

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

# APPLIED CHEMICAL ENGINEERING

---

Atena  
Editora  
Ano 2022

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

# APPLIED CHEMICAL ENGINEERING

---

Atena  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Yaidy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

C697 Collection: applied chemical engineering / Organizador  
Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa -  
PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-856-1

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.561223101>

1. Chemical engineering. I. Paniagua, Cleiseano  
Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 660

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

The e-book: “Collection: Applied chemical engineering” consists of ten book chapters that were organized and divided into four thematic units, namely: *i*) natural products: extraction and purification of active principles; *ii*) development of new materials: study, comparison, different properties and applications; *iii*) use of analytical instruments for food quality control and; *iv*) development and application of bioadsorbents and advanced treatment technologies to remove contaminants from aquatic matrices.

The first theme presents two studies that evaluated the extraction of essential oil from the Baru species plant (*Dipteryxalata Vog.*) with nematicidal activity in combating *Meloidogyne javanica*. The second work evaluated triterpene purification processes from plant bioactives of Amazonian species. The second theme consists of three book chapters aimed at the study and comparison of natural, glass and mixed fibers for future applications; preparation of graphene oxides for production as composites in the form Cu/TiO<sub>2</sub>/rGO and estimates of thermodynamic properties of esters used in the production of biodiesel using a Gaussian software associated with the Constantinou and Gani group method.

The third thematic unit consists of two works, one using the UV-Vis spectrophotometry technique to quantify the metallic ions of cadmium, copper, chromium, mercury, nickel and lead in cheeses produced by hand on rural properties; the second work evaluated the Kombucha probiotic and its importance in fermented foods. Finally, the fourth and last theme consists of three works with different approaches. The first deals with the possible environmental impacts that can be caused to water and soil as a result of exposure to Fracking gas present in Mexico. The second presents the study of the adsorption capacity from the biomass generated by the Andiroba species (*Carapaguianensis Aubl.*) in the removal of copper ions present in wastewater from industrial activities. The third chapter presents the study of the influence of the complexity of different aqueous matrices on the degradation of a mixture of drugs using the solar photolysis processes, TiO<sub>2</sub>/Solar and its combination with the addition of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. This process constitutes one of the advanced treatment technologies to be made feasible on a large scale as a complementary step to conventional water and sewage treatment processes.

In this perspective, Atena Editora has been working with the aim of stimulating and encouraging both Brazilian researchers and those from other countries to publish their work with quality assurance and excellence in the form of books, book chapters and articles that are available in the Editora’s website and other digital platforms with free access.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua



## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

ATIVIDADE NEMATICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE BARU (*Dipteryx alata* Vog.) SOBRE *Meloidogyne javanica*


Gabriela Araújo Martins  
Rodrigo Vieira da Silva  
Ana Paula Gonçalves Ferreira  
João Pedro Elias Gondim  
Lara Nascimento Guimarães  
Nathália Nascimento Guimarães  
Edcarlos Silva Alves  
Rafaella Alves Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5612231011>

### **CAPÍTULO 2..... 12**

PURIFICAÇÃO DE TRITERPENOS BIOATIVOS A PARTIR DE ESPÉCIES AMAZÔNICAS: IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS E PADRONIZAÇÃO DO PROCESSO


Lucas Orleam Nunes do Nascimento  
Yanne Katiussy Pereira Gurgel Aum  
Erick Max Mourão Monteiro de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5612231012>

### **CAPÍTULO 3..... 19**

ESTUDO E COMPARAÇÃO ENTRE COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS, FIBRAS DE VIDRO E HÍBRIDOS


Samuel de Castro Silva  
Gabriel Melo Nascimento  
Roberto Tetsuo Fujiyama

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5612231013>

### **CAPÍTULO 4..... 25**

PREPARAÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFITE PARA PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS Cu/TiO<sub>2</sub>/rGO

Gimerson Weigert Subtil  
Leonardo Zavilenski Fogaça  
Daiane Marques de Oliveira  
Jean César Marinozi Vicentini  
Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5612231014>

### **CAPÍTULO 5..... 37**

PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DE FORMAÇÃO ESTIMADAS PARA ÉSTERES DE BIODIESEL USANDO SOFTWARE DE QUÍMICA QUÂNTICA GAUSSIAN E O MÉTODO DE CONTRIBUIÇÃO DE GRUPO DE CONSTANTINOU E GANI

Erich Potrich  
Larissa Souza Amaral


Fernando Augusto Pedersen Voll  
Vladimir Ferreira Cabral  
Lúcio Cardozo Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5612231015>

**CAPÍTULO 6..... 51**

DETERMINAÇÃO QUANTITATIVA DE CÁDMIO, CHUMBO, COBRE, CROMO, MERCÚRIO E NÍQUEL EM QUEIJOS ARTESANAIS RURAIS E INDUSTRIAIS EMPREGANDO ESPECTROFOTOMETRIA UV-VIS


Alexandre Mendes Muchon  
Alex Magalhães de Almeida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5612231016>

**CAPÍTULO 7..... 63**

PRODUÇÃO DE KOMBUCHA: APRESENTAÇÃO DO PROCESSO, POSSÍVEIS OBSTÁCULOS E PONTOS CRÍTICOS DE CONTROLE

Thainá Inácia da Silva  
Louiza Stefhany Santos Tibes  
Carla Adriana Pizarro Schmidt

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5612231017>

**CAPÍTULO 8..... 78**

MEXICO'S WATER AND SOIL, THREATENED BY FRACKING GAS?


Victor Hugo Ferman-Avila  
Maria del Carmen Avitia-Talamantes  
Hugo Esteban Ferman-Corral

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5612231018>

**CAPÍTULO 9..... 87**

PRODUÇÃO DE BIOADSORVENTE DE RESÍDUOS DE CASCAS DE SEMENTES DE ANDIROBA (*Carapa guianensis Aubl.*) E POTENCIAL USO NA ADSORÇÃO DE ÍONS COBRE EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS INDUSTRIAIS


Carlos Castro Vieira Quaresma  
Gabriela Cristina Brito Nery  
Agnes Naiá Gomes de Sá Fernandes  
Sérgio Duvoisin Júnior  
Nélio Teixeira Machado  
Marla Karolyne dos Santos Horta  
Douglas Alberto Rocha de Castro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5612231019>

**CAPÍTULO 10..... 100**

INFLUENCE OF MATRIX COMPOSITION ON THE DEGRADATION OF A PHARMACEUTICALS MIXTURE THROUGH HETEROGENEOUS PHOTOLYSIS AND PHOTOCATALYSIS UNDER SOLAR RADIATION PROCESSES

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56122310110>

<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>113</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>114</b>

## PREPARAÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFITE PARA PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS CU/TIO<sub>2</sub>/RGO

Data de aceite: 01/01/2022

Data de submissão: 13/10/2021

### Gimerson Weigert Subtil

Universidade Estadual de Maringá (UEM)  
Maringá – PR  
<http://lattes.cnpq.br/0370849031621367>

### Leonardo Zavilenski Fogaça

Universidade Estadual de Maringá (UEM)  
Maringá – PR  
<http://lattes.cnpq.br/8724711736746702>

### Daiane Marques de Oliveira

Universidade Estadual de Maringá (UEM)  
Maringá – PR  
[lattes.cnpq.br/9757355596453759](http://lattes.cnpq.br/9757355596453759)

### Jean César Marinozi Vicentini

Universidade Estadual de Maringá (UEM)  
Maringá – PR  
<http://lattes.cnpq.br/1400549733563121>

### Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante

Universidade Estadual de Maringá (UEM)  
Maringá – PR  
<http://lattes.cnpq.br/1552509852504841>

**RESUMO:** A fotocatalise através do uso de TiO<sub>2</sub> foi muito difundida, porém demonstra adversidades como a baixa absorção do espectro solar e alta recombinação eletrônica, que afetam significativamente a eficiência do processo, seja ele para degradação de compostos orgânicos persistentes, produção de hidrogênio ou fotoredução de CO<sub>2</sub>. Neste mini review discutimos

as principais propriedades físico-químicas do rGO, e CuO<sub>2</sub>, onde listamos os benefícios de suas aplicações na presença de TiO<sub>2</sub> em sistemas induzidos pela luz. Catalisadores de rGO-TiO<sub>2</sub> e CuO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> demonstraram melhor eficiência fotocatalítica quando comparado o TiO<sub>2</sub> puro, pois minimizam os efeitos de recombinação eletrônica e conseguem aumentar a absorção de luz visível para excitação. Nesse sentido, propõe-se que estruturas rGO-CuO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> podem ser ainda mais benéficas, pois preservando-se as excelentes característica de cada material em uma única heteroestrutura, o efeito sinérgico em fotosistemas seria ainda maior.

**PALAVRAS-CHAVE:** TiO<sub>2</sub>, Cobre, rGO

### GRAPHITE OXIDE PREPARATION FOR CU/TIO<sub>2</sub>/RGO COMPOSITES PRODUCTION

**ABSTRACT:** Photocatalysis using TiO<sub>2</sub> has been widespread but shows adversities such as low absorption of the solar spectrum and high electronic recombination, which significantly affect the efficiency of the process, whether it is for persistent organic compounds degradation, hydrogen production, or CO<sub>2</sub> photoreduction. In this mini-review, we discuss the main rGO physicochemical properties, and CuO<sub>2</sub>, where we list the benefits of their applications in TiO<sub>2</sub> presence above light-induced systems. rGO-TiO<sub>2</sub> and CuO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> Catalysts have shown improved photocatalytic efficiency when compared to pure TiO<sub>2</sub>, as they minimize electronic recombination effects and can increase the visible light absorption for excitation. In this sense, it is proposed that rGO-CuO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> structures may be

even more beneficial, mainly why presenting the excellent characteristics of each material in a single heterostructure, the synergistic effect in photosystems would be even greater.

**KEYWORDS:** TiO<sub>2</sub>, Copper, rGO

## 1 | GRAFENO E ÓXIDO DE GRAFENO REDUZIDO (RGO)

Grafeno é um material bidimensional com estrutura similar a um favo de mel, o termo se refere a única camada de grafite, com átomos de carbono sp<sup>2</sup> hibridizados dispostos em uma rede hexagonal, como demonstrado na **Figura 1**, e orbitais π parcialmente preenchidos acima e abaixo do plano da folha (MEHL *et al.*, 2014). Muitas vezes o termo grafeno é utilizado tanto para grafeno monocamadas, bicamadas ou até poucas camadas (menor que 10), tendo propriedades completamente distintas do grafite (NOVOSELOV *et al.*, 2004). Com a espessura de uma única camada de átomos de carbono o grafeno é o material mais fino conhecido, sendo impermeável aos gases, e mais forte que o aço (módulo de Young de ~ 1 TPa) (LEE *et al.*, 2008). Além disso, a condutividade térmica do grafeno em temperatura ambiente (~5.000 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>) rivaliza com os valores reportados para nano tubos de carbono, além de ser melhor condutor térmico que o diamante. Sendo um material formado por uma única camada, o grafeno também possui uma elevada área de superfície com um valor teórico de 2630 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> (NAIR *et al.*, 2008), sendo praticamente transparente, absorvendo apenas 2,3% de luz branca. O grafeno também demonstrou uma boa capacidade de dobra, recuperando as propriedades elétricas após ser flexionado (KIM *et al.*, 2011). Porém a propriedade que mais chama a atenção é incrível mobilidade de carga do material com valores acima de 2x10<sup>5</sup> cm<sup>2</sup> V<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>, fazendo deste um excelente condutor de eletricidade, e tamanha condutividade é devido à alta velocidade de Fermi dos elétrons (V<sub>F</sub>) de aproximadamente 1x10<sup>6</sup>m s<sup>-1</sup> (DU *et al.*, 2008).

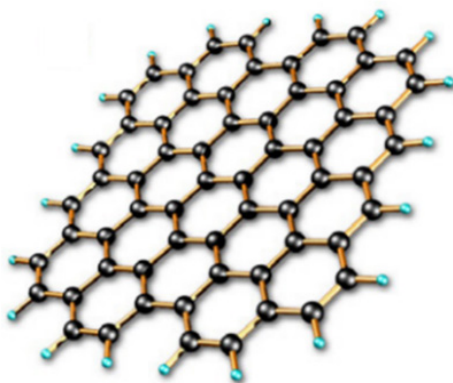


Figura 1 - Representação esquemática da organização estrutural molecular do grafeno. Fonte: Adaptado de (ZARBIN *et al.*, 2013).

Devido as excelentes propriedades apresentadas por esse material carbonáceo, existe um interesse muito grande no desenvolvimento de rotas para obtenção do grafeno que possam ser reprodutíveis, economicamente viáveis, alto rendimento e pureza (MEHL *et al.*, 2014). O grafeno pode ser produzido por esfoliação micromecânica de grafite altamente ordenado, por crescimento epitaxial, deposição química de vapor (CVD) e redução do óxido de grafeno (THAKUR & KARAK, 2015), sendo os três primeiros capazes produzir grafeno com elevada pureza e excelentes propriedades como mencionadas no parágrafo acima, já o grafeno obtido do GO tem as propriedades reduzidas devido a presença de grupos funcionais de oxigênio e defeitos residuais que alteram a estrutura do plano de carbono (HUH *et al.*, 2011), não sendo adequado denominar como grafeno o material proveniente de GO e sim óxido de grafeno reduzido (rGO), ou grafeno funcionalizado. Como vantagem o grafeno modificado a partir de GO poder ser fabricado com matéria prima barata, por métodos químicos econômicos e com alto rendimento (EDWARDS & COLEMAN, 2013).

GO foi primeiramente reportado em 1840 por Schafhaeutel e hoje em dia é fabricado principalmente pelo método desenvolvido por Hummers em 1958 (HUMMERS & OFFEMAN, 1958) onde a oxidação do grafite a óxido de grafite é realizada pelo tratamento livre de água utilizando mistura de ácido sulfúrico, nitrato de sódio e permanganato de potássio, além das diversas modificações que o método veio a sofrer e que tem sido proposta ao longo dos anos (ROMERO *et al.*, 2018).

As etapas para produção de rGO são basicamente três (**Figura 2**), onde o grafite é oxidado a óxido de grafite ( $\sim\text{C}_6\text{O}_2\text{H}$ ) e os átomos de carbono  $\text{sp}^2$  são oxidados gerando carbono hibridizados  $\text{sp}^3$  devido a adição dos grupos oxigenados. O  $\text{KMnO}_4$  oxida o grafite alterando a coloração da reação de verde para marrom escuro, sendo o  $\text{Mn}_2\text{O}_7$  seletivo na reação a ligações duplas alifáticas em relação as ligações duplas aromáticas. Devido a presença dos grupos oxigenados o óxido de grafite se torna mais hidrofílico, possuindo grupos epóxidos e hidroxilas no plano basal e carbonilas e carboxilas nas bordas (YAN *et al.*, 2016). Após o óxido de grafite ser misturado a água e então ser ultrasonificado a estrutura tridimensional se desfaz devido ao rompimento das ligações de van der Waals, obtendo então Óxido de grafeno (GO).

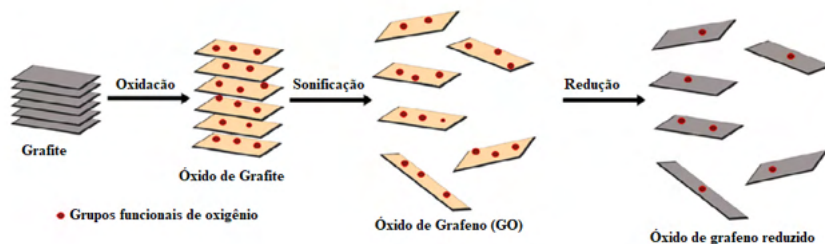


Figura 2 - Prepara do rGO a partir do grafite (adaptado de Thakur & Karak 2015).

A condutividade do grafeno depende principalmente da rede conjugada de longo alcance, logo a funcionalização por grupos oxigenados quebra esta estrutura reduzindo a mobilidade de cargas fazendo do GO um material isolante. Portanto a redução do GO a rGO não se refere apenas a remoção dos grupos oxigenados, mas sim a recuperação da condutividade elétrica e outras propriedades do grafeno, onde a hibridizações do tipo  $sp^3$  são removidas (VOIRY *et al.*, 2016).

O GO então pode passar por tratamentos químicos ou térmicos com o intuito de produzir rGO, que restaura a condutividade elétrica e hidrofobicidade do material para ser utilizado como material condutor. Os principais métodos de redução são por redução química, micro-ondas, solvotérmica, eletroquímica e redução térmica (LONKAR *et al.*, 2019; SALEEM *et al.*, 2018).

A redução química é realizada normalmente em temperatura ambiente ou aquecimento moderado, sendo a hidrazina o reagente químico mais comumente utilizado para redução. A redução por hidrazina e seus derivados como dimetil-hidrazina, é adquirida adicionando os reagentes diluídos em suspensão aquosa de GO, o que resulta em nano folhos de rGO devido ao aumento da hidrofobicidade. Quando seco, um pó preto eletricamente condutivo com razão C/O em cerca de 10 (GAO *et al.*, 2009). Sendo relatados valores de C/O na ordem de 12,5 e condutividade de aproximadamente 100 s/cm (FERNANEZ-MERINO *et al.*, 2009).

Outros reagentes utilizados são os hidretos metálicos, como o borohidreto de sódio ( $NaBH_4$ ), sendo um redutor bastante forte podendo ser até mais efetivo que a hidrazina, principalmente em relação a redução das espécies  $C=O$ , mas com eficiência mais baixa que os grupos epóxidos e carboxílicos (AUNKOR *et al.*, 2016). Entretanto tanto hidrazina, como borohidreto de sódio são extremamente corrosivos, inflamáveis e tóxicos (YAN *et al.*, 2016). Por isso nos últimos anos tem havido um interesse crescente no desenvolvimento de agentes redutores amigáveis ao meio ambiente como a vitamina C (FERNANDEZ-MERINO *et al.*, 2010), ureia (KUMAR *et al.*, 2019), ácido ascórbico (WANG *et al.*, 2017), aminoácidos (PHAM *et al.*, 2011), extratos de cebola (KUMAR *et al.*, 2019), espinafre e cravo (SURESH *et al.*, 2015b) e açúcar reduzida (KIM *et al.*, 2011) foram propostos como agentes redutores não tóxicos.

O estudo do Fernandez-Merino *et al.*, (2010) merece destaque, porque ao utilizar vitamina C como agente redutor obteve uma razão C/O de 12.5 e condutividade de 77s/cm, comparáveis aos resultados obtidos com hidrazina. Apesar do apelo ambiental e dos métodos serem baratos, não tóxicos e de baixo custo, o rGO tem baixa solubilidade em água e solventes orgânicos, podendo se aglomerar, devendo usar polímeros e surfactantes que afetam as propriedades dos materiais (YAN *et al.*, 2016).

Outro método que se mostra promissor para redução de GO é o método eletroquímico, realizado em uma célula eletroquímica em solução tampão a temperatura ambiente, muito utilizado para fabricação de bio-sensores, capacitores e células químicas (LI *et al.*, 2018).

O filme de GO primeiramente é depositado em um substrato (vidro, plástico, polímeros, etc.) e um eletrodo inerte é colocado para ocorrer a redução eletroquímica. RAMESHA & SAMPATH, (2009) descobriram que a redução de GO se inicia em 0,6 V e atinge a redução máxima em 0,87 V, enquanto SHAO *et al.*, (2010) determinaram que a redução máxima se deu em 0,75 V. A grande vantagem do método é evitar o uso de redutores químicos e altas temperaturas de redução.

O método solvotérmico é realizado em recipiente vedado, de modo que o solvente possa ser levado a temperaturas acima do ponto de ebulição e com acentuado aumento na pressão. É, portanto, um processo hidrotérmico, onde a água é superaquecida para desempenhar o papel de agente redutor, oferecendo uma rota alternativa e ambientalmente amigável (LI *et al.*, 2018 e YAMAGUCHI *et al.*, 2016). Também pode ser um método utilizado em conjunto com outro método de redução, LEO *et al.*, (2017) primeiramente reduziu o GO pelo método hidrotérmico em uma autoclave a temperatura de 100°C por 12 horas e posteriormente reduziu novamente utilizando N<sub>2</sub>H<sub>4</sub> e HI, como método solvotérmico. Os autores relatam que a razão C/O passou de 1,7 para 11, após processo hidrotérmico, e após o processo químico com HI a razão aumentou para 14.

## 2 | COMPÓSITOS DE GRAFENO PARA PRODUÇÃO DE CATALISADORES

O papel do composto rGO-semicondutor é atuar como mediador para melhorar o desempenho fotocatalítico dos semicondutores. Foi demonstrado que ao modular a razão do carbono hibridizado sp<sup>2</sup>-sp<sup>3</sup>, as propriedades eletrônicas das espécies de rGO podem ser ajustadas de isolante para semicondutor ou semi-metal, o que permite sua utilização como material fotoativo (YE *et al.*, 2014).

Os grupos oxigenados polares em GO tornam este um composto negativamente carregado e hidrofílico em muitos solventes, especialmente a água. Para retirada dos grupos funcionais é necessário tratamento térmico ou químico resultando em rGO, que é extremamente hidrofóbico devido seu baixo conteúdo de oxigênio, possuindo excelente condutividade elétrica o que favorece a mobilidade de cargas (WANG *et al.*, 2017). GO e rGO tem *band gap* sintonizável variando entre 2.4 a 4.3 eV, além de grande área de superfície específica (OPUKO *et al.*, 2017). A combinação de compostos de grafeno com fotocatalisadores de *band gap* larga tem provado ser uma abordagem promissora para aumentar a atividade de absorção de luz visível, diversos compostos baseados em rGO foram propostos na literatura para aplicações fotocatalíticas, seja na degradação de contaminantes (XU *et al.*, 2019), redução de reagentes químicos (SHI *et al.*, 2019) e produção de H<sub>2</sub> por eletrofotocatálise (SHI *et al.*, 2019; AHMED *et al.*, 2019).

O rGO serve como um fotosensibilizador para os catalisadores. YANG & XU (2013) propuseram que são necessários três princípios básicos para observar o papel de fotosensibilizador exato do rGO sob luz visível: (I) para os compostos rGO-semicondutores



sob irradiação de luz visível, o semicondutor por si só não é capaz de ter sua *band gap* fotoexcitada; (II) se a interação interfacial entre o rGO e o semicondutor for alcançada, a vida útil dos portadores de carga e a eficiência de transferência através da interface entre o rGO e semicondutor será melhorada; (III) devem ser escolhidas as reações adequadas que não só devem evitar o efeito de fotossensibilização auto induzido (por exemplo, fotossensibilização de corante orgânico), mas que também possam eficazmente capturar os elétrons fotogerados da excitação do rGO no rGO-semicondutor.

A incorporação de rGO no catalisador também minimiza os custos do catalisador uma vez que diminui a quantidade de metais nobres utilizados como Pt, Pd e Au (SHINDE *et al.*, 2018), sendo um dos papéis mais importantes das nanoestruturas de carbono atuar como suporte de catalisadores metálicos devido a sua estrutura bidimensional tipo esteira capaz de promover excelente dispersão de nanopartículas de metal, maximizando a área de superfície do catalisador acessíveis as reações químicas (TAN *et al.*, 2019).

Ao implementar compostos de grafeno pode-se aumentar a reciclabilidade dos catalisadores, facilitando a separação, recuperação e conseqüentemente reduzir o custo global do processo (GUO *et al.*, 2014). As estruturas 3D de compostos de grafeno a partir de GO apresentam propriedade hidrofóbicas que facilitam a reciclagem. QIU *et al.* (2014) ao utilizar  $\text{TiO}_2/\text{rGO}$ -3D para degradar o corante alaranjado de metila percebeu que após cinco ciclos o catalisador ainda se manteve fotoativo sendo facilmente separado da solução após o processo. Outra vantagem dessas estruturas tridimensionais é a inibição da agregação das partículas e o controle de crescimento. FAN *et al.* (2015) preparam uma estrutura 3D de rGO a partir GO fabricado pelo método de Hummers e relatam que as nanopartículas AgBr foram uniformemente distribuídas pela estrutura, levando a um aumento de sítios de adsorção e reações fotocatalíticas, inibindo agregação e supercrescimento das partículas. As propriedades de rGO podem variar muito dependendo de seu tamanho e dimensão, que inevitavelmente influencia a maneira de interação entre catalisador e rGO. Foi demonstrado que a dimensão afeta principalmente a transferência de carga por sua interface (YANG *et al.*, 2015 e ZHU *et al.*, 2019); onde grandes dimensões acarretam em baixo efeito sinérgico o que limita o transporte das cargas fotogeradas.

A recombinação eletrônica nos semicondutores é definitivamente o maior entrave dos materiais semicondutores, que limitam seu desempenho fotocatalítico, a excelente condutividade e mobilidade dos elétrons em rGO tornam o mesmo um excelente candidato para o acoplamento com semicondutores para melhorar a separação das cargas e comportamento de transporte dos fotocatalisadores (YU *et al.*, 2018; TAN *et al.*, 2019). Os resultados obtidos nos trabalhos têm mostrado que rGO é um substituto promissor para metais nobres na produção de  $\text{H}_2$  (SHINDE *et al.*, 2018).

### 3 | A IMPORTÂNCIA DO COBRE NA PRODUÇÃO DE CATALISADORES

O cobre (Cu) é um metal de transição que apresenta características fotoquímicas interessantes, sendo então que o Cu e seus complexos vêm recebendo atenção considerável principalmente pela sua capacidade de aplicação em sistemas induzidos pela luz, como em processos fotocatalíticos de degradação de compostos orgânicos e produção de hidrogênio através da água. (PARIA *et al.*, 2014). Os compostos de cobre, como o dióxido de cobre (Cu<sub>2</sub>O) tem sido aplicado como material foto elétrodo atrativo para a produção de hidrogênio, porque o Cu<sub>2</sub>O é um semicondutor do tipo p com band gap estreita (1,9-2,2 eV), do qual a banda de condução e a banda de valência estão próximas do potencial de redução e oxidação para a divisão da água (BABU *et al.*, 2019; FAN *et al.*, 2016).

Em comparação com outros metais nobres como ouro, platina e a prata, o Cu se destaca por ser um material muito mais abundante na crosta terrestre que os outros metais mencionados; sendo que seu valor comercial é muitíssimo menor. Além disso, por se localizar no mesmo grupo da tabela periódica que o ouro e a prata, o Cu tem propriedades de configuração eletrônica e de estrutura atômica muito semelhantes (JANCZAREK *et al.*, 2017).

Processos fotocatalíticos realizados com semicondutores originais acabam exibindo algumas limitações como a recombinação eletrônica do par elétron-lacuna fotogerado, e também a baixa absorção de radiação do espectro solar. A incorporação de espécies capazes de promover a separação de cargas pode resultar na melhoria da eficiência do sistema fotocatalítico. Por exemplo, uma estratégia bem aceita para superar as deficiências do TiO<sub>2</sub> quanto a não ativação sobre luz visível é através da sensibilização deste semicondutor com um dopante ou fotocatalisador de banda estreita para a construção de heteroestruturas. A adição de cobre já é uma alternativa utilizada para vencer as características do TiO<sub>2</sub> puro de absorção apenas da radiação UV (*band gap* 3.0 – 3.2 eV), e alta recombinação eletrônica (CLARIZIA *et al.*, 2014; JANCZAREK *et al.*, 2017). Uma vez que o co-catalisador se encontra na superfície do semicondutor, acredita-se que a estrutura formada atua como uma armadilha de elétrons, diminuindo significativamente a reação indesejada de recombinação entre o par elétron-lacuna fotogerado (CLARIZIA *et al.*, 2014). A reação de recombinação eletrônica na superfície do TiO<sub>2</sub> é responsável pela diminuição da sua eficiência fotocatalítica, pois uma vez recombinados, essas cargas não estarão mais disponíveis para reação, desfavorecendo cineticamente as reações de redução da água ou de protonação iônica.

Logo, a importância da utilização de co-catalisadores surge através do favorecimento das etapas reacionais de oxidação/redução, onde eles atuam diretamente como sítios catalíticos para essas reações, ou então promovendo o transporte e a separação efetiva de cargas (CLARIZIA *et al.*, 2014).

Segundo MOR *et al.* (2008) a sensibilização de catalisadores de TiO<sub>2</sub> do tipo *n* com

materiais ativos do tipo  $p$ , tais como Pt, Cu, CuInSe<sub>2</sub> ou Cu<sub>2</sub>O é uma forma eficiente de fabricar catalisadores à base de TiO<sub>2</sub> com absorção prolongada na atividade fotocatalítica no espectro visível. A separação dos pares fotoinduzidos de lacunas-eletrons ( $h$ - $e$ ) pode ser acelerada pela diferença de potencial na interface  $p$ - $n$  da heterojunção. Além disso, o semiconductor dopado com abertura de banda estreita pode facilitar a absorção no visível. O Cu<sub>2</sub>O com band gap de 2.0 eV é não tóxico e relativamente barato devido à abundância natural de cobre na natureza. A banda de condução (CB) e a banda de valência (VB) de Cu<sub>2</sub>O situa-se acima das de TiO<sub>2</sub> (HALIALILOU *et al.*, 2021), facilitando a separação dos pares  $h$ - $e$  ao mesmo tempo. Contudo, os nanomateriais de TiO<sub>2</sub> sensibilizados com Cu<sub>2</sub>O relatados na literatura não podem oferecer uma morfologia controlável ou arquiteturas  $p$ - $n$  heterojuncionais bem concebidas (QIAN *et al.*, 2016). Dessa forma, continua a ser um desafio fabricar heterojunções na forma bulk. Com a promessa de que as matrizes de nanotubos de TiO<sub>2</sub> podem fornecer um ambiente heterogéneo durante o processo electroquímico para o crescimento do cristal devido à estrutura física uniforme. YANG *et al.* (2010) incorporou com sucesso nanofios ultrafinos de Cu<sub>2</sub>O na superfície superior e nanopartículas compactas de Cu<sub>2</sub>O nas paredes internas dos TiO<sub>2</sub> NTs, empregando uma técnica simples de anodização up/down para oxidar os TiO<sub>2</sub> NTs de Cu<sub>0</sub> carregados. O catalisador de heterojunção Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> *bulk* resultante foi composto por duas formas condutoras de carga, Rede de Cu<sub>2</sub>O para lacunas e TiO<sub>2</sub> NTs para electrons. No trabalho, os autores perceberam uma melhora na atividade fotocatalítica na degradação do contaminante  $p$ -nitrofenol, sendo resultado superior em duas vezes superior ao NTs de TiO<sub>2</sub> puros.

Em trabalhos anteriores, como de XU *et al.* (2016) que demonstrou que TiO<sub>2</sub> modificado com nanopartículas Cu<sub>2</sub>O pode expandir significativamente a sua gama de espectros de absorção. Contudo, a baixa área interfacial entre diferentes semicondutores influencia diretamente a eficiência de separação dos elétrons lacunas fotogerados, onde a melhora da área interfacial de heterocompostos pode se tornar uma forma viável de melhorar ainda mais a eficiência de conversão fotocatalítica

Assim o grafeno apresenta uma excelente função de ligação para diferentes nanopartículas semicondutoras, o que facilita o seu contacto interfacial e a transmissão dos pares eletrônicos fotogerados (FAN *et al.*, 2016). No entanto, é difícil fazer com que o grafeno se disperse bem na água devido à sua hidrofobicidade superficial, pelo que o grafeno raramente tem sido utilizado na preparação de material composto, especialmente em solução aquosa. O óxido de grafeno (GO) com ricos grupos hidrofílicos suscitou preocupação na síntese de materiais compostos pela sua elevada dispersão em água, o que oferece uma oportunidade para a fabricação de heteroestruturas baseadas em GO (BABU *et al.*, 2019). Embora a condutividade de GO seja relativamente má, o óxido de grafeno reduzido (RGO) como estado intermédio entre o grafeno e GO tem as mesmas propriedades com o grafeno, o que confere ao RGO uma ampla aplicação (TOH *et al.*, 2014). Dessa forma, a introdução de compostos de cobre e RGO pode quebrar a limitação

de  $\text{TiO}_2$ , assim como estruturas de  $\text{TiO}_2\text{-Cu}$ , seja para a produção de hidrogênio por quebra da molécula de água, assim como fotoredução de  $\text{CO}_2$ .

## REFERENCIAS

AHMED, Jahangeer *et al.* rGO supported  $\text{NiWO}_4$  nanocomposites for hydrogen evolution reactions. **Materials Letters**, v. 240, p. 51-54, 2019.

ALAM, Syed Nasimul; SHARMA, Nidhi; KUMAR, Lailesh. Synthesis of graphene oxide (GO) by modified hummers method and its thermal reduction to obtain reduced graphene oxide (rGO). **Graphene**, v. 6, n. 1, p. 1-18, 2017.

AUNKOR, M. T. H. *et al.* The green reduction of graphene oxide. **Rsc Advances**, v. 6, n. 33, p. 27807-27828, 2016.

BABU, Sundaram Ganesh *et al.* Synergistic effect of sono-photocatalytic process for the degradation of organic pollutants using  $\text{CuO-TiO}_2/\text{rGO}$ . **Ultrasonics sonochemistry**, v. 50, p. 218-223, 2019.

CLARIZIA, Laura *et al.* Copper modified- $\text{TiO}_2$  catalysts for hydrogen generation through photoreforming of organics. A short review. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 39, n. 30, p. 16812-16831, 2014.

DU, Xu *et al.* Approaching ballistic transport in suspended graphene. **Nature nanotechnology**, v. 3, n. 8, p. 491-495, 2008.

EDWARDS, Rebecca S.; COLEMAN, Karl S. Graphene synthesis: relationship to applications. **Nanoscale**, v. 5, n. 1, p. 38-51, 2013.

FAN, Weiqiang *et al.* Fabrication of  $\text{TiO}_2/\text{rGO}/\text{Cu}_2\text{O}$  heterostructure for photoelectrochemical hydrogen production. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 181, p. 7-15, 2016.

FERNÁNDEZ-MERINO, María Jesús *et al.* Vitamin C is an ideal substitute for hydrazine in the reduction of graphene oxide suspensions. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 114, n. 14, p. 6426-6432, 2010.

GAO, Xingfa; JANG, Joonkyung; NAGASE, Shigeru. Hydrazine and thermal reduction of graphene oxide: reaction mechanisms, product structures, and reaction design. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 114, n. 2, p. 832-842, 2010.

GUO, Xiaoning *et al.* Copper nanoparticles on graphene support: an efficient photocatalyst for coupling of nitroaromatics in visible light. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 53, n. 7, p. 1973-1977, 2014.

HAJIALILOU, E.; ASGHARZADEH, H.; ASL, Sh Khameneh.  $\text{TiO}_2/\text{rGO}/\text{Cu}_2\text{O}$  ternary hybrid for high-performance photoelectrochemical applications. **Applied Surface Science**, v. 544, p. 148832, 2021.

HUMMERS, J. R., & OFFEMAN, R. E. Preparation of graphitic oxide. *J. Am. Chem. Soc.*, 80(6), 1339-1339, 1958).

JANCZAREK, Marcin; KOWALSKA, Ewa. On the origin of enhanced photocatalytic activity of copper-modified titania in the oxidative reaction systems. **Catalysts**, v. 7, n. 11, p. 317, 2017.

KIM, Young-Kwan; KIM, Mi-Hee; MIN, Dal-Hee. Biocompatible reduced graphene oxide prepared by using dextran as a multifunctional reducing agent. **Chemical communications**, v. 47, n. 11, p. 3195-3197, 2011.

KUMAR, Sumeet *et al.* Onion juice assisted green reduction of graphene oxide with tunable structural and optical properties: effect of onion juice concentration and reaction temperature. **Adv. Mater. Lett.**, v. 10, n. 1, 2019.

LEE, Changgu *et al.* Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene. **science**, v. 321, n. 5887, p. 385-388, 2008.

LEO, I. Murillo *et al.* Influence of the reduction of graphene oxide (rGO) on the structure and photoactivity of CdS-rGO hybrid systems. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 42, n. 19, p. 13691-13703, 2017.

LI, Bo; YU, Aimin; LAI, Guosong. Self-assembly of phenoxy-dextran on electrochemically reduced graphene oxide for nonenzymatic biosensing of glucose. **Carbon**, v. 127, p. 202-208, 2018.

LONKAR, Sunil P.; PILLAI, Vishnu; ABDALA, Ahmed. Solvent-free synthesis of ZnO-graphene nanocomposite with superior photocatalytic activity. **Applied Surface Science**, v. 465, p. 1107-1113, 2019.

MEHL, Hiany *et al.* Efeito da variação de parâmetros reacionais na preparação de grafeno via oxidação e redução do grafite. **Química Nova**, v. 37, p. 1639-1645, 2014.

MOR, Gopal K. *et al.* p-Type Cu–Ti–O nanotube arrays and their use in self-biased heterojunction photoelectrochemical diodes for hydrogen generation. **Nano Letters**, v. 8, n. 7, p. 1906-1911, 2008.

NAIR, Rahul Raveendran *et al.* Fine structure constant defines visual transparency of graphene. **Science**, v. 320, n. 5881, p. 1308-1308, 2008.

NOVOSELOV, Kostya S. *et al.* Electric field effect in atomically thin carbon films. **science**, v. 306, n. 5696, p. 666-669, 2004.

OPOKU, Francis *et al.* Recent progress in the development of semiconductor-based photocatalyst materials for applications in photocatalytic water splitting and degradation of pollutants. **Advanced Sustainable Systems**, v. 1, n. 7, p. 1700006, 2017.

PARIA, S., & Reiser, O. Copper in photocatalysis. *ChemCatChem*, 6(9), 2477–2483. doi: 10.1002/cctc.201402237, 2014.

PHAM, Tuan Anh *et al.* One-step reduction of graphene oxide with L-glutathione. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 384, n. 1-3, p. 543-548, 2011.

QIAN, Yajie *et al.* Perfluorooctanoic acid degradation using UV–persulfate process: modeling of the degradation and chlorate formation. **Environmental science & technology**, v. 50, n. 2, p. 772-781, 2016.

QIU, Yang *et al.* Explosive thermal reduction of graphene oxide-based materials: mechanism and safety implications. **Carbon**, v. 72, p. 215-223, 2014.

RAMESHA, Ganganahalli K.; SAMPATH, Srinivasan. Electrochemical reduction of oriented graphene oxide films: an in situ Raman spectroelectrochemical study. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 113, n. 19, p. 7985-7989, 2009.

ROMERO, A. *et al.* Comparative study of different scalable routes to synthesize graphene oxide and reduced graphene oxide. **Materials Chemistry and Physics**, v. 203, p. 284-292, 2018.

SALEEM, Hareema; HANEEF, Mobeen; ABBASI, Hina Y. Synthesis route of reduced graphene oxide via thermal reduction of chemically exfoliated graphene oxide. **Materials Chemistry and Physics**, v. 204, p. 1-7, 2018.

SHAO, Yuyan *et al.* Facile and controllable electrochemical reduction of graphene oxide and its applications. **Journal of Materials Chemistry**, v. 20, n. 4, p. 743-748, 2010.

SHI, Ya-Cheng *et al.* One-step hydrothermal synthesis of three-dimensional nitrogen-doped reduced graphene oxide hydrogels anchored PtPd alloyed nanoparticles for ethylene glycol oxidation and hydrogen evolution reactions. **Electrochimica Acta**, v. 293, p. 504-513, 2019.

SHINDE, Yogesh *et al.* Decoration of Pt on the metal free RGO-TiO<sub>2</sub> composite photocatalyst for the enhanced photocatalytic hydrogen evolution and photocatalytic degradation of pharmaceutical pollutant  $\beta$  blocker. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 43, n. 8, p. 4015-4027, 2018.

SURESH, D. *et al.* Clove extract mediated facile green reduction of graphene oxide, its dye elimination and antioxidant properties. **Materials Letters**, v. 142, p. 4-6, 2015.

TAN, Hui Ling *et al.* Decorating platinum on nitrogen-doped graphene sheets: control of the platinum particle size distribution for improved photocatalytic H<sub>2</sub> generation. **Chemical Engineering Science**, v. 194, p. 85-93, 2019.

THAKUR, Suman; KARAK, Niranjan. Alternative methods and nature-based reagents for the reduction of graphene oxide: A review. **Carbon**, v. 94, p. 224-242, 2015.

TOH, Shaw Yong *et al.* Graphene production via electrochemical reduction of graphene oxide: synthesis and characterisation. **Chemical Engineering Journal**, v. 251, p. 422-434, 2014.

VOIRY, Damien *et al.* High-quality graphene via microwave reduction of solution-exfoliated graphene oxide. **Science**, v. 353, n. 6306, p. 1413-1416, 2016.

WANG, Jiabin; SALIHI, Elif Caliskan; ŠILLER, Lidija. Green reduction of graphene oxide using alanine. **Materials Science and Engineering: C**, v. 72, p. 1-6, 2017.

XU, Pingfan *et al.* Z-Schemed WO<sub>3</sub>/rGO/SnIn<sub>4</sub>S<sub>8</sub> sandwich nanohybrids for efficient visible light photocatalytic water purification. **Catalysts**, v. 9, n. 2, p. 187, 2019.

XU, Xu *et al.* Synthesis of Cu<sub>2</sub>O octadecahedron/TiO<sub>2</sub> quantum dot heterojunctions with high visible light photocatalytic activity and high stability. **ACS applied materials & interfaces**, v. 8, n. 1, p. 91-101, 2016.

YAMAGUCHI, Natália Ueda; BERGAMASCO, Rosângela; HAMOUDI, Safia. Magnetic  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ -graphene hybrid composite for efficient removal of glyphosate from water. **Chemical Engineering Journal**, v. 295, p. 391-402, 2016.

YANG, Min-Quan; XU, Yi-Jun. Basic principles for observing the photosensitizer role of graphene in the graphene-semiconductor composite photocatalyst from a case study on graphene-ZnO. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 117, n. 42, p. 21724-21734, 2013.

YE, Lin *et al.* Facile one-pot solvothermal method to synthesize sheet-on-sheet reduced graphene oxide (rGO)/ $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  nanocomposites with superior photocatalytic performance. **ACS applied materials & interfaces**, v. 6, n. 5, p. 3483-3490, 2014.

YU, Xin *et al.* Microwave-assisted hydrothermal synthesis of  $\text{Sn}_3\text{O}_4$  nanosheet/rGO planar heterostructure for efficient photocatalytic hydrogen generation. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 227, p. 470-476, 2018.

ZARBIN, Aldo JG; OLIVEIRA, Marcela M. Nanoestruturas de carbono (nanotubos, grafeno): Quo Vadis. **Química Nova**, v. 36, n. 10, p. 1533-1539, 2013.

ZHU, Rongshu *et al.* Z scheme system  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4/\text{rGO}/\text{BiVO}_4$  for hydrogen generation from water splitting and simultaneous degradation of organic pollutants under visible light. **Renewable Energy**, v. 139, p. 22-27, 2019.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adsorbent 78, 85, 88

Adsorption 2, 85, 88, 98, 108

Advanced Oxidative Processes (AOPs) 102

Agro-industrial waste 88

Anti-inflammatory 17

Aqueous matrices 2, 100, 103, 105, 112

### B

Bacterium 100, 108, 109, 110, 111

Bioactive 12

Biodiesel 2, 3, 37, 38, 39, 48

### C

Cadmium 2, 51

Cheese 51

Contaminants of Emerging Concern (CEC) 101

Copper 2, 26, 33, 34, 51, 83, 88

### D

Detection Limit 100, 106

### E

Essential oil 2, 2

Esters 2, 37, 49, 50

### F

Fermentation 63, 76, 77

Fibers 2

Fracking gas 2, 4, 78, 79

### G

Gibbs free energy 37, 38

Graphite oxide 25

### H

Heavy metals 88



Hydrosphere 79

## **K**

Kombucha 2, 4, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 73, 74, 75, 76, 77

## **L**

Lead 2, 51, 81, 82

Lithosphere 79

## **M**

Meloidogyne javanica 2, 3, 1, 2, 5, 6, 7, 10, 11

Mercury 2, 51

Metallic ions 2

Mineralization 100, 105, 107, 110, 111, 112

## **N**

Nematicidal activity 2, 2

Nematodes 2

Nickel 2, 51

## **O**

Organic matter 102, 108, 110, 111

## **P**

Pharmaceuticals 4, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 112

Photocatalysis 4, 25, 34, 100, 103, 105, 111, 112, 113

Photocatalyst 33, 34, 35, 36, 106, 107, 108, 109, 110

Photolysis 2, 4, 100, 103, 106, 107, 109, 111

Photonic microscope 2

Photosystems 26

Probiotics 63, 76

Pyrolysis 88, 99

## **Q**

Quantum chemistry 37, 38

## **R**

River Water (RW) 103

## **S**

Soil 2, 4, 78

Solar photolysis 2, 106, 107, 109

Solar radiation 4, 100, 103, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 113

Solar spectrum 25

## **T**

Thermodynamic properties 2, 37, 50

Toxicity 76, 78, 81, 86, 100, 105, 108, 109, 110, 111, 112

Triterpenoids 12

## **U**

UV-Vis spectrophotometry 2, 51





## **V**

Vibrio fischeri 100, 105, 108, 109, 110, 111

## **W**

Wastewater 2, 88, 103, 104, 112

Water 2, 4, 34, 35, 36, 78, 79, 80, 81, 84, 85, 86, 88, 100, 101, 102, 103, 104, 107, 110, 111, 112, 113

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 @atenaeditora  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)




---

*Collection:*

# APPLIED CHEMICAL ENGINEERING

---

  
Ano 2022

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 @atenaeditora  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

*Collection:*

# APPLIED CHEMICAL ENGINEERING

  
Ano 2022