**Figura 3.** Plântulas de aveia-branca (*Avena sativa* L.) submetidas a diferentes concentrações de óxido de grafeno ( $\text{mg L}^{-1}$ ). Fonte: os autores.

Resultados de outros estudos indicam que 50 a  $150 \text{ mg L}^{-1}$  de óxido de grafeno promoveram significativamente a germinação de sementes de falso-indigo (*Amorpha fruticosa* L.) (Liu, Lü & Luo, 2022), enquanto os tratamentos com 50 e  $100 \text{ mg L}^{-1}$  de GO resultaram no acúmulo de biomassa radicular e favorecimento do desenvolvimento morfológico de plântulas de tomate, regulando positivamente a expressão gênica relacionada ao desenvolvimento radicular e aumentando o conteúdo de ácido indol acético (Guo et al., 2021). Em alfafa (*Medicago sativa* L.) uma pequena quantidade de GO (0,4 a 0,6%) promoveu aumento na altura da planta e na biomassa do caule e das folhas (Zhu et al., 2020).

Além disso,  $50 \text{ mg L}^{-1}$  de GO melhorou o rendimento e os caracteres morfológicos das raízes de babosa (*Aloe vera* (L.) Burm. f.) (Zhang et al., 2021) e, em melão, a porcentagem de germinação e o comprimento da raiz foram maiores nas sementes condicionadas com GO em relação à testemunha (Kaymak et al., 2022). Adicionalmente, os tratamentos com óxido de grafeno até  $150 \text{ mg dm}^{-3}$  melhoraram significativamente a germinação das sementes e o crescimento das raízes e inibiram o

crescimento da parte aérea de arroz (He et al., 2021). Ainda, em *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., concentrações de 100 a 10000  $\mu\text{g L}^{-1}$  de GO não influenciaram a absorção de água e nutrientes e, portanto, não afetaram a biomassa de raízes e parte aérea, mas, ao contrário, estimularam seu crescimento indicado pelo aumento no comprimento das raízes, área e número de folhas e formação de botões florais (Park et al., 2020).

A exposição ao óxido de grafeno na concentração de 1  $\text{mg L}^{-1}$  não apresentou efeitos aparentes, ao mesmo tempo que a exposição ao GO isoladamente na concentração de 10  $\text{mg L}^{-1}$  acelerou a germinação das sementes de arroz e o crescimento das raízes devido a melhor absorção de água (Li et al. 2020); enquanto 50  $\mu\text{g mL}^{-1}$  de GO favoreceu o aumento do comprimento da raiz principal e do número de raízes laterais em *A. thaliana* (Gao et al., 2022).

Complementarmente, o óxido de grafeno até 500  $\text{mg L}^{-1}$  não exerceu efeitos adversos na germinação de sementes de trevo-persa (*Trifolium resupinatum* L.) e trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench). Também, a exposição simultânea de GO/sal indicou um efeito positivo do óxido de grafeno no número de sementes germinadas e no crescimento inicial, enfatizando assim a importância do nanomaterial como um agente atenuante contra o efeito tóxico dos sais na agricultura (Stefanello et al., 2024a; Stefanello et al., 2024b).

Outros estudos apontam que o GO pode desempenhar o papel de um escudo protetor influenciando os grupos hidrofílicos de proteínas e carboidratos do revestimento da semente, mitigando assim a inibição da germinação induzida pela exposição a metais (Kazlauskas et al., 2023). Além disso, o GO pode induzir o aparecimento de novos poros ou o alargamento dos poros do tegumento, aumentando assim a absorção de água e melhorando o crescimento radicular (Li et al., 2020).

Por outro lado, pesquisas anteriores indicam que as propriedades físico-químicas, tempo de exposição, tamanho, número de camadas, modo de aplicação e genótipo desempenham um papel importante na determinação da toxicidade do óxido de grafeno em plantas (Yang et al., 2022). Diferentes concentrações do nanomaterial têm diferentes efeitos nas plantas em diferentes condições (Malekzadeh, Roosta & Kalaji, 2023). Propõe-se que uma concentração adequada de GO pode ser propícia aos seus efeitos positivos e o tamanho da partícula deve ser considerado quando empregado em aplicações agrícolas (Yang et al., 2022).

Por fim, os resultados deste estudo confirmaram que o óxido de grafeno não apresentou efeitos tóxicos na germinação de sementes de aveia-branca favorecendo o crescimento inicial nas maiores concentrações utilizadas.

## CONCLUSÃO

O óxido de grafeno não apresentou efeitos tóxicos na germinação de sementes de aveia-branca favorecendo o crescimento inicial das plântulas até 1000 mg L<sup>-1</sup>.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu-Nada, A., Abdala, A., & McKay, G. (2021). Removal of phenols and dyes from aqueous solutions using graphene and graphene composite adsorption: a review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9, 1-15. DOI: 10.1016/j.jece.2021.105858
- Ahamed, A. J., & Loganathan, K. (2021). Reduced graphene oxide as effective adsorbent for removal of heavy metals in groundwater of Amaravathi River basin, Tamil Nadu. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 7, 59-68. DOI: 10.1080/24749508.2021.1923273
- Brasil (2009). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS. 399p.
- Diraki, A., Mackey, H. R., McKay, G., & Abdala, A. (2019). Removal of emulsified and dissolved diesel oil from high salinity wastewater by adsorption onto graphene oxide. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7, 103106. DOI: 10.1016/j.jece.2019.103106
- Gao, C., Xiao, C. J., Lu, S., Wang, S. R., Yuan, H. H., & Cao, Y. Y. (2022). Promoting effect of graphene oxide on the root growth of *Arabidopsis thaliana*. *Biotechnology Bull*, 38, 120-128. DOI: 10.13560/j.cnki.biotech.bull.1985.2021-1188
- Gao, M., Xu, Y., Chang, X., Dong, Y., & Song, Z. (2020). Effects of foliar application of graphene oxide on cadmium uptake by lettuce. *Journal of Hazardous Materials*, 398, 122859. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.122859
- Ghulam, A. N., dos Santos O. A. L., Hazeem L., Backx, B. P., Bououdina, M., & Bellucci, S. (2022). Graphene oxide (GO) materials-applications and toxicity on living organisms and environment. *Journal of Functional Biomaterials*, 13, 77. DOI: 10.3390/jfb13020077
- González-García, Y., López-Vargas, E. R., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., González-Morales, S., Robledo-Olivo, A., Alpuche-Solís, Á. G., & Juárez-Maldonado, A. (2019). Impact of carbon nanomaterials on the antioxidant system of tomato seedlings. *International Journal of Molecular Sciences*, 20, 5858. DOI: 10.3390/ijms20235858
- Guo, X., Zhao, J., Wang, R., Zhang, H., Xing, B., Naeem, M., Yao, T., Li, R., Xu, R., Zhang, Z., & Wu, J. (2021). Effects of graphene oxide on tomato growth in different stages. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 447-455. DOI: 10.1016/j.plaphy.2021.03.013
- He, Y., Hu, R., Zhong, Y., Zhao, X., Chen, Q., & Zhu, H. (2018). Graphene oxide as a water transporter promoting germination of plants in soil. *Nano Research*, 11, 1928-1937. DOI: 10.1007/s12274-017-1810-1

- He, Y., Wei, H. M., Liu, S. J., Xu, Y. C., Zhu, Z. Y., Yan, H., Li, J. X., & Tian, Z. H. (2021). Growth response of *Oryza sativa* seedlings to graphene oxide and its variability among genotypes. *Biologia Plantarum*, 65, 39-46. DOI: 10.32615/bp.2020.124
- Karamipour, M., Fathi, S., & Safari, M. (2021). Removal of phenol from aqueous solution using MOF/GO: synthesis, characteristic, adsorption performance and mechanism. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 103, 3853-3864. DOI: 10.1080/03067319.2021.1915299
- Kaymak, H. Ç., Sevim, M., & Metin, Ö. (2022). Graphene oxide: a promising material for the germination of melon seeds under salinity stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 46, 863-874. DOI: 10.55730/1300-011X.3048
- Kazlauskas, M., Jurgelėnė, Ž., Šemčuk, S., Jokšas, K., Kazlauskienė, N., & Montvydienė, D. (2023). Effect of graphene oxide on the uptake, translocation and toxicity of metal mixture to *Lepidium sativum* L. plants: Mitigation of metal phytotoxicity due to nanosorption. *Chemosphere*, 312, 137221. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.137221
- Krzyzanowski, F. C., França-Neto, J. de B., Gomes-Junior, F. G., & Nakagawa, J. (2020). Testes de vigor baseados em desempenho de plântulas. In: Krzyzanowski, F. C., Vieira, R. D., França-Neto, J. de B., & Marcos Filho, J. (Orgs.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: Abrates.
- Li, J., Wu, F., Fang, Q., Wu, Z., Duan, Q., Li, X., & Ye, W. (2020). The mutual effects of graphene oxide nanosheets and cadmium on the growth, cadmium uptake and accumulation in rice. *Plant Physiology & Biochemistry: PPB / Societe Francaise de Physiologie Vegetale*, 147, 289-294. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.12.034
- Liu, D., Lü, Y., & Luo, H. (2022). Effects of oxidized graphene on seed germination and seedling growth of *Amorpha fruticosa*. *Seed*, 41, 14-18. DOI: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2022.01.014
- Malekzadeh, M. R., Roosta, H. R., & Kalaji, H. M. (2023). GO nanoparticles mitigate the negative effects of salt and alkalinity stress by enhancing gas exchange and photosynthetic efficiency of strawberry plants. *Scientific Reports*, 13, 8457. DOI: 10.1038/s41598-023-35725-0
- Nasiri, M., Ahmadzadeh, H., & Amiri, A. (2021). Organophosphorus pesticides extraction with polyvinyl alcohol coated magnetic graphene oxide particles and analysis by gas chromatography-mass spectrometry: application to apple juice and environmental water. *Talanta*, 227, 122078. DOI: 10.1016/j.talanta.2020.122078
- Nunes, F. B., Bruckmann, F. S da., Salles, T. R da., & Rhoden, C. R. B. (2023). Study of phenobarbital removal from the aqueous solutions employing magnetite-functionalized chitosan. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 12658-12671. DOI: 10.1007/s11356-022-23075-9
- Park, S., Choi, K. S., Kim, S., Gwon, Y., & Kim, J. (2020). Graphene oxide-assisted promotion of plant growth and stability. *Nanomaterials*, 10, 758. DOI: 10.3390/nano10040758

- Priyadharshini, S. D., Manikandan, S., Kiruthiga, R., Rednam, U., Babu, P. S., Subbaiya, R., Karmegam, N., Kim, W., & Govarthanam, M. (2022). Graphene oxide-based nanomaterials for the treatment of pollutants in the aquatic environment: Recent trends and perspectives – a review. *Environmental Pollution*, 306, 119377. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.119377
- Salles, T. R., Rodrigues, H. B., Bruckmann, F. S. da., Alves, L. C. S., Mortari, S. R., & Rhoden, C. R. B. (2020). Graphene oxide optimization synthesis for application on laboratory of Universidade Franciscana, *Disciplinarum Scientia: Série Ciências Naturais e Tecnológicas*, 21, 15-26. DOI: 10.37779/nt.v21i3.3632
- Salles, T. R., Schnorr, C., Bruckmann, F. S. da., Vicensi, E. C., Viana, A. R., Schuch, A. P., Garcia, W. J. S. da., Silva, L. F. O., Oliveira, A. H., Mortari, S. R., & Rhoden, C. R. B. (2023). Effective diuretic drug uptake employing magnetic carbon nanotubes derivatives: Adsorption study and in vitro geno-cytotoxic assessment. *Separation and Purification Technology*, 315, 123713. DOI: 10.1016/j.seppur.2023.123713
- Samadi, S., Lajayer, B. A., Moghiseh, E., & Rodríguez-Couto, S. (2021). Effect of carbon nanomaterials on cell toxicity, biomass production, nutritional and active compound accumulation in plants. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101323. DOI: 10.1016/j.eti.2020.101323
- Shen, S., Liu, Y., Wang, F., Yao, G., Xie, L., & Xu, B. (2019). Graphene oxide regulates root development and influences IAA concentration in rice. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38, 241-248. DOI: 10.1007/s00344-018-9836-5
- Song, J., Cao, K., Duan, C., Luo, N., & Cui, X. (2020). Effects of graphene on *Larix olgensis* seedlings and soil properties of haplic cambisols in Northeast China. *Forests*, 11, 258. DOI: 10.3390/f11030258
- Stefanello, R., Garcia, W. J. S. da., Viana, A. R., Salles, T. R., & Rhoden, C. R. B. (2024a). Graphene oxide assessment on the germination of persian clover and buckwheat seeds. *Ciência e Natura*. 46, e84226. DOI: 10.5902/2179460X84226
- Stefanello, R., Garcia, W. J. S. da., Viana, A. R., Salles, T. R., & Rhoden, C. R. B. (2024b). Graphene oxide decreases the effects of salt stress on Persian clover seed germination. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 87, 47-56. DOI: 10.1080/15287394.2023.2274338
- Sun, C., Wang, Z., Zheng, H., Chen, L., & Li, F. (2021). Biodegradable and re-usable sponge materials made from chitin for efficient removal of microplastics. *Journal of Hazardous Materials*, 420, 126599. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.126599
- Vochita, G., Oprica, L., Gherghel, D., Mihai, C. T., Boukherroub, R., & Lobiuc, A. (2019). Graphene oxide effects in early ontogenetic stages of *Triticum aestivum* L. seedlings. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 181, 345-352. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.06.026
- Wang, Y., Pan, C., Chu, W., Vipin, A. K., & Sun, L. (2019). Environmental remediation applications of carbon nanotubes and graphene oxide: adsorption and catalysis. *Nanomaterials*, 9, 439. DOI: 10.3390/nano9030439



- Yang, Y., Zhang, R., Zhang, X., Chen, Z., Wang, H., & Li, P. C. H. (2022). Effects of graphene oxide on plant growth: A Review. *Plants*, 11, 2826. DOI: 10.3390/plants11212826
- Yin, L., Wang, Z., Wang, S., Xu, W., & Bao, H. (2018). Effects of graphene oxide and/or Cd<sup>2+</sup> on seed germination, seedling growth, and uptake to Cd<sup>2+</sup> in solution culture. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229, 151. DOI: 10.1007/s11270-018-3809-y
- Zhang, M., Gao, B., Chen, J., & Li, Y. (2015). Effects of graphene on seed germination and seedling growth. *Journal of Nanoparticle Research*, 17, 1-8. DOI: 10.1007/s11051-015-2885-9
- Zhang, P., Gao, B., Chen, J., & Li, Y. (2020). Graphene oxide-induced pH alteration, iron overload, and subsequent oxidative damage in rice (*Oryza sativa* L.): A new mechanism of nanomaterial phytotoxicity. *Environmental Science & Technology*, 54, 3181-3190. DOI: 10.1021/acs.est.9b05794
- Zhao, D., Fang, Z., Tang, Y., & Tao, J. (2020). Graphene oxide as an effective soil water retention agent can confer drought stress tolerance to *Paeonia ostii* without toxicity. *Environmental Science & Technology*, 54, 8269-8279. DOI: 10.1021/acs.est.0c02040
- Zhao, S., Wang, W., Chen, X., Gao, Y., Wu, X., Ding, M., & Duo, L. (2023). Graphene oxide affected root growth, anatomy, and nutrient uptake in alfalfa. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 250, 114483. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2022.114483
- Zhao, S., Zhu, X., Mou, M., Wang, Z., & Duo, L. (2022). Assessment of graphene oxide toxicity on the growth and nutrient levels of white clover (*Trifolium repens* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 234, 113399. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2022.113399
- Zhu, X. G., Zhao, S. L., & Duo, L. A. (2020). Effects of graphene oxide on the physiological and ecological characteristics of *Medicago sativa*. *Journal of Tianjin Normal University (Natural Science Edition)*, 40, 33-37.

## Índice Remissivo

- A**
- Ácido salicílico, 90  
*Avena sativa*, 100, 102, 103, 105, 110, 111, 113, 120, 122, 123
- C**
- Colheita, 17, 50, 51, 55  
Cultivares, 81, 83, 84, 85
- D**
- Danos mecânicos, 142
- E**
- Embebição, 56  
Espécie forrageira, 128
- F**
- Físico, 14  
Fisiologia, 30, 130  
*Fusarium*, 77, 79, 80, 81, 83, 84, 85, 86, 137, 138, 139, 140, 141, 143, 153, 154
- G**
- Germinação, 18, 50, 60, 71, 78, 129, 132
- M**
- Mancha, 67
- N**
- Nabo, 47, 48
- P**
- Plântulas, 84, 85, 94, 103, 123
- Q**
- Qualidade sanitária, 156
- S**
- Salinidade, 108  
Sementes, 6, 9, 13, 21, 29, 30, 48, 49, 56, 57, 60, 62, 68, 70, 77, 83, 85, 120, 131, 136, 148, 153  
Solanaceae, 129  
Sorgo-sacarino, 89
- T**
- Trifolium resupinatum*, 91, 93, 94, 114, 120, 124
- V**
- Vigor, 17, 49, 50, 60, 61

**O**e-book **Sementes: foco em pesquisa sobre qualidade fisiológica e sanitária – volume 2** de publicação da Pantanal Editora, apresenta, em seus treze capítulos, os resultados de pesquisas desenvolvidas ao longo dos últimos anos de várias instituições de ensino como a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) Campus Botucatu, todas com participação direta dos acadêmicos de graduação e de pós-graduação.



**Pantanal Editora**

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000

Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil

Telefone (66) 9608-6133 (Whatsapp)

<https://www.editorapantanal.com.br>

[contato@editorapantanal.com.br](mailto:contato@editorapantanal.com.br)