

NANOCIÊNCIAS E NANOTECNOLOGIA:

Pesquisa e Aplicações

Juan Ramón Collet-Lacoste
(Organizador)



**EDITORIA
ARTEMIS**

2022

NANOCIÊNCIAS E NANOTECNOLOGIA:

Pesquisa e Aplicações

Juan Ramón Collet-Lacoste
(Organizador)



**EDITORIA
ARTEMIS**

2022



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Editora Chefe	Prof. ^a Dr. ^a Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M. ^a Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M. ^a Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizador	Prof. Dr. Juan Ramón Collet-Lacoste
Imagem da Capa	Liuzishan/123RF
Bibliotecária	Janaina Ramos – CRB-8/9166

Conselho Editorial

Prof.^a Dr.^a Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”*, Cuba
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.^a Dr.^a Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.^a Dr.^a Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México
Prof.^a Dr.^a Cláudia Padovesi Fonseca, Universidade de Brasília-DF
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão
Prof.^a Dr.^a Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará
Prof.^a Dr.^a Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, Universidade de São Paulo
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima, Brasil



Prof.ª Dr.ª Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México
Prof.ª Dr.ª Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca*, Espanha
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República*, Uruguay
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara*, México
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
Prof.ª Dr.ª Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnico da Guarda, Portugal
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil
Prof.ª Dr.ª Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura*, Peru
Prof.ª Dr.ª Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío*, Chile
Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College*, Estados Unidos
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha
Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros, Brasil
Prof. Dr. José Cortez Godínez, Universidad Autónoma de Baja California, México
Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, Instituto Politécnico Nacional, México
Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha
Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia
Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, México
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof.ª Dr.ª Lívia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil
Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil
Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, Universidad Nacional Autónoma de México, México
Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodríguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil
Prof.ª Dr.ª Mar Garrido Román, *Universidad de Granada*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil
Prof.ª Dr.ª Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraíva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil
Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal

Prof.^a Dr.^a Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana*, Cuba
Prof.^a Dr.^a Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof.^a Dr.^a Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil
Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru
Prof.^a Dr.^a Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof.^a Dr.^a Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof.^a Dr.^a Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
Prof.^a Dr.^a Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo (USP), Brasil
Prof.^a Dr.^a Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal
Prof.^a Dr.^a Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal
Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil
Prof.^a Dr.^a Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
Prof.^a Dr.^a Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*, Colômbia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

N186 Nanociências e nanotecnologia: pesquisa e aplicações /
Organizador Juan Ramón Collet-Lacoste. – Curitiba-
PR: Artemis, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-87396-66-8

DOI 10.37572/EdArt_290822668

1. Nanociência. 2. Nanotecnologia. 3. Pesquisa. I.
Collet-Lacoste, Juan Ramón (Organizador). II. Título.

CDD 620.5

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166



PRÓLOGO

Las propiedades particulares de las Nps, muy diferentes en muchos aspectos a las de sus sólidos masivos, han abierto nuevos campos de estudio e investigación a todo nivel: teóricos y aplicados. Son más inestables que los sólidos masivos de los que se diferencian principalmente por su estructura electrónica que no suele ser continua. Esto es una ventaja a nivel de su reactividad y suelen presentar superficies específicas altas que son muy propicias para los procesos de catálisis, un ingrediente muy importante en los procesos cinéticos. Otra propiedad interesante es que no presentan defectos estructurales en su volumen como vacancias o dislocaciones, a diferencia de sus correspondientes sólidos masivos.

Las presentes monografías forman parte del título: “Nanociências e Nanotecnologia: Pesquisa e Aplicações”. Los artículos están ordenados de lo más general (e.g., producción y caracterización de las Nps) a los relacionados con aplicaciones prácticas (e.g., foto catálisis y a su relación principalmente con aplicaciones de origen biológico).

Estos muestran la potencialidad de las nanotecnologías en la comprensión de nuevas aplicaciones en campos tan variados como la catálisis, fotocátalisis, bio-remediación, contaminantes, ambientes acuáticos, antisépticos, bactericidas, virucidas, compuestos bio-activos, biosíntesis extracelular e intracelular, estudio de suelos, vegetales y probióticos, etc.

Juan Ramón Collet-Lacoste

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

THE FOLLOWING NEW CONSIDERATIONS ON THE FINKE CHEMICAL MECHANISM OF NANOPARTICLE SYNTHESIS FOR TRANSITION METALS

Juan Ramón Collet-Lacoste

Jorge Javier Acosta

Pablo César Favilla

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2908226681

CAPÍTULO 2.....28

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE NANOESTRUTURAS DE $Ce_{1-x}Pr_xO_2$

Ana Cristina Tolentino Cabral

Isabela Cristina Fernandes Vaz

Francisco Moura Filho

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2908226682

CAPÍTULO 3..... 39

SÍNTESE E SEPARAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA USANDO POLIVINILPIRROLIDONA EM DIMETILFORMAMIDA

Celly Mieko Shinohara Izumi

Beatriz Rocha de Moraes

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2908226683

CAPÍTULO 4..... 49

REDUÇÃO DO ÓXIDO DE GRAFENO VIA RADIAÇÃO IONIZANTE

Solange Kazumi Sakata

Raynara Maria Silva Jacovone

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2908226684

CAPÍTULO 5..... 61

APLICAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS METÁLICAS E BIMETÁLICAS EM FOTOCATÁLISE

Luelc Souza da Costa

Rômulo Batista Vieira

Diego Rodrigues de Carvalho

Elayne Valério Carvalho

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2908226685

CAPÍTULO 6.....87

COMPLEX OXIDATION OF TMB CATALYZED WITH PEROXIDASE-LIKE AU NANOPARTICLES

Zhiming Liu

Wenjian Wu

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2908226686

CAPÍTULO 7..... 98

USE OF NANOPARTICLES IN THE DEGRADATION OF CONTAMINANTS IN AQUATIC ENVIRONMENTS

Janet Jan-Roblero

Juan A. Cruz-Maya

Axel A. Treviño-Trejo

Oliver Navarrete-Godínez

Hugo A. Álvarez-Hernández

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2908226687

CAPÍTULO 8..... 108

SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE SULFURO DE CADMIO MEDIANTE UN SISTEMA ACUOSO DE BIOMASA FÚNGICA

Norma Gabriela Rojas Avelizapa

María Oliva Hernández Jiménez

Luz Irene Rojas Avelizapa

Héctor Paul Reyes Pool

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2908226688

CAPÍTULO 9..... 116

ESTUDIO DE LAS NANOPARTÍCULAS DE SULFURO DE CADMIO OBTENIDAS A PARTIR DE BIOMASA Y EXTRACTOS FÚNGICOS DE *Fusarium oxysporum*

Diana Alexandra Calvo Olvera

José Daniel Aguilar Loa

Norma Gabriela Rojas Avelizapa

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2908226689

CAPÍTULO 10.....126

ELABORATION OF AN ANTISEPTIC GEL BASED ON BIOACTIVE COMPOUNDS OF *ORIGANUM VULGARE* AND *ALOE VERA* ENCAPSULATED IN SiO₂ Y ZnO-SnO₂ NANOPARTICLES FOR CONTROLLED RELEASE

Guadalupe Luna Cedillo

Francisco Javier Tzompantzi Morales

Sandra Luz Hernández Valladolid

Juan Manuel Padilla Flores

 https://doi.org/10.37572/EdArt_29082266810

CAPÍTULO 11.....135

Bacillus thuringiensis AND *Micromonospora echinospora* IN *Lactuca sativa* OPTIMIZE NITROGENOUS FERTILIZER WITH A CRUDE EXTRACT OF CARBON NANOPARTICLES

Juan Luis Ignacio-De la Cruz

Juan Manuel Sánchez-Yañez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_29082266811

SOBRE EL ORGANIZADOR.....143

ÍNDICE REMISSIVO 144

CAPÍTULO 4

REDUÇÃO DO ÓXIDO DE GRAFENO VIA RADIAÇÃO IONIZANTE

Data de submissão: 12/06/2022

Data de aceite: 28/06/2022

Solange Kazumi Sakata

Instituto de Pesquisas Energéticas e
Nucleares - IPEN
São Paulo, SP

<http://lattes.cnpq.br/7715634436402530>

Raynara Maria Silva Jacovone

Instituto de Pesquisas Energéticas e
Nucleares - IPEN
São Paulo, SP

<http://lattes.cnpq.br/4364307348552912>

RESUMO: A radiação ionizante, o que inclui a radiação gama e feixe de elétrons, é considerada como “síntese verde” e “ambientalmente amigável” e vem se destacando como uma promissora rota sintética para obter óxido de grafeno reduzido. Essas reações ocorrem em meio aquoso, a temperatura e pressão ambiente, sem o uso de redutores tóxicos e geração de resíduos químicos tóxicos. Neste capítulo é apresentado uma compilação de estudos sobre redução do óxido de grafeno via radiação ionizante reportados na literatura na última década. A redução parcial do óxido de grafeno produz óxido de grafeno reduzido (rOG), um nanomaterial que combina as propriedades do grafeno e do óxido de grafeno: uma excelente condutividade elétrica e térmica e os demais grupos de oxigênio que permitem sua funcionalização. Na literatura,

são descritas diversas rotas sintéticas para produzir rOG: por método químico, térmico, eletroquímico, radiação não ionizante e biocatalíticas. Ionizing radiation, which includes gamma radiation and electron beam, is regarded.

PALAVRAS CHAVE: Óxido de grafeno reduzido. Radiação ionizante. Radiação gama. Feixe de elétrons.

REDUCED GRAPHENE OXIDE VIA IONIZING RADIATION

ABSTRACT: Ionizing radiation, which includes gamma radiation and electron beam, is regarded as “environmentally friendly” and has become a promising synthetic route to obtain reduced graphene oxide (rGO). The reaction occurs in an aqueous medium, without using toxic chemicals nor generating hazardous wastes at room temperature and pressure. Partial reduction of graphene oxide leads to the reduced graphene oxide, a nanomaterial that combines both properties of graphene and graphene oxide: an excellent electrical and thermal conductivity and remaining oxygen groups that allow its functionalization. Different synthetic reduction routes have been reported to obtain rGO, such as thermal, electrochemical, biological and the traditional chemical reduction. This chapter presents a compilation of studies regarding the reduction of graphene oxide via ionizing radiation reported in literature the last decade.

KEYWORDS: Reduced graphene oxide. Ionizing radiation. Gamma radiation. Electron beam.

1 GRAFENO

O grafeno é constituído de uma folha plana bidimensional de átomos de carbono com hibridização sp^2 , dispostos em anéis hexagonais (PAPAGEORGIU et al., 2017). Assim como o diamante, a grafita, os nanotubos e o fulereno, o grafeno é também um alótropo do carbono.

O grafeno possui excelentes propriedades físico-químicas como extrema rigidez, alta mobilidade de elétrons em temperatura ambiente ($250.000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$), alto módulo de elasticidade ($\sim 1\text{TPa}$), excelente condutividade elétrica ($64 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) e térmica ($5.000\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$), uma grande área superficial específica ($\sim 2600\text{m}^2\text{g}^{-1}$ por monocamada), estabilidade química e excelente transparência óptica (97,3%) (PAPAGEORGIU et al., 2017; YE et al., 2017).

Essas propriedades conferem ao nanomaterial uma grande aplicabilidade em diversas áreas, como na produção de sensores, eletrodos para capacitores, baterias, células solares, entre outros (PATEL et al., 2019; YANG et al., 2020).

O potencial desse nanomaterial pode ser ampliado por meio da sua funcionalização, o que o torna precursor da síntese de novos materiais, como os nanocompósitos condutores. No entanto, não é possível funcionalizar folhas de grafeno, devido a ausência de grupos funcionais oxigenados em sua superfície. Nanomateriais derivados do grafeno como, o óxido de grafeno (OG) e o óxido de grafeno reduzido (rOG), são mais comumente utilizados e apresentam propriedades semelhantes ao grafeno além de grupos oxigenados que permite um certo grau de solubilidade em solventes polares (MOHAN et al., 2018).

2 ÓXIDO DE GRAFENO – OG

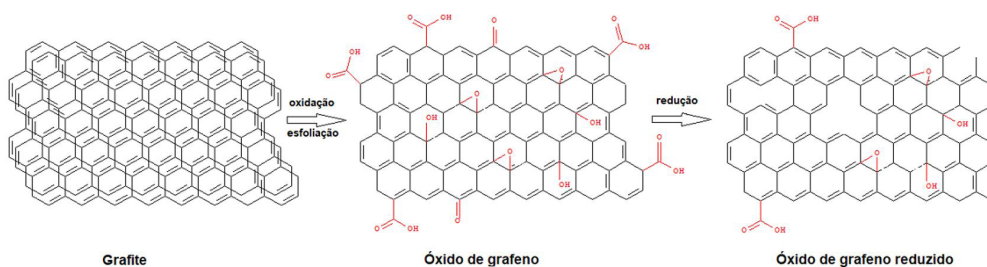
O óxido de grafeno possui estrutura semelhante ao grafeno, porém, contém grupos hidroxilas, epóxi, carbonilas e carboxilas em sua superfície. Esses grupos funcionais oxigenados conferem ao nanomaterial vantagens sobre o grafeno, como maior grau solubilidade e sítios reativos que podem ser posteriormente funcionalizados. Por outro lado, esses grupos geram defeitos estruturais que afetam propriedades como a condutividade elétrica, limitando a utilização de OG na área eletrônica (TARCAN et al., 2020).

O óxido de grafeno é obtido pela esfoliação do óxido de grafite e este, por sua vez é resultado da reação de oxidação do grafite com agentes oxidantes fortes, como descrito por STAUDENMAIER (1989) e HUMMERS e OFFEMAN (1958).

3 ÓXIDO DE GRAFENO REDUZIDO – rOG

A redução completa do óxido de grafeno gera o grafeno, mas quando esta redução é parcial, obtém-se o óxido de grafeno reduzido (figura 1). Uma das vantagens deste nanomaterial é apresentar propriedades intermediárias ao grafeno, como excelente condutividade elétrica, e ao óxido de grafeno, como hidrofiliicidade, por contém grupos funcionais oxigenados residuais após o processo de redução. Além disso, a síntese do rOG é mais barata e fácil quando comparada a síntese de grafeno (TARCAN et al., 2020).

Figura 1 – Obtenção do oxido de grafeno reduzido a partir do grafite.



O óxido de grafeno pode ser obtido a partir do grafite, por meio de diversas rotas sintéticas, por exemplo, químico, eletroquímico, fotoquímico, entre outros. É importante destacar que, diferentes métodos de redução resulta em diferentes qualidades de rOG, e conseqüentemente, em diferentes propriedades, que dependem do grau de redução obtido em cada método distinto (PEI; CHENG, 2012).

3.1 SÍNTESE DO rOG – MÉTODOS CONVENCIONAIS

A síntese química do rOG é um método amplamente utilizado pela comunidade científica. Este processo é mais econômico que os demais e ocorre em condições mais brandas, entretanto, requer o uso de reagentes redutores tóxico ou perigoso, como é o caso do boro hidreto de sódio e hidrazina (STANKOVICH et al. 2006, MUSZYNSKI; SEGER & KAMAT 2008; JOSE et al., 2018).

Outros processos não utilizam redutores tóxicos, por exemplo, o ácido ascórbico e citrato de sódio, apesar da eficiência destes reagentes o tempo de reação é longo, o que inviabiliza a sua utilização (VINH et al., 2019). Alternativas mais sustentáveis estão sendo investigadas como extratos de plantas (ISMAIL, 2019), aminoácidos (DUAN et al., 2019) e micro-organismos (VIRDIS; DENNIS, 2017), entre outros. Embora esses biorredutores sejam uma opção bastante atrativa, esses métodos possuem algumas desvantagens, como baixo rendimento e um longo tempo de reação.

A redução do OG via redução térmica não requer o uso de reagentes químicos (BAGRI et al., 2010). Consiste em submeter o OG a um ambiente com atmosfera inerte e altas temperaturas. A redução térmica do OG é uma eficaz via de obtenção do rOG, porém, o uso de altas temperaturas e pressão implica em grande consumo de energia e condições críticas de operação. Além disso, o controle da temperatura no processo é algo crucial, uma vez que um aquecimento muito rápido leva a uma brusca expansão da estrutura do material e um aquecimento muito lento, torna o processo muito longo e, portanto, inviável (PEI; CHENG, 2012; QIU et al., 2014).

Outra rota de obtenção para o rOG é pela síntese eletroquímica, que consiste na redução das folhas de OG pela troca de elétrons entre o nanomaterial e os eletrodos. Embora essa rota demonstre ser eficaz e ambientalmente atraente, por não utilizar redutor químico tóxico e ocorrer em condições brandas, a redução eletroquímica possui a limitação da escalabilidade do processo. (DREYER et al., 2010).

O óxido de grafeno reduzido também pode ser sintetizado via radiação não ionizante, o que abrange irradiação por micro-ondas e foto redução. A grande vantagem da rota por micro-ondas comparada ao tratamento térmico convencional é a rapidez e homogeneidade do aquecimento, a reação pode ser realizada em um micro-ondas comercial em apenas 1 minuto (PEI; CHENG, 2012, ZHU et al., 2010).

O método por foto redução, por sua vez, consiste em submeter o OG a uma fonte de luz, que pode ser um laser ou uma lâmpada UV. PARK; KIM (2015) sintetizaram rOG expondo filmes de OG a uma lâmpada de xenônio e observaram que o tratamento promoveu uma expressiva diminuição no valor da resistividade do nanomaterial, demonstrando a eficácia deste método.

Assim como o processo eletroquímico, a foto redução se destaca por ser um processo mais controlado, ambientalmente amigável e prático, porém processo tem como desvantagem a necessidade de uma grande área de operação para execução em larga escala.

3.2 SÍNTESE DE rOG - RADIAÇÃO IONIZANTE

A radiação ionizante, o que inclui a radiação gama e feixe de elétrons, é considerada por alguns pesquisadores como “síntese verde” e “ambientalmente amigável” e vem se destacando como uma promissora rota sintética para obter óxido de grafeno reduzido. Essas reações ocorrem em meio aquoso, a temperatura e pressão ambiente, sem o uso de redutores químico, sem a geração de resíduos químicos tóxicos e formação de subprodutos indesejáveis (KANG et al., 2015; HONG; JUNG; KIM, 2019).

Um compilado de estudos referente ao uso da radiação gama e feixe de elétrons para a síntese do óxido de grafeno reduzido será apresentado a seguir, entretanto, um breve resumo acerca da radiação ionizante e seus aspectos inerentes são necessários para melhor entendimento.

3.2.1 Radiação Ionizante

As radiações ionizantes são aquelas cujas partículas ou fótons possuem energia suficiente para remover um elétron de um átomo ou molécula. A radiação ionizante, ao interagir com a matéria, transfere energia para os átomos da mesma. O diferencial (ou o quociente diferencial) da energia depositada pela radiação por unidade de massa é denominada dose absorvida, cuja unidade de medida é o gray (Gy). Numericamente, 1 Gy equivale à energia de 1 J depositada numa massa de um 1 kg. A taxa de dose (D) é definida pela diferencial da dose absorvida por unidade de tempo, cuja unidade de medida no sistema internacional é Gy. s⁻¹ (SANTOS, 2017).

As principais fontes de radiação ionizante utilizadas na indústria são as de feixe de elétrons e de raios gama. Os elétrons, gerado em aceleradores, são partículas que possuem massa (~ 9,109x10⁻²⁸ g) e carga elétrica negativa, e devido à forte repulsão coulombiana entre os elétrons gerados pelo acelerador e os elétrons dos orbitais dos átomos que compõe a amostra irradiada, o poder de penetração é muito pequeno, da ordem de mm, dependendo da densidade do material irradiado.

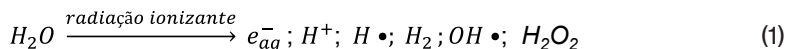
Os raios gama são ondas eletromagnéticas (fótons) de alta energia, sem massa e sem carga elétrica. Os irradiadores de raios gama produzem radiação devido ao decaimento natural de radioisótopos, como, o ⁶⁰Co e ¹³⁷Cs. As fontes de ⁶⁰Co são as mais utilizadas e produzem raios gama com energia entre 1,17 a 1,33 MeV, o que implica em uma taxa de dose muito baixa e, portanto, os raios gama apresentam um grande poder de penetração, na ordem de cm.

Os mecanismos de interações destas duas fontes de radiação com a matéria são semelhantes. A grande diferença é o poder de penetração, sendo que para os raios gama a penetração é maior que o do feixe de elétrons (OKUNO, 2018).

3.2.1.1 Processo da radiólise

A radiólise da água é definida como a alteração da composição e dos níveis de energia, provenientes dos processos físicos e químicos, quando moléculas de água são expostas a radiação ionizante. Esse processo resulta na excitação da molécula de água

ou em sua quebra homolítica, gerando espécies radicalares, como mostra a equação dos produtos primários da radiólise da água (1):



Dentre os produtos primários há formação de três principais espécies: elétrons aquosos (e_{aq}^-), radicais hidrogênio ($H\bullet$) e radicais hidroxila ($OH\bullet$). Os e_{aq}^- e os $H\bullet$ são agentes redutores, enquanto o $OH\bullet$ é um agente oxidante (BUXTON et al., 1988; FLYUNT et al., 2014).

Devido a formação de espécies com grande poder redutor, a radiação ionizante tem sido empregada na síntese e modificações de diversos materiais nos últimos anos, com destaque para nanopartículas metálicas e nanomateriais à base de carbono (FLORES-ROJAS; LÓPEZ-SAUCEDO; BUCIO, 2020).

Nas sínteses de rOG via radiação ionizante descritas a seguir, as amostras de OG foram dispersas em uma solução de água/solvente, em uma concentração entre 0,1–0,5 mg mL⁻¹, submetida a atmosfera de nitrogênio para desoxigenação do meio reacional e posteriormente irradiadas.

3.2.2 Redução do óxido de grafeno via feixe de elétrons

Em 2011, CHEN et al, publicaram o primeiro estudo sobre a redução do óxido de grafeno reduzido via feixe de elétrons. A síntese foi realizada em um acelerador de elétrons de 5 MeV, com dose total absorvida de 500 kGy e corrente do feixe de 200 μ A. Embora o estudo tenha utilizado uma alta dose de radiação, a caracterização físico-química do nanomaterial indicou uma discreta mudança entre os resultados do material pré e pós irradiação. A análise por DRX indicou que a diminuição da distância entre as folhas do óxido de grafeno de 8,22 para 7,91 Å (4%).

Por outro lado, resultados mais promissores referente a utilização da irradiação na redução do OG foram obtidos por JUNG et al. (2014). A irradiação foi realizada em etanol/água, em feixe de elétrons de energia maior, 10 MeV, doses totais absorvidas entre 50 a 200 kGy-e a taxa de dose em 10 kGymin⁻¹. Os espectros de FT-IR mostraram que as intensidades das bandas de absorção, relacionadas às funções oxigenadas, diminuíram significativamente com o aumento da dose total absorvida. Esse resultado indica a relação do grau de redução com a intensidade da dose absorvida, sendo também confirmado nas análises de espectroscopia na região do ultravioleta-visível (UV-Vis) e termogravimetria (TGA).

KWON; JUNG; NA (2016), reportaram um estudo nas mesmas condições de irradiação descritas por JUNG et al. (2014), divergindo apenas na escolha do álcool utilizado, o isopropanol. Os espectros de XPS demonstraram que a porcentagem de átomos de oxigênio decresceu de 29,46% para 10,49%, e de átomos de carbono aumentou; de 70,54% para 89,51%, indicando a parcial remoção dos grupos oxigenados após a irradiação e, portanto, a formação do rOG.

FLYUNT et al. (2014) também estudaram o efeito da radiólise a influência de solventes na redução de materiais à base de grafeno utilizando um acelerador de elétrons linear a 10 MeV. Neste estudo, o OG foi irradiado no modo móvel, com dose total absorvida máxima de 21 kGy e taxa de dose de 1 a 3 kGy passada⁻¹. Espectros de UV-Vis demonstraram que doses e taxas de doses menores são mais eficazes para a redução do OG e os melhores solventes na captura dos radicais oxidantes foram o metanol e etanol e isopropanol, porém, os subprodutos, respectivamente formaldeído e o acetaldeído são tóxicos ao meio ambiente. Deste modo, o isopropanol foi considerado o solvente mais adequado, pois seu subproduto, acetona, não apresenta risco elevado.

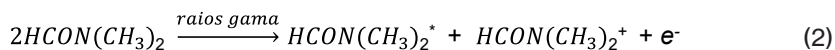
YANG et al. (2019) usando um feixe de elétrons com energia menor, 1,8 MeV e corrente de 5 Ma, avaliaram o grau de redução do óxido de grafeno, variando a dose de radiação absorvida entre 5 - 40 kGy, em temperatura ambiente q. As amostras foram caracterizadas por DRX, FT-IR, XPS, UV-vis e Raman. Para analisar o efeito da irradiação em altas doses, o OG foi irradiado a 180 kGy e a análise por XPS mostrou que a porcentagem de carbono aromático aumentou significativamente, de 52,73% para 91,28%, indicando um alto grau de redução. O resultado obtido pelos espectros Raman também mostrara um aumento expressivo da relação I_D/I_G , que indica o grau de redução e de defeitos no material, de 0,790 para 1,951, constatando que o OG irradiado a essa dose obteve um aumento de defeitos na malha e na aglomeração.

Os resultados apresentados anteriormente corroboram com os obtidos por KANG et al. (2015) que também avaliaram o efeito das irradiações em altas doses, as quais variaram entre 50 a 360 kGy e taxa de dose de 0,1 kGys⁻¹. Os resultados das análises de Microscopia de força atômica (AFM) e análise da área superficial pelo método *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) indicaram que a irradiação promove a redução e, simultaneamente, gera micro poros no plano de grafeno em todas as doses estudadas. Foram feitas medidas elétricas nas folhas do rOG e foi observado que a resistência diminuiu à medida com o aumento da dose, porém, quando esta excedeu 200 kGy, houve um aumento da resistência devido aos defeitos que tais doses provocam na malha do rOG.

Embora a síntese de óxido de grafeno reduzido por feixe de elétrons seja uma interessante técnica para obtenção deste nanomaterial, a radiação produzida pelo acelerador diminui rapidamente e deposita a maior parte da energia na superfície da amostra. Isso ocorre devido ao baixo poder de penetração do feixe de elétrons, o que limita as dimensões do sistema a ser irradiado, e por consequência, o uso dessa tecnologia (ZHANG et al., 2012).

3.2.3 Redução do óxido de grafeno via radiação gama

ZHANG et al (2012) reportaram os primeiros estudos sobre a interação da radiação por raios gama com o óxido de grafeno em diferentes solventes. A síntese foi conduzida a uma taxa de dose de 18 kGyh⁻¹ e dose máxima de 300 kGy e em dimetil formamida (DMF), um solvente polar aprótico que gera os elétrons, pelo processo de radiólise do DMF, como descrito pela equação 2. Os resultados de UV-vis indicaram a redução do óxido de grafeno após a irradiação



Ao irradiar o OG disperso em água e diferentes tipos de álcoois, solvente polar prótico, como etanol e isopropanol, os resultados mostraram que a melhor condição para a redução foi alcançada com taxa total absorvida de 35 kGy e taxa de dose de 0,88 kGyh⁻¹. Semelhante ao apresentado por FLYUNT et al. (2014), no estudo com feixe de elétrons, foi constatado que o etanol tem o maior poder de captura de agentes oxidantes.

A redução do OG em outros solventes que capturam radicais oxidantes foi avaliada por outros grupos de pesquisa. LI et al. (2014) reduziram o OG em água/etilenodiamina, nas mesmas condições de irradiação empregadas por ZHANG et al. (2012) e foi observado um aumento de cerca de 3 vezes na razão C/O no espectro obtido por XPS. TUYEN et al. (2016) irradiaram o OG em monoglicerídeo/etanol, com dose máxima absorvida de 50 kGy e os espectros de FT-IR demonstraram que as intensidades das bandas de absorção relacionados às funções oxigenadas diminuíram significativamente, evidenciando a eficácia da obtenção do rOG nesse meio reacional.

A respeito das condições de irradiação, a dose absorvida e a taxa de dose são os parâmetros mais avaliados. XIE et al. (2013) avaliaram a influência da dose absorvida na redução do OG e observaram um aumento de 4 vezes na razão C/O no espectro obtido por XPS para amostras irradiadas até 35 kGy. Por outro lado, doses superiores a esta apresentaram decréscimo na razão C/O. O estudo também investigou a influência

da taxa de dose e foi constatado que quanto menor a taxa de dose, maior o grau de redução do OG. O valor da razão C/O diminuiu de 3,9 (0,9 kGyh⁻¹) para 3,0 (2,4 kGyh⁻¹). Os autores justificaram que em taxas de doses mais altas a reação na superfície do OG é excessivamente rápida, aumentando sua agregação e dificultando a difusão da radiação pelas folhas.

SHARIARY; ATHAWALE (2015) publicaram um estudo sobre a redução do óxido de grafeno empregando doses entre 2,88 - 14,40 kGy e taxa de dose relativamente baixa, 0,24 kGyh⁻¹. As análises de FT-IR e Raman indicaram diminuição na intensidade das bandas características aos grupos oxigenados e o aumento na relação I_D/I_G , respectivamente, o que indica a formação do rOG. A melhor condição para a redução do OG foi obtida a uma dose de 11,52 kGy, e a resistência elétrica do rOG calculado foi de 182Ω, bem menor em comparação ao 600 kΩ do OG.

Em contrapartida, NOH et al. (2014), reportaram bons resultados elétricos para as células solares poliméricas construídas com rOG sintetizado com doses entre 50 -1.500 kGy e taxa de dose de 10 kGyh⁻¹, valores esses muito superiores aos utilizados nos estudos anteriores. A condutividade do OG variou de 10⁻⁵ para 10¹ Scm⁻¹ após a irradiação à 1.500 kGy.

XU et al. (2013) publicaram a primeira revisão sobre as nanoestruturas à base de carbono, submetidos a radiação gama. Neste estudo, foram apresentados resultados demonstrando que os raios gama são mais eficientes na alteração da estrutura e dos grupos funcionais do OG quando comparados ao uso de feixe de elétrons para a redução desse nanomaterial.

Recentemente, ZHANG et al. (2021) publicaram um estudo de citotoxicidade do OG e do rOG sintetizados com doses entre 50 – 400 kGy e taxa de dose de 2 kGyh⁻¹. Experimentos *in vitro* em células do miocárdio de rato (H₉C₂) mostraram que, ambos nanomateriais inibiram a viabilidade celular, promoveram a apoptose e elevaram a liberação de LDH. O estudo também demonstrou quanto maior a dose absorvida na síntese de rOG, maior a citotoxicidade.

Um estudo comparativo entre o desempenho térmico e eletroquímico do óxido de grafeno obtido por síntese química e por radiação gama foi reportado por ATTA et al. (2021). O processo de irradiação ocorreu sob doses de radiação entre 20 – 80 kGy e taxa de dose de 2kGyh⁻¹. O estudo revelou que o OG irradiado a 80 kGy possui maior estabilidade térmica e um aumento expressivo do valor da capacitância específica em relação ao sintetizado por hidrazina. A radiação γ gerou defeitos menores nos novos domínios hibridizados sp² na superfície do rOG quando comparados ao obtido por síntese química.

4 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA)/ CRP F22070 pelo suporte financeiro e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

REFERÊNCIAS

ATTA, M. M., ASHRY, H. A., NASR, G. M., & EL-REHIM, A. **Electrical, thermal and electrochemical properties of γ -ray-reduced graphene oxide.** *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 28(10), 1726-1734, 2021.

BAGRI, A.; MATTEVI, C.; ACIK, M.; CHABAL, Y. J.; CHHOWALLA, M.; SHENOY, V. B. **Structural evolution during the reduction of chemically derived graphene oxide.** *Nature Chemistry*, v. 2, n. 7, p. 581-587, 2010.

BUXTON, G. V.; GREENSTOCK, C. L.; HELMAN, W. P.; ROSS, A. B.; TSANG, W. **Critical review of rate constants for reactions of hydrated electrons, hydrogen atoms and hydroxyl radicals ($\cdot\text{OH}/\text{O}^-$) in aqueous solution.** *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, v. 17, n. 2, p. 513-886, 1988.

CHEN, L.; XU, Z.; LI, J.; MIN, C.; LIU, L.; SONG, X.; CHEN, G.; MENG, X. **Reduction and disorder in graphene oxide induced by electron-beam irradiation.** *Materials Letters*, v. 65, n. 8, p. 1229-1230, 2011.

DREYER, D. R.; PARK, S.; BIELAWSKI, C. W.; RUOFF, R. S. **The chemistry of graphene oxide.** *Chemical Society Reviews*, v. 39, n. 1, p. 228-240, 2010.

DUAN, W.; LI, A.; CHEN, Y.; ZHANG, J.; ZHUO, K. **Amino acid-assisted preparation of reduced graphene oxide-supported PtCo bimetallic nanospheres for electrocatalytic oxidation of methanol.** *Journal of Applied Electrochemistry*, v. 49, n. 4, p. 413-421, 2019.

FLORES-ROJAS, G. G.; LÓPEZ-SAUCEDO, F.; BUCIO, E. **Gamma-irradiation applied in the synthesis of metallic and organic nanoparticles: A short review.** *Radiation Physics and Chemistry*, v. 169, p. 107962, 2020

FLYUNT, R.; KNOLLE, W.; KAHNT, A.; PRAGER, A.; LOTNYK, A.; MALIG, J.; GULDI, D.; ABEL, B. **Mechanistic aspects of the radiation-chemical reduction of graphene oxide to graphene-like materials.** *International Journal of Radiation Biology*, v. 90, n. 6, p. 486-494, 2014.

HUMMERS, W. S.; OFFEMAN, R. E. **Preparation of graphitic oxide.** *Journal of the American Chemical Society*, v. 80, p. 1339-1339, 1958.

ISMAIL, Z. **Green reduction of graphene oxide by plant extracts: a short review.** *Ceramics International*, v. 45, n. 18, p. 23857-23868, 2019.

JOSE, P. P. A.; KALA, M. S.; KALARIKKAL, N.; THOMAS, SABU; **Reduced graphene oxide produced by chemical and hydrothermal methods.** *Materials Today: Proceedings*, v. 5, n. 8, p. 16306-16312, 2018.

JUNG, J.; JUNG, C.; OH, M.; HWANG, I.; JUNG, C.; SHIN, K.; HWANG, J.; PARK, S.; CHOI, J. **Rapid, facile, and eco-friendly reduction of graphene oxide by electron beam irradiation in an alcohol-water solution.** *Materials Letters* v. 126, p. 151-153, 2014.

KANG, M.; LEE, D. H.; KANG, Y.; JUNG, H. **Electron beam irradiation dose dependent physico-chemical and electrochemical properties of reduced graphene oxide for supercapacitor.** *Electrochimica Acta*, v. 184, p. 427-435, 2015.

KWON, S.; JUNG, C.; NA, S. **Electron-beam-induced reduced graphene oxide as an alternative hole-transporting interfacial layer for high-performance and reliable polymer solar cells.** *Organic Electronics*, v. 34, p. 67-74, 2016.

LI, J.; ZHANG, B.; LI, L.; MA, H.; YU, M.; LI, J. **γ -ray irradiation effects on graphene oxide in an ethylenediamine aqueous solution,** *Radiation Physics and Chemistry*, v. 94, p. 80-83, 2014.

MOHAN, V. B.; LAU, K. T.; HUI, D.; BHATTACHARYYA, D. **Graphene-based materials and their composites: a review on production, applications and product limitations.** *Composites Part B: Engineering*, v. 142, p. 200-220, 2018.

MUSZYNSKI, R.; SEGER, B.; KAMAT, P. V. **Decorating graphene sheets with gold nanoparticles.** *The Journal of Physical Chemistry C*, v. 112, n. 14, p. 5263-5266, 2008.

NOH, Y.; PARK, S.; HWANG, I.; CHOI, J.; KIM, S.; JUNG, C.; NA, S. **High-performance polymer solar cells with radiation-induced and reduction-controllable reduced graphene oxide as an advanced hole transporting material.** *Carbon*, v. 79, p. 321-329, 2014.

OKUNO, E. **Radiação: efeitos, riscos e benefícios.** São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

PAPAGEORGIU, D. G.; KINLOCH, I. A.; YOUNG, R. J. **Mechanical properties of graphene and graphene-based nanocomposites.** *Progress in Materials Science*, v. 90, p. 75-127, 2017.

PARK, S. H.; KIM, H. S. **Environmentally benign and facile reduction of graphene oxide by flash light irradiation.** *Nanotechnology*, v. 26, n. 20, p. 205601, 2015.

PATEL, S. K.; CHAROLA, S.; JANI, C.; LADUMOR, M.; PARMAR, J.; GUO, T. **Graphene-based highly efficient and broadband solar absorber.** *Optical Materials*, v. 96, p. 109330, 2019.

PEI, S.; CHENG, H. **The reduction of graphene oxide.** *Carbon*, v. 50, n. 9, p. 3210-3228, 2012.

QIU, Y.; GUO, F.; HURT, R.; KULAOTS, I. **Explosive thermal reduction of graphene oxide-based materials: mechanism and safety implications.** *Carbon*, v. 72, p. 215-223, 2014.

SANTOS, P. S. **Estudo e otimização dos parâmetros de processamento por radiação gama em escala industrial considerando fatores operacionais.** 2017. 92 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN-CNEN/SP, São Paulo. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br> > Acesso em: 07 de janeiro de 2020.

SHAHRIARY, L.; ATHAWALE, A. A. **Synthesis of graphene using gamma radiations.** *Bulletin of Materials Science*, v. 38, n. 3, p. 739-745, 2015.

STANKOVICH, S.; DIKIN, D. A.; PINER, R. D.; KOHLHAAS, K. A.; KLEINHAMMES, A.; JIA, Y.; WU, Y.; NGUYEN, S. T.; RUOFF, R. S. **Synthesis of graphene-based nanosheets via chemical reduction of exfoliated graphite oxide.** *Carbon*, v. 45, n. 7, p. 1558-1565, 2007.

STAUDENMAIER, L. **Verfahren zur darstellung der graphitsäure.** *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*, v. 31, n. 2, p. 1481-1487, 1898.

TARCAN, R.; TODOR-BOER, O.; PETROVAI, I.; LEORDEAN, C.; ASTILEAN, S.; BOTIZ, I. **Reduced graphene oxide today.** *Journal of Materials Chemistry C*, v. 8, n. 4, p. 1198-1224, 2020.

TUYEN, L. A.; HUY, H. T.; DUOC, N. T.; BINH, D.; HOMG, P. T. T. **The effect of gamma-irradiation on graphene oxide in a monoglyceride/ethanol solution.** *Nuclear Science and Technology*, v. 6, n. 3, p. 48-53, 2016.

VINH, T. L.; KHIEM, T. N.; CHINH, H. D.; TUAN, P. V.; TAN, V. T. **Adsorption capacities of reduced graphene oxide: effect of reductants.** *Materials Research Express*, v. 6, n. 7, 2019.

VIRDIS, B.; DENNIS, P. G. **The nanostructure of microbially-reduced graphene oxide fosters thick and highly-performing electrochemically-active biofilms.** *Journal of Power Sources*, v. 356, p. 556-565, 2017.

XIE, S.; ZHANG, B.; WANG, C.; WANG, Z.; LI, L.; LI, J. **Building up Graphene-Based Conductive Polymer Composite Thin Films Using Reduced Graphene Oxide Prepared by γ -Ray Irradiation,** *The Scientific World Journal*, v. 2013, p. 1-7, 2013.

XU, Z.; CHEN, L.; ZHOU, B.; LI, Y.; LI, B.; NIU, J.; SHAN, M.; GUO, Q.; WANG, Z.; QIAN, X. **Nano-structure and property transformations of carbon systems under γ -ray irradiation: a review.** *Rsc Advances*, v. 3, n. 27, p. 10579-10597, 2013.

YANG, Y.; CHEN, L.; LI, D. Y.; YI, R. B.; MO, J. W.; WU, M. H.; XU, G. **Controllable reduction of graphene oxide by electron-beam irradiation.** *RSC advances*, v. 9, n. 7, p. 3597-3604, 2019.

YANG, Y.; LIN, Q.; DING, B.; WANG, J.; MALGRAS, V.; JIANG, J.; AHAMAD, T. **Lithium-ion capacitor based on nanoarchitected polydopamine/graphene composite anode and porous graphene cathode.** *Carbon*, v. 167, p. 627-633, 2020.

YE, M.; ZHANG, Z.; ZHAO, Y.; QU, L. **Graphene Platforms for Smart Energy Generation and Storage.** *Joule*, v. 2, n. 2, p. 245-268, 2017.

ZHANG, J.; CAO, H. Y.; WANG, J. Q.; WU, G. D.; WANG, L. **Graphene oxide and reduced graphene oxide exhibit cardiotoxicity through the regulation of lipid peroxidation, oxidative stress, and mitochondrial dysfunction.** *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 9, 21, 2021.

ZHANG, Y.; MA, H. L.; ZHANG, Q.; PENG, J.; LI, J.; ZHAI, M.; YU, Z. Z. **Facile synthesis of well-dispersed graphene by γ -ray induced reduction of graphene oxide.** *Journal of Materials Chemistry*, v. 22, n. 26, p. 13064-13069, 2012.

ZHU, Y.; MURALI, S.; STOLLER, M. D.; VELAMAKANNI, A.; PINER, R. D.; RUOFF, R. S. **Microwave assisted exfoliation and reduction of graphite oxide for ultracapacitors.** *Carbon*, v. 48, n. 7, p. 2118-2122, 2010.

SOBRE EL ORGANIZADOR

El Dr. Juan Ramón Collet-Lacoste es licenciado en ciencias químicas de la Universidad de Buenos Aires (UBA) y PhD de la Universidad de Paris Sud (XI). Su especialidad es la físico química, en la rama de la termodinámica de los procesos irreversibles (TPI), especialmente en el estudio de los procesos cinéticos en los sistemas electroquímicos.

Ha desarrollado varios trabajos relacionados a los mecanismos de reacción y transporte de materia sobre electrodos metálicos, así como el desarrollo de electrodos para celdas de combustible de baja temperatura (fuel cells).

Es un especialista en la técnica de impedancia electroquímica, en la cual ha publicado varios artículos en revistas internacionales.

Desde el punto de vista experimental, ha trabajado en el desarrollo de celdas de combustible con Nps de platino y paladio y de electrolizadores alcalinos de baja temperatura.

Actualmente realiza trabajos sobre la oxidación acuosa del aluminio en gradientes de temperatura. Este trabajo esta relacionado a los elementos combustibles de los reactores experimentales multipropósito para la fabricación de radioisótopos de uso médico.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Antiseptics 126, 127

Aquatic environment 98, 99, 100, 101

Au Nanoparticle 87, 96

B

Bactericidal 126, 127

Bioremediation 98, 99, 100, 101, 105, 106, 125

Biosíntesis extracelular 116

Biosíntesis intracelular 116

C

Carbon nanoparticles 99, 101, 104, 135, 136, 137, 138, 139, 142

Catálise 29, 62, 63, 64, 66, 67, 81

Cerâmicas funcionais 28

Contaminants 98, 99, 100, 101, 102

Controlled release 126

E

Efeito Plasmônico 62, 71, 76, 77, 80, 81, 82, 83

Extracto 108, 109, 110, 111, 112, 113, 120

F

Feixe de elétrons 49, 52, 53, 54, 55, 56, 57

Filtradhussao extracelular 116

Filtrado libre de células 116, 118, 120, 121, 122, 123, 124

Fotocatálise 61, 62, 64, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 78, 80, 81, 82, 83

H

Hidrotermal assistido por micro-ondas 28, 29

Hongo 108, 109, 111, 113, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124

Hybrid film 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 95

L

Low temperature fuel cells 1, 24

M

Metais nobres 61, 62, 68, 69, 83

N

Nanofiber 48, 87, 88, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 101

Nanomateriais 34, 39, 54, 57

Nanoparticles 1, 2, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 38, 39, 40, 48, 58, 59, 62, 84, 85, 87, 88, 93, 94, 95, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 114, 115, 116, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 142

Nanoparticles synthesis 1, 85

Nanopartículas 28, 34, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 46, 47, 54, 61, 64, 67, 68, 70, 72, 76, 83, 85, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 121, 122, 123, 124, 125, 134

Nanopartículas Metálicas 39, 40, 54, 61, 62, 68, 83

Nanotechnology 24, 59, 87, 96, 125, 126, 141, 142

Nucleation and growth mechanism 1

O

Óxido de cério 28, 29, 30, 31, 32, 33, 37, 38

Óxido de grafeno reduzido 49, 50, 51, 52, 53, 54, 56

P

Plant probiotics 135

Praseodímio 28, 30, 33, 37

Prata 31, 39, 40, 41, 47, 70, 82, 85

Puntos cuánticos 109, 111

R

Radiação gama 49, 52, 53, 56, 57, 59

Radiação ionizante 49, 52, 53, 54

S

Self-assembly 87, 88, 91, 95, 96

SERS 39, 40, 42, 46, 47, 48

Soil 99, 135, 136, 137, 138, 139, 141

T

Tetramethylbenzidine 87, 96

Thermodynamic properties 1

Transition metals 1, 3, 12, 22

V

Vegetable 135

Virucidal and bioactive compounds 126