

## **VI-007 – AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DO NANOADSORVENTE ÓXIDO DE GRAFENO AMINO- $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -FUNCIONALIZADO EM SEMENTES DE *LACTUCA SATIVA L***

**Leticia Emely de Lima Ferreira<sup>(1)</sup>**

Aluna de Ciências Biológicas/Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Bolsista de iniciação científica (PIBIC) pelo programa da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE).

**Ziani Santana Bandeira de Souza**

Engenheira Química pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); aluna de Mestrado em Engenharia Química pelo PPGEQ-UFPE.

**Tiago José Marques Fraga**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); aluno de Doutorado em Engenharia Química pelo PPGEQ-UFPE.

**Marilda Nascimento Carvalho**

Engenheira Química pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Doutora em Engenharia Química pelo PPGEQ/UFPE; pós-doutorado em Engenharia Química pelo PPGEQ/UFPE.

**Mauricio Alves da Motta Sobrinho**

Engenheiro Químico pela Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP); Mestre em Eng Química pela UFPB campus II (atual UFCG). Doutor em Engenharia de Processos pelo Institut National Polytechnique de Lorraine (França); Professor Associado da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Pesquisador 1D CNPq.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Grupo de Processos e Tecnologias Ambientais, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Recife, PE, Brasil, CEP: 50670-901. e-mail: labmati@gmail.com

### **RESUMO**

Os processos de tratamento de efluentes tem por objetivo degradar ou separar os contaminantes da corrente líquida. Todavia, estes processos podem não chegar à uma degradação completa, produzindo intermediários ou lixiviar para o meio compostos que podem apresentar toxicidade para o meio ambiente. Desta forma, para o correto tratamento dos efluentes antes de seu descarte no meio ambiente, vários pesquisadores têm desenvolvido processos de tratamento para ampliar a remoção dos contaminantes e otimizar as variáveis, minimizando não apenas a liberação de contaminantes como reduzindo a toxicidade dos efluentes. Dentro desse escopo, nosso grupo de trabalho tem produzido e funcionalizado o óxido de grafeno para utilizá-lo como adsorvente de contaminantes ambientais. Buscou-se então avaliar o potencial tóxico do óxido de grafeno após funcionalização com grupos amina e óxido de ferro mediante exposição de sementes de alface. Com o estudo realizado, constatou-se que o poder toxicológico está diretamente relacionado com o teor de interferente presente. Para baixas concentrações, os compostos de OG e OG-NH<sub>2</sub>-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> apresentaram um baixo índice de inibição para as sementes de *Lactuca sativa L*. Em maiores concentrações, o óxido de grafeno amino-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-funcionalizado exibiu uma baixa toxicidade em comparação com o seu precursor, o óxido de grafeno.

**PALAVRAS-CHAVE:** Toxicidade, Óxido de Grafeno, Adsorção, Alface, Funcionalização.

### **INTRODUÇÃO**

Há uma grande necessidade de conhecer efeitos causados por produtos químicos no meio ambiente e na saúde humana. A depender das propriedades físico-químicas e da quantidade desses compostos que é descartada no meio-ambiente, estes podem prejudicar os organismos e também o homem. Metais, compostos derivados do petróleo, hormônios, dioxinas e furanos são substâncias naturais, porém são motivo de preocupação quanto às suas altas taxas de concentração, podendo prejudicar aos seres vivos. Metais por não serem degradáveis podem trazer danos irreparáveis aos seres humanos, como neurofibrose, asbestose, entre outros. Nos últimos anos houve aumento do consumo de compostos orgânicos, em sua maioria artificiais, em lavouras, fábricas,

casas e comunidades. Isto levou a um aumento da concentração dessas substâncias no meio ambiente. Muitos dos compostos orgânicos, como pesticidas e corantes têxteis, possuem anéis aromáticos em sua estrutura, o que leva a doenças carcinogênicas, neurotoxicidade e outras patologias (WANJERI *et al.*, 2018).

Visando estabelecer o tratamento adequado dos efluentes industriais antes de seu descarte no meio ambiente, vários pesquisadores têm desenvolvido processos de tratamento para ampliar a remoção dos contaminantes e otimizar as variáveis. Dentre os processos comumente empregados no processo de tratamento dos efluentes industriais, podem ser citados: floculação/coagulação (MAN *et al.*, 2012), oxidação química (KARTHIKEYAN *et al.*, 2012), fotodegradação (SHARMA *et al.*, 2018), entre outros. Após estes tratamentos, denominados na literatura de tratamentos primários, tem sido empregado o processo de adsorção, em que uma ampla gama de materiais tem sido estudada, sobretudo como adsorvente de corantes têxteis (SILVA *et al.* 2018). Mais recentemente, nanomateriais a base de grafeno e seus derivados, como o óxido de grafeno (OG), óxido de grafeno reduzido (OGr) e o óxido de grafeno amino- $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -funcionalizado (OG- $\text{NH}_2$ - $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), têm sido empregados no estudo de adsorção de corantes têxteis de várias espécies (KYZAS *et al.*, 2018.) e novas rotas de funcionalização covalentes e não-covalentes têm sido desenvolvidas de modo a aumentar sua eficiência de remoção (YUSUF *et al.*, 2015). Nesse sentido, Fraga *et al.* (2018) verificou um aumento substancial na capacidade de remoção do OG após sua funcionalização com dietilenotriamina (DETA) e nanopartículas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

Com isso, o presente trabalho procurou estabelecer informações sobre a toxicidade do OG e do OG- $\text{NH}_2$ - $\text{Fe}_3\text{O}_4$  em sementes de alface, da espécie *Latucca sativa* L. Ao se comparar a toxicidade do óxido de grafeno e do óxido de grafeno funcionalizado, foi possível verificar a baixa toxicidade deste em relação ao seu material precursor, de modo que o OG- $\text{NH}_2$ - $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pode ser empregado como adsorvente de corantes têxteis sem grandes impactos ao meio ambiente, diferente do observado para o OG, e de acordo com os dados reportados na literatura (YANG *et al.*, 2012; GUO *et al.*, 2017). Contudo, são necessários estudos mais focados na fauna e flora característica dos ambientes onde são descartados os efluentes tratados de modo a se estabelecer parâmetros de toxicidade mais próximos da realidade.

Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o potencial tóxico do óxido de grafeno após funcionalização com grupos amina e óxido de ferro mediante exposição de sementes de alface lisa (*Lactuca sativa* L).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Síntese do óxido de grafeno (OG)

A síntese do óxido de grafeno (OG) foi realizada seguindo o método de Hummers modificado. Para isso, 1,0 g de grafite foi misturado a 25 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a uma temperatura de 0-6°C e deixado homogeneizar por 10 minutos em baixa agitação (70-100 rpm) em um béquer de 600 mL. Durante esse tempo a temperatura do sistema foi controlada com auxílio de banho de gelo para não ultrapassar os 20°C. Em seguida, foi adicionado, de forma gradativa, 3,0 g de  $\text{KMnO}_4$ . O sistema foi então deixado sob agitação durante 6 horas e, durante esse período, a temperatura foi controlada para não ultrapassar os 40°C. Após as 6 horas de reação foi adicionado ao sistema 46 mL de água destilada no sistema sob agitação e temperatura. Em seguida, interrompeu-se a agitação e aquecimento do sistema e foi adicionado mais água a fim de se completar 200 mL de água adicionada ao sistema. O último passo da síntese foi a adição de 10 mL de  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% ao sistema. O material obtivo ao final do processo descrito acima é o óxido de grafite. O óxido de grafite foi então submetido a lavagens, onde foi adicionado 12,5 de HCl (P.A) e 50 mL de água destilada ao sistema. Em seguida, foram realizadas lavagens até que o pH da suspensão de OG atingisse valor em torno de 3,5. Finalmente, o material sofreu uma esfoliação mecânica em banho ultrassônico (Elma, modelo EASY 60H, 600W, 36KHz) por um período de 4 horas. O material obtido ao final das 4 horas foi o óxido de grafeno.

### Funcionalização do OG com grupos amina e nanopartículas de $\text{Fe}_3\text{O}_4$

A funcionalização do óxido de grafeno foi realizada em paralelo ao método solvotérmico de ancoragem de nanopartículas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  no plano do grafeno (Ai *et al.*, 2011). Para isso, foi adicionado a 360 mL de óxido de grafeno de concentração igual a 0,0057 g, 3,0 g de acetato de sódio, 0,5 g de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  e, para deixar o meio inerte, adicionou-se também 200 mL de etilenoglicol. Todo material foi colocado na chapa aquecedora e

quando a temperatura do meio atingiu 170°C, 33 mL de dietilenotriamina (DETA) foi adicionado e iniciou-se a contagem de tempo até completar as 6 horas de reação. Terminada a reação de funcionalização do óxido de grafeno, foram realizadas sucessivas lavagens do material. Na primeira lavagem foram adicionados 200 mL de etanol a fim de remover os compostos orgânicos polares; em seguida, o material foi homogeneizado e colocado em tubos Falcon que foram depositados na centrífuga (Quimis, modelo Q222T), com velocidade de rotação de 6500 rpm por 7 minutos. Terminada a primeira lavagem, completou-se o volume de 1L adicionando água destilada ao sistema e repetiu-se o procedimento de lavagem. Ao total foram realizadas 6 lavagens.

#### Preparo do corpo de prova

Para desenvolver o teste foram utilizadas sementes de alface *Lactuca sativa*, segundo a metodologia indicada por Sobrero e Ronco (2004). Reis, Sant'anna Júnior e Dezotti (2003) explicam que o presente teste é capaz de indicar a toxicidade aguda de efluentes líquidos em um ensaio contínuo, num sistema estático, com duração de 120 horas sem luz. Para o desenvolvimento dos ensaios foram utilizadas placas de Petri forradas com papel filtro. Para verificar o efeito da presença dos compostos em estudo, foram adicionados 4 mL das amostras tanto de óxido de grafeno quanto de óxido de grafeno funcionalizado nas concentrações de 100, 30, 10, 3 e 1% (v/v), conforme indicado por Sobrero e Ronco (2004). Para comparação, também foi preparada uma placa com 4 mL de água mineral. Em seguida, foram dispostas em cada placa dez sementes uniformemente. Para que não houvesse entrada da luz, todas as placas foram fechadas com papel alumínio. Estas foram mantidas sob temperatura estritamente controlada a 22°C por um período de 120 horas. Os experimentos foram realizados em duplicata.

#### Avaliação do potencial inibitório

Após o período de 120 horas, as raízes foram medidas e tirou-se uma média das dez sementes para cada ensaio. A porcentagem de inibição para cada uma das concentrações pode ser então calculada, conforme a equação abaixo:

$$\%inibição = 100 - \frac{x_{amostra} \cdot 100}{x_{controle}} \quad \text{equação (1)}$$

sendo  $x_{amostra}$  o comprimento médio das raízes na germinação em cada amostra e  $x_{controle}$  o comprimento médio das raízes em germinação em água mineral.

#### Percentual residual de germinação (SG) e de alongamento (SA)

Para cada semente germinada, o comprimento da raiz foi medido para calcular a porcentagem residual normalizada de sementes germinadas (Equação 2) e a porcentagem residual de alongamento (Equação 3) para soluções de corante e GNP (BAGUR-GONZÁLEZ *et al.*, 2011). Todas as experiências foram realizadas em duplicidade.

$$SG = \frac{Germ_{Amostra(i)} - Germ_{Controle}}{Germ_{Controle}} \quad \text{equação (2)}$$

onde  $Germ_{Amostra}$  (i) é o número médio de sementes germinadas no extrato de saturação "i" (%), e o  $Germ_{Controle}$  é o número médio de sementes germinadas no controle em branco (%).

$$SE = \frac{Elong_{Amostra(i)} - Elong_{Controle}}{Elong_{Controle}} \quad \text{equação (3)}$$

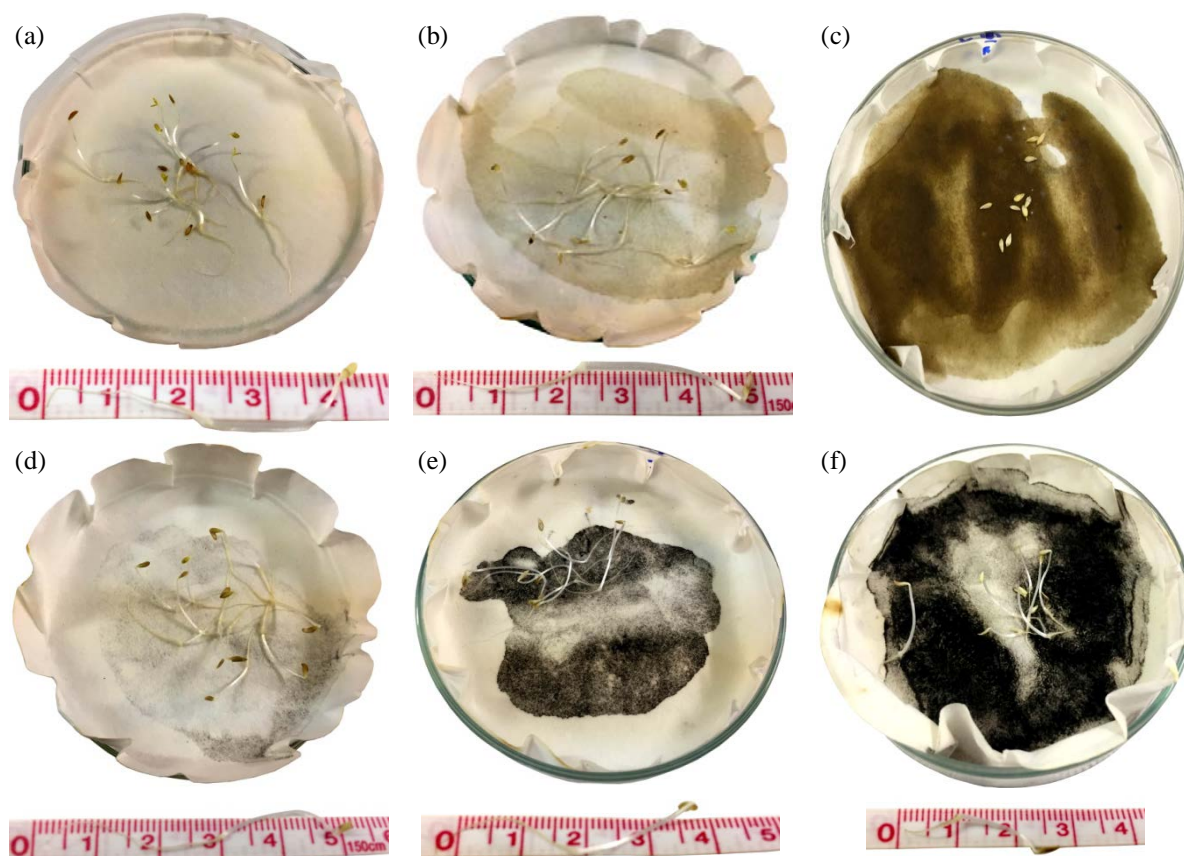
onde  $Elong_{Amostra}$  (i) é o comprimento médio das raízes de sementes no extrato de saturação "i" (cm), e  $Elong_{Controle}$  é o comprimento das raízes de sementes no controle em branco (cm).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Segundo Ferraz-Grande e M. Takaki (2006) e Fernandes *et al.* (2017), a disponibilidade e a qualidade da água são os fatores ambientais que representam maior influência na germinação das sementes, quando a

temperatura e a presença de oxigênio não são fatores limitantes. Assim, o processo de germinação torna-se um método bastante eficiente e simples para o estudo toxicológico.

A Figura 1 apresenta o desenvolvimento da plântula após o período de 120 horas em água mineral e em diferentes concentrações das amostras de óxido de grafeno e de óxido de grafeno funcionalizado. Em cada ensaio, as raízes foram medidas e a relação entre o crescimento médio e a concentração do substrato presente pode ser observada no gráfico da Figura 2. Nota-se que as sementes em placas de Petri contendo tanto OG (1% v/v) como o OG-NH<sub>2</sub>-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (1% e 3% v/v), apresentaram crescimento similar ao das sementes em água, ou seja, em baixas concentrações praticamente não se observa efeito tóxico para as sementes de alface *Lactuca sativa*. Para maiores concentrações das amostras em análise, a presença do OG-NH<sub>2</sub>-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> reduziu de forma moderada o crescimento das sementes, enquanto que o OG inibiu consideravelmente a germinação.



**Figura 1: Desenvolvimento da plântula após o período de incubação de 120 horas em diferentes meios: água mineral (a), OG 1% (b) e 100% (c), e OG-NH<sub>2</sub>-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 1% (d), 3% (e) e 100% v/v**



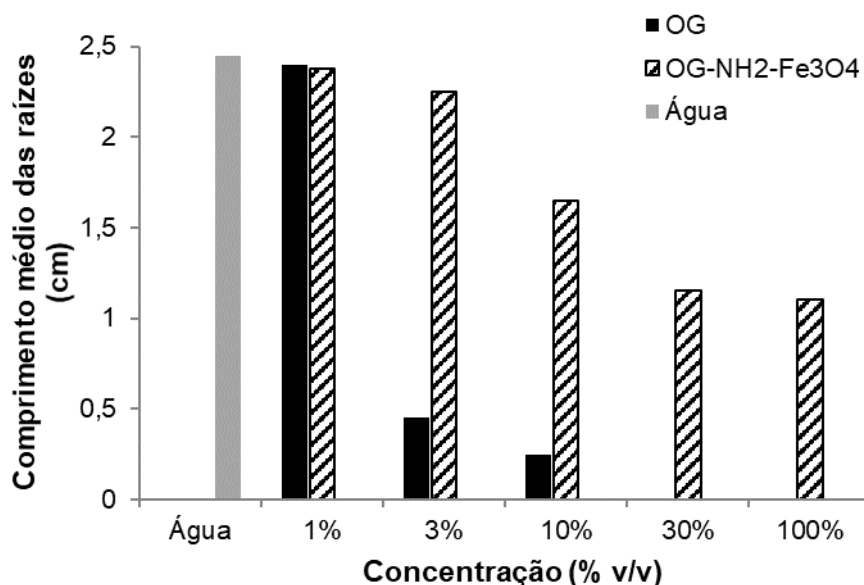


Figura 2: Comprimento médio das raízes em diferentes meios: OG e OG-NH<sub>2</sub>-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nas concentrações de 1%, 3%, 10%, 30% e 100% v/v e água mineral

Com a medição do crescimento médio das retículas foi possível calcular o potencial de inibição para cada uma das concentrações de OG e OG-NH<sub>2</sub>-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> utilizadas. Tal relação pode ser observada na Figura 3. A partir do gráfico, tem-se que o óxido de grafeno amino-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-funcionalizado apresentou um baixo índice de inibição em comparação ao seu precursor, o óxido de grafeno. Os pontos experimentais obtidos se adequaram bem a uma regressão polinomial de segunda ordem e as equações e os respectivos valores de R<sup>2</sup> estão descritos na Figura 3.

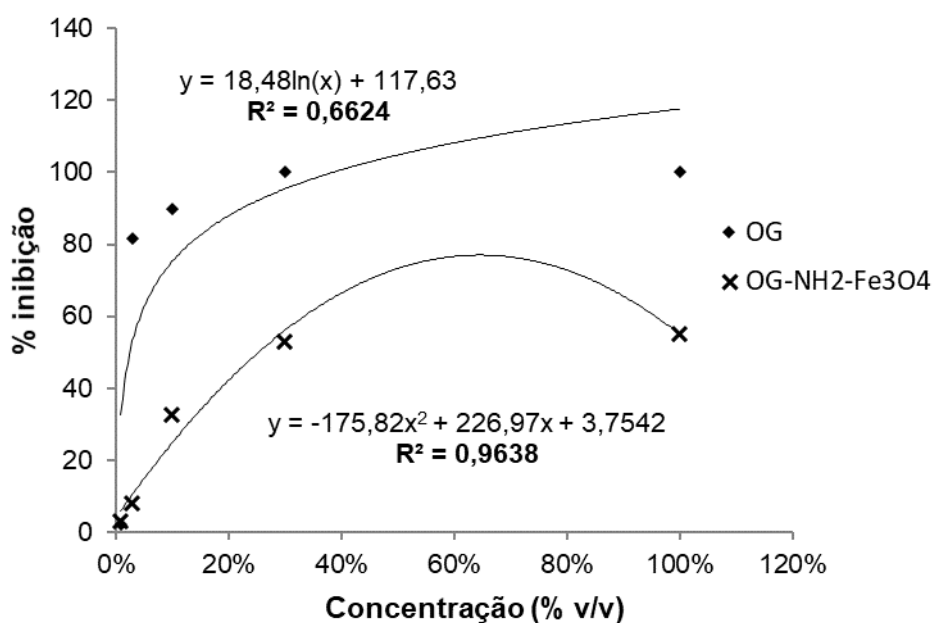


Figura 3: Percentual de inibição verificado na germinação das sementes de alface *Lactuca sativa* após um período de 120 horas em contato com diferentes concentrações das amostras de OG e de OG-NH<sub>2</sub>-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

De acordo com a literatura, a toxicidade apresentada pelo grafeno e pelo óxido de grafeno está relacionada com a formação de espécies reativas de oxigênio, induzindo no interior das células um estresse oxidativo e causando danos em microrganismos, animais e vegetais (BEGUM, IKHTIARI e FUGETSU, 2011; YANG *et al.*, 2012, NOGUEIRA, NAKABAYASHI e ZUCOLOTO, 2015). A revisão realizada por Yang *et al.* (2012)

apontou que embora o grafeno e o óxido de grafeno tendam a ser tóxicos, alguns tipos de óxido de grafeno funcionalizado (por exemplo, por revestimento de polímero biocompatível) exibiram uma toxicidade muito reduzida. Neste trabalho, a baixa toxicidade do OG-NH<sub>2</sub>-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> em comparação com OG está relacionada ao fato de que o óxido de grafeno apresenta grupos funcionais hidroxila e epóxido, acarretando cargas superficiais negativas e alta reatividade superficial, o que também pode ser responsável por seus efeitos tóxicos (NOGUEIRA, NAKABAYASHI e ZUCOLOTTI, 2015). A adição dos compostos de amina e ferro confere ao óxido de grafeno amino-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-funcionalizado um caráter mais básico, diminuindo assim sua toxicidade.

A avaliação da fitotoxicidade por meio da exposição de sementes de *Lactuca sativa* L. ofereceu uma abordagem sensível para determinar se certos efluentes podem ser aceitáveis para descarga em corpos d'água públicos (BAGUR-GONZÁLEZ *et al.*, 2011). Nesse sentido, a avaliação da toxicidade de *L. sativa*, realizada para a suspensão de OG-NH<sub>2</sub>-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (0,0067 g·mL<sup>-1</sup>), evidenciou que este material não apresentou toxicidade aguda na germinação de sementes de alface, apresentando valores médios de SG, SE e taxa de germinação de -0,10, 0,12 e 80% (Fig. 7c), respectivamente. Essa taxa de EC é considerada como baixa fitotoxicidade (0,00 a -0,25) (BAGUR-GONZÁLEZ *et al.*, 2011) pelos relatos encontrados na literatura (LYU *et al.*, 2018).

## CONCLUSÕES

Com o estudo realizado, constatou-se que o poder toxicológico está diretamente relacionado com o teor de interferente presente. Para baixas concentrações, os compostos de OG e OG-NH<sub>2</sub>-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> apresentaram um baixo índice de inibição para as sementes de *Lactuca sativa* L. Em maiores concentrações, o óxido de grafeno amino-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-funcionalizado exibiu uma baixa toxicidade em comparação com o seu precursor, o óxido de grafeno. Desta forma, são necessárias análises toxicológicas mais detalhadas, utilizando diferentes tipos de espécies vegetais e animais e tempo de exposição para garantir que o uso do OG-NH<sub>2</sub>-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> como adsorvente de corantes têxteis não provoca grandes impactos ao efluente tratado e ao meio ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BEGUM, P., IKHTIARI, R., & FUGETSU, B. *Graphene phytotoxicity in the seedling stage of cabbage, tomato, red spinach, and lettuce*. **Carbon**, v. 49 (12), 3907–3919, 2011.
2. BAGUR-GONZÁLEZ, M. G., ESTEPA-MOLINA, C., MARTÍN-PEINADO, F., MORALES-RUANO, S. *Toxicity assessment using Lactuca sativa L. bioassay of the metal(loid)s As, Cu, Mn, Pb and Zn in soluble-in-water saturated soil extracts from an abandoned mining site*. **Journal of Soils and Sediments**, v. 11, p. 281–289, 2011.
3. FERNANDES, L. R. S. G., MOTA, R. S., SILVA, G. DE P., BENETT, C. G. S., BENETT, K. S. S. Germinação de sementes de alface em função do teor de água no substrato. In: IV Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG. Goiás: UEG, 2017.
4. FERRAZ-GRANDE, F.G. A., TAKAKI, M. Efeitos da luz, temperatura e estresse de água na germinação de sementes de *caesalpinia peltophoroides benth* (caesalpinoideae). **Bragantia**, v.65, n.1, p.37-42, 2006.
5. FRAGA, T.J.M., FERREIRA, L.E.M.L., SOUZA, Z.S.B., CARVALHO, M.N., FREIRE, E.M.P.L., GHISLANDI, M.G., DA MOTTA, M.A.M. *Amino-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-functionalized Graphene Oxide as a novel adsorbent of Methylene Blue: kinetics, equilibrium and recyclability aspects*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 1-10, 2018.
6. GUO, Z., XIE, C., ZHANG, P., ZHANG, J., WANG, G., HE, X., MA, Y. ZHAO, B., ZHANG, Z. *Toxicity and transformation of graphene oxide and reduced graphene oxide in bacteria biofilm*. **Science of Total Environment**, v. 580, p. 1300-1308, 2017.
7. KARTHIKEYAN, S., GUPTA, V.K., BOOPATHY, R., TITUS, A., SEKARAN, G. *A new approach for the degradation of high concentration of aromatic amine by heterocatalytic Fenton oxidation: Kinetic and spectroscopic studies*. **Journal of Molecular Liquids**, v. 173, p. 153-163, 2012.
8. KYZAS, G.Z., DELIYANNI, E.A., BIKIARIS, D.N., MITROPOULOS, A.C. *Graphene composites as dye adsorbents: Review*. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 129, p. 75-88, 2018.
9. LYU, J., PARK, J., KUMAR PANDEY, L., CHOI, S., LEE, H., DE SAEGER, J., DEPUYDT, S., HAN, T. *Testing the toxicity of metals, phenol, effluents, and receiving waters by root elongation in Lactuca sativa L.*, **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 149, p. 225–232, 2018.

10. MAN, L.W., KUMAR, P., TENG, T.T., WASEWAR, K.L. *Design of experiments for Malachite Green dye removal from wastewater using thermolysis–coagulation–flocculation*. **Desalination Water Treatment**, v. 40, p. 260-271, 2012.
11. NOGUEIRA, P. F. M., NAKABAYASHI, D., & ZUCOLOTTI, V. *The effects of graphene oxide on green algae *Raphidocelis subcapitata**. **Aquatic Toxicology**, v. 166, p. 29–35, 2015.
12. REIS, J. L. R.; SANT'ANNA JÚNIOR, G. L.; DEZOTTI M. Ecotoxicidade dos efluentes líquidos da indústria de borracha sintética. In: XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville, SC, 2013.
13. SHARMA, G., KUMAR, A., NAUSHAD, M., KUMAR, A., AL-MUHTASEB, A.H., DHIMAN, P., GHAFAR, A.A., STADLER, F.J., KHAN, M.R. *Photoremediation of toxic dye from aqueous environment using monometallic and bimetallic quantum dots based nanocomposites*. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 2919-2930, 2018.
14. SILVA, T.C., FRAGA, T.J.M., CARVALHO M.N., SILVA, V.L., DA MOTTA, M.A. *Removal of the reactive Remazol Black B and Remazol Red from aqueous solutions by adsorption onto treated residue from the aluminum industry*. **Latin American Applied Research**, v. 48 (2), p. 101-106, 2018.
15. SOBRERO, M.C.; RONCO, A. *Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L)*. In: *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de cualidad de aguas – estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones*. Ciudad del México: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, 2004. 118p.
16. WANJERI, V.W.O., SHEPPARD, C.J., PRINSLOO, A.R.E., NGILA, J.C., NDUNGU, P.G. *Isotherm and kinetic investigations on the adsorption of organophosphorus pesticides on graphene oxide based silica coated magnetic nanoparticles functionalized with 2-phenylethylamine*. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, p. 1333-1346, 2018.
17. YANG, K., LI, Y., TAN, X., PENG, R., LIU, Z. *Behavior and Toxicity of Graphene and Its Functionalized Derivatives in Biological Systems*. **Small**, v. 9 (9-10), p. 1492-1503, 2012.
18. YUSUF, M., ELFGHI, F.M., ZAIDI, S.A., ABDULLAH, E.C., KHAN, M.A. *Applications of graphene and its derivatives as an adsorbent for heavy metal and dye removal: a systematic and comprehensive overview*. **RSC Advances**, v. 5, p. 50392-50420, 2015.