

# MATERIAIS BASEADOS EM GRAFENO PARA USO NA AGRICULTURA



André May



Bernardo de Almeida Halfeld-Vieira



Claudio Martin Jonsson



Eunice Reis Batista



Helio Quevedo



Katia de Lima Nechet



Luciana Fontes Coelho



Sonia Claudia do Nascimento de Queiroz



Marley Mendonça Tavares



Evandro Henrique Figueiredo Moura da Silva



Nilson Aparecido Vieira Junior

O grafeno, descoberto em 2004 por A. Geim e K. Novoselov, feito que resultou no Prêmio Nobel de Física em 2010, é um nanomaterial que consiste em uma camada plana de átomos de carbono, formando uma estrutura hexagonal bidimensional (Novoselov et al., 2004; Soldano et al., 2010). Essa estrutura tem chamado a atenção devido às suas propriedades mecânicas e físico-química únicas como: alta estabilidade química, resistência mecânica (cerca de 200 vezes maior que o aço), excelente condutividade térmica e elétrica e grande área superficial específica. Desde a sua descoberta, vários materiais baseados em grafeno (MBGs) como o próprio grafeno, óxido de grafeno (OG), óxido de grafeno reduzido (OGr), grafeno modificado quimicamente, dentre outros, estão sendo desenvolvidos para aplicações em diversas áreas.

OG são estruturas derivadas do grafeno e são caracterizadas pela presença de grupos funcionais oxigenados como hidroxila, carboxila, carbonila e epóxi. Os OG são dispersíveis em água e mais estáveis em meios aquosos quando comparados ao grafeno (Wick et al., 2014). Quando há necessidade de reestabelecer a condutividade elétrica do material, faz-se uma etapa de redução desses grupos funcionais, que pode ser química ou térmica, obtendo-se com isso o OGr (Camargos et al., 2017).

Os MBGs podem ser utilizados na agricultura e em vários setores da indústria de alta tecnologia e alimentícia. Devido à escalabilidade e menor custo de produção, o OG é um dos derivados mais utilizados na agricultura (Kabiri et al., 2017). Esses materiais, têm sido empregados de diversas formas nesses setores, como: (i) estimulador do crescimento de plantas e fertilizantes (Zaytseva e Neumann, 2016); (ii) sistemas de nanoencapsulamento e liberação inteligente (Andelkovic et al., 2018; Kabiri et al., 2017); (iii) agentes antifúngicos e antibacterianos (Wang et al., 2014); (iv) embalagem inteligente (Sundramoorthy et al., 2018); (v) tratamento de água e ultrafiltração (Homaeigozar e Elbahri, 2017); (vi) remoção de contaminantes (Wu et al., 2012); (vii) quantificação de pesticidas (Hou et al., 2013); (viii) sistemas de detecção e agricultura de precisão (Wu et al., 2014).

Embora os fertilizantes sejam essenciais na agricultura moderna, a eficiência na sua utilização ainda precisa ser aprimorada, em função das perdas para o ambiente. Assim, o uso de MBGs no desenvolvimento de novos fertilizantes de liberação lenta pode ser uma alternativa importante para a redução dessas perdas (Andelkovic et al., 2018; Kabiri et al., 2017).

O OG é constituído por uma camada carregada negativamente capaz de reter micronutrientes catiônicos como zinco (Zn) e cobre (Cu) ou ânions como o

fosfato carregado negativamente, para tanto, o OG deve ser tratado com ferro (Fe). Assim, a liberação desses nutrientes é mais lenta que os fertilizantes solúveis, podendo responder melhor às demandas das plantas cultivadas (Kabiri et al., 2017).

Sabe-se que uma camada de OG recobrendo os grânulos de fertilizantes pode aumentar a sua resistência física, evitando danos por atrito e degradação durante a fabricação, transporte e aplicação (Kabiri et al., 2017). Além disso, a adição de OG no processo de encapsulamento de fertilizantes de liberação lenta pode ser uma alternativa para esse segmento, evitando desperdícios e sobredosagem (Zhang et al., 2014), passível de uso em culturas de alto valor agregado como olerícolas, frutíferas ou café, por exemplo.

A liberação mais lenta de P é alcançada pela aplicação do composto (óxido de grafeno-Fe-P), reduzindo assim a possibilidade de lixiviação de P solúvel, em comparação ao fertilizante comercial fosfato monoamônico (MAP) (Andelkovic et al., 2018).

Para nitrato de potássio, por exemplo, o processo de liberação dos nutrientes foi estendido em 8 horas em água após o encapsulamento do fertilizante com filmes de OG (Zhang et al., 2014).

Alguns MBGs possuem atividade antifúngica, caracterizando-o como um produto promissor para o desenvolvimento de novos fungicidas (Wang et al., 2014). O OGr tem potencial para inibição do crescimento micelial de três fungos: *Aspergillus oryzae*, *Fusarium oxysporum* e *Aspergillus niger* (Sawangphruk et al., 2012), através de danos causados à membrana microbiana induzida (Chen et al., 2014), alteração no transporte de elétrons (Liu et al., 2012) e estresse oxidativo pela atividade antimicrobiana do OG (Hui et al., 2014; Mangadlao et al., 2015).

Além disso, os MBGs têm forte citotoxicidade em bactérias (Liu et al., 2011). Sabe-se que o crescimento de *Escherichia coli* (Akhavan; Ghaderi, 2010) e *Pseudomonas aeruginosa* (Gurunathan et al., 2012) é inibido por nanopartículas de OG e OGr sendo que o OG não reduzido é menos tóxico do que o OGr com hidrazina (Akhavan e Ghaderi, 2010).

Uma propriedade já observada pelo uso de OG é a melhoria da qualidade e o aumento da vida útil de rosas cortadas no vaso, o que é atribuído à sua atividade antimicrobiana. Maior vida útil de vaso, melhores relações hídricas e maior diâmetro de rosas cortadas foram observadas quando cultivadas em baixas doses de OG (0,1mg / L), por sua ação germicida e conservante (He et al., 2018).

Possíveis aplicações para remediação ambiental também devem ser consideradas, uma vez que contaminantes do meio ambiente podem ser removidos com os MBGs. Várias revisões foram publicadas sobre este tema recentemente (Yap et al, 2021; Thomas e Ramaswamy, 2016; Baig et al, 2019).

Um fator importante a se considerar quando do seu uso na agricultura é a concentração a ser usada, uma vez que o OG pode influenciar o crescimento das plantas (Hu et al., 2014; Liu et al., 2015) em baixa concentração ( $5 \text{ mgL}^{-1}$ ) (Begum et al., 2011) ou pode inibir seu desenvolvimento em doses mais altas ( $\geq 50 \text{ mgL}^{-1}$ ) (Anjum et al., 2013, 2014). Portanto, os efeitos adversos dependem da dose que, uma vez inadequada, pode desencadear fitotoxicidade por meio de necrose por estresse oxidativo (Begum et al., 2011). O OG pode prejudicar o equilíbrio oxidativo das plantas, inibindo a fotossíntese e o crescimento (Du et al., 2016). Por apresentar efeito citotóxico, pode vir a afetar a viabilidade de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCPs). Esta possibilidade foi demonstrada para cinco isolados bacterianos selecionados da rizosfera de um campo agrícola identificados como *B. marisflavi*, *B. cereus*, *B. megaterium*, *B. subtilis* e *B. mycoides*. Os resultados sugerem que o OG diminuiu a viabilidade celular dependendo da concentração e do tempo, demonstrando que o OG pode impactar negativamente as comunidades bacterianas no solo (Gurunathan, 2015). Desse modo, o OG ao entrar em contato com células microbianas, pode destruir a sua estrutura e levando à morte celular (Mejías Carpio et al., 2012).

Também deve-se considerar o ambiente onde será utilizado. A dispersibilidade, estabilidade e toxicidade dos compósitos de OG são significativamente menores que o grafeno no meio líquido (Mejías Carpio et al., 2012). O OG tem alta estabilidade, de modo que não é facilmente degradado no ambiente (Kurapati et al., 2015). Chen et al. (2017) verificaram que a toxicidade do grafeno é significativamente menor que a do OG e que a influência do grafeno nos microrganismos no solo é maior do que no ambiente aquático, devido à sua baixa solubilidade na água.

Desse modo, muitas questões ainda devem ser consideradas e investigadas, como a captação e translocação de MBGs nas plantas, interferências na expressão gênica e as interações eletroquímicas envolvidas entre o solo e a rizosfera (Hu; Zhou, 2013).

Recentemente, estudos conduzidos na Embrapa Meio Ambiente visando o controle de patógenos de solo com o uso de grafeno demonstraram que a utilização do OG em plantas de *Cyclamen* (*Cyclamen persicum*) atrasou o aparecimento de sintomas da fusariose

(Figura 1), uma das principais doenças da cultura, quando comparado com plantas não tratadas (Figura 2), indicando efeito no controle de doenças de plantas (dados em processo de publicação).



Figura 1. Plantas de *Cyclamen* sadias tratadas com grafeno em condições reais de cultivo (Foto: Marcos G. Eltink, Holambra/SP, 2023).



Figura 2. Plantas de *Cyclamen* com fusariose em condições reais de cultivo (Foto: Marcos G. Eltink, Holambra/SP, 2023).

Os estudos sobre os MBGs evoluíram rapidamente, trazendo inovações no segmento de indústria, agricultura e meio ambiente. Já existem alguns resultados promissores sobre a resposta das plantas aos MBGs. Entretanto, a depender da concentração dispensada, há uma variação no grau de absorção pelas plantas, sendo possível a promover fitotoxicidade. Por outro lado, doses baixas de grafeno podem ser benéficas para o desenvolvimento de algumas plantas.

Diante dos fatos apresentados e devido à rápida evolução das tecnologias envolvendo o uso de MBGs, uma das maiores necessidades atualmente nesta área, diz respeito à toxicidade desses MBGs. Informações sobre a toxicidade em organismos biológicos, o descarte apropriado e a utilização segura para os seres



humanos e o meio ambiente é de fundamental importância (Zarbin e Oliveira, 2013).

Para isso, há uma necessidade de serem realizadas avaliações das implicações da exposição dos nanomateriais aos sistemas biológicos, como dados relacionados à sua distribuição, adsorção, metabolismo e excreção nos sistemas biológicos. Outras informações relevantes são relacionadas ao efeito do tamanho das partículas e a distribuição de tamanho, as quais são fundamentais para o entendimento de como os nanomateriais são distribuídos e eliminados nos organismos vivos (Zarbin e Oliveira, 2013).

A “nanotoxicologia” visa compreender os impactos negativos potenciais dos nanomateriais nos sistemas biológicos. Visando avaliar a nanoecotoxicidade do OG e sua relação com ácidos húmicos em 9 organismos bioindicadores, a equipe da Embrapa Meio Ambiente em colaboração com outros parceiros, realizaram um estudo onde se verificou que, de forma geral, o OG utilizado neste estudo mostrou baixa toxicidade para os organismos bioindicadores (Castro et al, 2018). Entretanto, alguns organismos foram particularmente mais sensíveis, quando expostos ao OG, tais como a *L. minor* e os microcrustáceos. A presença de ácidos húmicos aumentou a toxicidade do OG aos microcrustáceos e ao *C. elegans*. Este tipo de estudo é importante pois subsidia a avaliação de risco desses materiais e contribui para o estabelecimento de regulamentações sobre o uso seguro desses produtos.

As aplicações dos MBGs têm expandido rapidamente em vários campos, entretanto há ainda uma falta de entendimento sistemático das interações biológicas desses novos materiais. Os dados experimentais sobre a toxicidade são limitados e os estudos são realizados mais *in vitro* que *in vivo*. Além disso, há necessidade de se conhecer os efeitos de toxicidade em longos períodos a fim de garantir a segurança humana e ambiental (Fadeel et al, 2018; Shareena et al, 2018).

Portanto, muitos desafios ainda devem ser superados e diversas questões esclarecidas, antes que os MBGs sejam utilizados em campo comercialmente e em larga escala.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao produtor rural Marcos Guilherme Eltink, Alameda Flores, Holambra/SP, pela permissão a realização de testes do uso do óxido de grafeno em plantas de *Cyclamen* em maior escala, e ao Luiz Carlos Andreatto Junior da empresa Padron & Padron LTDA, Leme/SP, fabricante do produto em desenvolvimento a base de óxido de grafeno. ■

Há mais de 3 décadas  
semeando tecnologia,  
colhendo inovação e  
contribuindo para uma  
**agricultura mais  
eficiente e sustentável!**



## Soluções Agrícolas para você e seu negócio!

- ✓ Fungicidas e Bactericidas
- ✓ Nutrição Foliar Premium
- ✓ Tecnologia em Aplicação
- ✓ Biológicos

Tecnologia a favor da **Agricultura.**



Aponte a câmera  
do seu celular  
e acesse o Escopo  
da acreditação.

## Referências

- Akhavan, O., & Ghaderi, E. (2010). Toxicity of graphene and graphene oxide nanowalls against bacteria. *ACS Nano*, 4(10), 5731-5436. <https://doi.org/10.1021/nn101390x>
- Andelkovic, I. B., Kabiri, S., Tavakkoli, E., Kirby, J. K., McLaughlin, M. J., & Losic, D. (2018). Graphene oxide-Fe(III) composite containing phosphate – A novel slow release fertilizer for improved agriculture management. *Journal of Cleaner Production*, 185(lit), 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.050>
- Anjum, N. A., Singh, N., Singh, M. K., Sayeed, I., Duarte, A. C., Pereira, E., & Ahmad, I. (2014). Single-bilayer graphene oxide sheet impacts and underlying potential mechanism assessment in germinating faba bean (*Vicia faba* L.). *Science of the Total Environment*, 472, 834-841. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.018>
- Anjum, N. A., Singh, N., Singh, M. K., Shah, Z. A., Duarte, A. C., Pereira, E., & Ahmad, I. (2015). Single-bilayer graphene oxide sheet tolerance and glutathione redox system significance assessment in faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Nanoparticle Research*, 15(7), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11051-013-1770-7>
- Baig, N.; Ihsanullah; Sjid, M. & Saleh, T. A. (2019). Graphene-based adsorbents for the removal of toxic organic pollutants: a review. *Journal of Environmental Management*, 244, 370-382. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.047>
- Begum, P., Ikhtiar, R., & Fugetsu, B. (2011). Graphene phytotoxicity in the seedling stage of cabbage, tomato, red spinach, and lettuce. *Carbon*, 49(12), 3907-3919. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2011.05.029>
- Castro, V.L.; Clemente, Z.; Jonsson, C.; Silva, Mariana; Vallim, J.H.; de Medeiros, A.M.Z.; Martinez, D.S.T. (2018). Nanoecotoxicity assessment of grafene oxide and its relationship with humic acid. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37, 1998-2012. <https://doi.org/10.1002/etc.4145>
- Camargos, J. S. F.; Semmer, A. O., & Silva, S. N. (2017). Características e aplicações do grafeno e do óxido de grafeno e as principais rotas para síntese. *The Journal of Engineering and Exact Science – JCEC*, 3(8), 1118-1130. <https://doi.org/10.18540/jcecv3iss8pp1118-1130>
- Chen, J., Peng, H., Wang, X., Shao, F., Yuan, Z., & Han, H. (2014). Graphene oxide exhibits broad-spectrum antimicrobial activity against bacterial phytopathogens and fungal conidia by intertwining and membrane perturbation. *Nanoscale*, 6(3), 1879-1889. <https://doi.org/10.1039/c3nr04941h>
- Chen, M., Qin, X., & Zeng, G. (2017). Biodegradation of Carbon Nanotubes, Graphene, and Their Derivatives. In *Trends in Biotechnology*, 35(9), 836-846. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2016.12.001>
- Du, S., Zhang, P., Zhang, R., Lu, Q., Liu, L., Bao, X., & Liu, H. (2016). Reduced graphene oxide induces cytotoxicity and inhibits photosynthetic performance of the green alga *Scenedesmus obliquus*. *Chemosphere*, 164, 499-507. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.138>
- Fadeel B, Bussy C, Merino S et al. (2018). Safety assessment of graphene-based materials: focus on human health and the environment. *ACS Nano*, 12, 10582–10620. <https://doi.org/10.1021/acsnano.8b04758>
- Gurumathan, S. (2015). Cytotoxicity of graphene oxide nanoparticles on plant growth promoting rhizobacteria. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 32, 282-291. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.08.027>
- Gurumathan, S., Han, J. W., Abdal Dayem, A., Eppakayala, V., & Kim, J. H. (2012). Oxidative stress-mediated antibacterial activity of graphene oxide and reduced graphene oxide in *Pseudomonas aeruginosa*. *International Journal of Nanomedicine*, 7, 5901-5914. <https://doi.org/10.2147/IJN.S37397>
- He, Y., Qian, L., Liu, X., Hu, R., Huang, M., Liu, Y., Chen, G., Losic, D., Zhu, H. (2018). *Nano Res.* doi:10.1007/s12274-018-2115-8
- Homaeigozar, S., & Elbahri, M. (2017). Graphene membranes for water desalination. *NPG Asia Materials*, 9, 1-16. <https://doi.org/10.1038/am.2017.135>
- Hou, M., Zang, X., Wang, C., & Wang, Z. (2013). The use of silica-coated magnetic graphene microspheres as the adsorbent for the extraction of pyrethroid pesticides from orange and lettuce samples followed by GC-MS analysis. *Journal of Separation Science*, 36(19), 3242-3248. <https://doi.org/10.1002/jssc.201300656>
- Hu, X., Kang, J., Lu, K., Zhou, R., Mu, L., & Zhou, Q. (2014). Graphene oxide amplifies the phytotoxicity of arsenic in wheat. *Scientific Reports*, 4(6122), 1-10. <https://doi.org/10.1038/srep06122>
- Hui, L., Piao, J. G., Auletta, J., Hu, K., Zhu, Y., Meyer, T., Liu, H., & Yang, L. (2014). Availability of the basal planes of graphene oxide determines whether it is antibacterial. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 6(15), 13183-13190. <https://doi.org/10.1021/am503070z>
- Kabiri, S., Degryse, F., Tran, D. N. H., Da Silva, R. C., McLaughlin, M. J., & Losic, D. (2017). Graphene Oxide: A New Carrier for Slow Release of Plant Micronutrients. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 9(49), 43325–43335. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b07890>
- Kurapati, R., Russier, J., Squillaci, M. A., Treossi, E., Ménard-Moyon, C., Del Río-Castillo, A. E., Vázquez, E., Samori, P., Palermo, V., & Bianco, A. (2015). Dispersibility-Dependent Biodegradation of Graphene Oxide by Myeloperoxidase. *Small*, 11(32), 3985-3994. <https://doi.org/10.1002/sml.201500038>
- Liu, Shangjie, Wei, H., Li, Z., Li, S., Yan, H., He, Y., & Tian, Z. (2015). Effects of graphene on germination and seedling morphology in rice. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 15(4), 2695-2701. <https://doi.org/10.1166/jnn.2015.9254>
- Liu, Shaobin, Hu, M., Zeng, T. H., Wu, R., Jiang, R., Wei, J., Wang, L., Kong, J., & Chen, Y. (2012). Lateral dimension-dependent antibacterial activity of graphene oxide sheets. *Langmuir*, 28(53), 12364-12372. <https://doi.org/10.1021/la3023908>
- Liu, S.; Zeng, T. H.; Hofmann, M.; Burcombe, E.; Wei, J.; Jiang, R.; Kong, J., & Chen, Y. (2011). Antibacterial activity of graphite, graphitic oxide, graphene oxide, and reduced graphene oxide: Membrane and oxidative stress. *ACS Nano*, 5(9), 6971-6980. <https://doi.org/10.1021/nn202451x>
- Mangadlao, J. D., Santos, C. M., Felipe, M. J. L., De Leon, A. C. C., Rodrigues, D. F., & Advincula, R. C. (2015). On the antibacterial mechanism of graphene oxide (GO) Langmuir-Blodgett films. *Chemical Communications*, 51, 2886-2889. <https://doi.org/10.1039/c4cc07836e>
- Mejias Carpio, I. E., Santos, C. M., Wei, X., & Rodrigues, D. F. (2012). Toxicity of a polymer-graphene oxide composite against bacterial planktonic cells, biofilms, and mammalian cells. *Nanoscale*, 12, 4746-4756. <https://doi.org/10.1039/c2nr30774j>
- Novoselov, K. S.; Geim, A. K.; Morozov, S. V.; Jiang, D.; Zhang, Y.; Dubonos, S. V.; Grigorieva, I. V.; & Firsou, A. A. (2004). Electric field in atomically thin carbon films. *Science*, 306, 666-669. <https://doi.org/10.1126/science.1102896>
- Sawangphruk, M., Srimuk, P., Chiochan, P., Sangsri, T., & Siwayaprahm, P. (2012). Synthesis and antifungal activity of reduced graphene oxide nanosheets. *Carbon*, 50(14), 5156–5161. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2012.06.056>
- Shareena, T. P. D.; McShan, D.; Dasmahapatra, A. K. & Tchoumou, P. B. A review on graphene
- Soldano, C., Mahmood, A., & Dujardin, E. (2010). Production, properties and potential of graphene. In *Carbon*, 48, 2127-2150. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2010.01.058>
- Sundramoorthy, A. K., Vignesh Kumar, T. H., & Gunasekaran, S. (2018). Graphene-Based Nanosensors and Smart Food Packaging Systems for Food Safety and Quality Monitoring. In *Graphene Bioelectronics*, 2018, 267-306. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813349-1.00012-3>
- Thomas, V. J., & Ramaswamy, S. 2016. Application of graphene and graphene compounds for environmental remediation. *Science of Advanced Materials*, 8(3), 477-500. <https://doi.org/10.1166/sam.2016.2425>
- Wang, X., Liu, X., Chen, J., Han, H., & Yuan, Z. (2014). Evaluation and mechanism of antifungal effects of carbon nanomaterials in controlling plant fungal pathogen. *Carbon*, 68, 798-806. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2013.11.072>
- Wick, P.; Louw-Gaume, A. E.; Kucki, M.; Krug, H. F.; Kostarelou, K.; Fadeel, B.; Dawson, K. A.; Salvani, A.; Vázquez, E.; Ballerini, L.; Tretiach, M.; Benfenati, F.; Flahaut, E.; Gauthier, L.; Prato, M. & Bianco, A. 2014. Classification for graphene-based materials. *Angewandte Chemie-International Edition*, 53, 7714-7718. <https://doi.org/10.1002/anie.201403355>
- Wu, Q.; Feng, C.; Zhao, G.; Wang, C.; Wang, Z. (2012). *J. Sep. Sci.* 35, 193.
- Wu, L., Fu, X., Liu, H., Li, J., Song, Y. *Anal. Chim.* (2014). *Acta.* doi:10.1016/j.aca.2014.08.021
- Yap, P. L.; Nine, J.; Hassan, K.; Tung, T. T.; Tran, D. N. H. & Losic, D. (2021). Graphene-based sorbents for multipollutants removal in water: a review of recent progress. *Advanced Functional Materials*, 31(9), 2007356. <https://doi.org/10.1002/adfm.202007356>
- Zarbin, A. J. G. & Oliveira, M. M. (2013). Nanoestrutura de carbono (nanotubos, grafeno): Quo Vadis?. *Química Nova*, 36(10), 1533-1539. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013001000009>
- Zaytseva, O., & Neumann, G. (2016). Carbon nanomaterials: Production, impact on plant development, agricultural and environmental applications. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 3(1), 1–26. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0070-8>
- Zhang, M., Gao, B., Chen, J., Li, Y., Creamer, A. E., & Chen, H. (2014). Slow-release fertilizer encapsulated by graphene oxide films. *Chemical Engineering Journal*, 255(1), 107-113. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.06.023>



Anuário Brasileiro  
de **Tecnologia**  
em **Nutrição Vegetal**

**2024**



**abisolo** 

Associação Brasileira das  
Indústrias de Tecnologia  
em Nutrição Vegetal