

# GRAFENO E SUAS APLICAÇÕES NO DESENVOLVIMENTO DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

**Graphene and its applications in the development of technological innovations:  
A bibliometric analysis**

**Elias Rocha Gonçalves Júnior\*, Virgínia Siqueira Gonçalves**

Universidade Candido Mendes – Campos. Rua Anita Peçanha, 100 – Pq. São Caetano –  
Campos dos Goytacazes, RJ – CEP.: 28030-335

\*Autor para correspondência: eliasrgjunior1@gmail.com

Recebido em: 17/04/2018, Aceito em: 11/07/2018, Publicado em: 03/08/2018.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22407/1984-5693.2018.v10.p.81-97>

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica abordando a aplicação do material grafeno relacionado a inovações tecnológicas, sendo esta baseada em uma busca realizada na Base Scopus, tendo como palavra-chave de pesquisa “graphene AND innovation”. O processo analítico teve como base o modelo proposto por Costa (2010), baseado na seleção de um conjunto de referências bibliográficas para servir como apoio o estudo. Os resultados prévios obtiveram 136 registros, sendo estes refinados para publicações em periódicos e congressos. Ao final da análise completa dos artigos selecionados, foram considerados 10 trabalhos para compor o núcleo de partida para a pesquisa. Esta análise demonstrou e comprovou as aplicações efetivas e satisfatórias da utilização crescente do material grafeno para desenvolvimento de diversas inovações, oportunizando uma discussão positiva da utilização desse material em pesquisas de desenvolvimento de supercapacitores, síntese de nanomateriais híbridos, sequenciamento de DNA, isolamento e análise de células tumorais circulantes, desenvolvimento de biossensores para hibridação de DNA, processos de dessalinização e tratamento de água, cálculos da densidade funcional computacional na descoberta de variadas propriedades deste material, projeto de folhas artificiais de plantas, desenvolvimento de mecanismos de memória de acesso aleatório de comutação resistiva e na melhoria de desempenho de baterias de lítio.

**Palavras-chave:** nanomateriais, grafeno, inovação tecnológica, estudo bibliométrico.

## ABSTRACT

This paper aims to perform a bibliometric analysis addressing the application of text mining techniques in social media, based on a search carried out in the Scopus Base, having as a search keyword " graphene AND innovation". The analytical process was based on the model proposed by Costa (2010), based on the selection of a set of bibliographical references to serve as support for the study. The previous results obtained 136 records, these being refined to publications in periodicals and congresses.

At the end of the complete analysis of the selected articles, 10 papers were considered to compose the starting nucleus for the research. This analysis demonstrated and proved the effective and satisfactory applications of the growing use of graphene material to develop several innovations, providing a positive discussion of the using this material in supercapacitor development, synthesis of hybrid nanomaterials, DNA sequencing, isolation and analysis of circulating tumor cells, development of biosensors for DNA hybridization, desalination and water treatment processes, calculations of computational functional density in the discovery of the varied properties of this material, design of artificial leaves of plants, development of random access memory mechanisms of resistive switching and in the performance enhancement of lithium batteries.

**Keywords:** nanomaterials, grapheme, technologic innovation, bibliometric study.

## INTRODUÇÃO

As pesquisas na área de nanociência e nanotecnologia trazem conhecimentos e aplicações que influenciam no cotidiano de toda a sociedade, desde a miniaturização de componentes eletrônicos até ao desenvolvimento de cosméticos (TOMA, 2009). A descoberta do Grafeno foi um importante avanço na área da nanociência, sendo este determinante e influente para o desenvolvimento da ciência e de tecnologias modernas, pois permite significativa evolução de componentes eletrônicos, na transmissão de dados, na geração de energia, na aeronáutica, na indústria naval, dentre outras (KUILLA *et al.*, 2010).

O Grafeno é uma camada de átomos de carbono agrupados densamente em uma rede em formato semelhante à estrutura de uma colmeia (KUILLA *et al.*, 2010). O Grafeno foi descoberto, em 2004, a partir da esfoliação do grafite com uma fita adesiva, ou seja, esta foi sobreposta e retirada do material por diversos momentos e obteve-se uma monocamada de Grafeno, identificando pela primeira vez o composto (CHEN *et al.*, 2013; NOVOSELOV *et al.*, 2004).

Este possui propriedades importantes como alta condutibilidade, transparência, flexibilidade, leveza e resistência com aplicação em dispositivos como *displays*, telas sensíveis ao toque, diodos de emissão de luz e células solares entre outros (CHEN *et al.*, 2013). Em comparação com o aço, tem espessura cinco vezes menor, ou seja, é mais leve, sua dureza é duas vezes maior, além de ser dez vezes mais resistente à tração e treze vezes mais resistente à flexão (RANJBARTOREH *et al.*, 2011).

Já o método de esfoliação química baseia-se na modificação da estrutura do grafite por meio de tratamentos químicos e físicos, no qual ocorre o enfraquecimento das forças de Van der Waals por meio de injeção de reagentes entre as camadas (JESUS *et al.*, 2012). Entre estes métodos, a clivagem micromecânica é um método mais confiável e efetivo para produzir grafeno de alta qualidade. No entanto, essa abordagem é limitada pelo baixo rendimento da produção (SINGH *et al.*, 2011; DU & CHENG, 2012)

A Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento - OCDE (2005) define a inovação como a implementação de um produto novo ou significativamente melhorado (bem ou serviço), ou processo, um novo método de marketing ou um novo método organizacional em negócios práticas, organização no local de trabalho ou relações externas.

A inovação tecnológica é baseada na invenção, uma ideia original, e se refere à sua materialização, a aceitação pelos atores e a institucionalização de suas práticas, esta transforma a ideia em mudanças reais (PAULRÉ, 2016).

De acordo com Archambault *et al.* (2009), o aumento da disponibilidade de estatísticas como o impacto bibliográfico torna cada vez mais importante entender como as atividades de publicação e citações pode ser incluído como parte de uma revisão mais holística do literatura. Zupic e Cater (2015) apontaram que os métodos bibliométricos empregam uma abordagem quantitativa para a descrição, avaliação e monitoramento da pesquisa publicada. Eles argumentam que esses métodos têm o potencial de introduzir uma sistemática, processo de revisão transparente e reprodutível e, assim, melhorar a qualidade das análises.

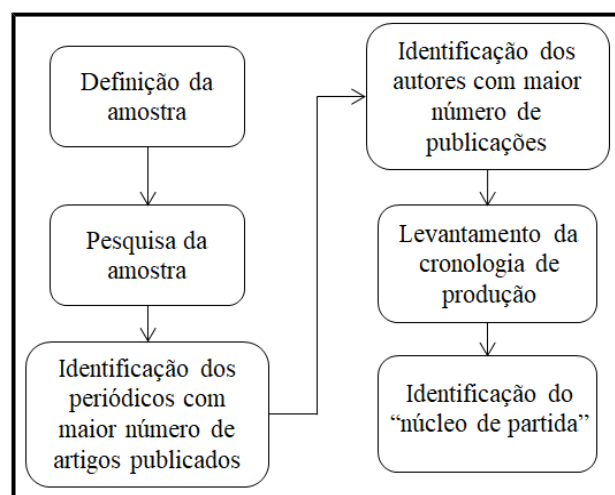
De acordo com Cortez (2011), os tipos mais relevantes de publicações são livros, teses, capítulos de livros, artigos publicados em revistas científicas, comunicações em procedimentos de conferência, técnicas relatórios, materiais pedagógicos, white papers e páginas web. Cada um destes pode ou não estar sujeito à revisão pelos pares, e podem ser de âmbito nacional ou internacional.

A concepção da análise bibliométrica proposta por Costa (2010), tem por finalidade aplicar um modelo de seleção de fontes bibliográficas baseados em ferramentas de busca de dados bibliográficos on-line, com o objetivo de a seleção de um conjunto de referências bibliográfica para servir como apoio a um determinado estudo.

A partir deste cenário, este artigo tem por objetivo mapear as publicações científicas sobre o material grafeno relacionado a inovações tecnológicas, visando a identificar as características dos trabalhos, como autores que contribuem para o tema e área de pesquisa, período das publicações, países onde o tema é estudado e os periódicos nos quais os trabalhos são publicados. Para isso, são utilizadas técnicas bibliométricas, que empregam métodos quantitativos na busca por uma avaliação objetiva da produção científica. A segunda contribuição é a identificação e análise das tecnologias e inovações em desenvolvimento utilizando o grafeno, as quais os pesquisadores têm mais aplicado de forma prática.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo proposto viabiliza um esquadramento entre as referências, dando resultado a um estudo prévio composto pelos trabalhos que irão integrar o chamado núcleo de partida, onde o pesquisador terá embasamento suficiente para o próprio estudo bibliográfico. O modelo é dividido em seis etapas, conforme expõe a Figura 1 (COSTA, 2010).

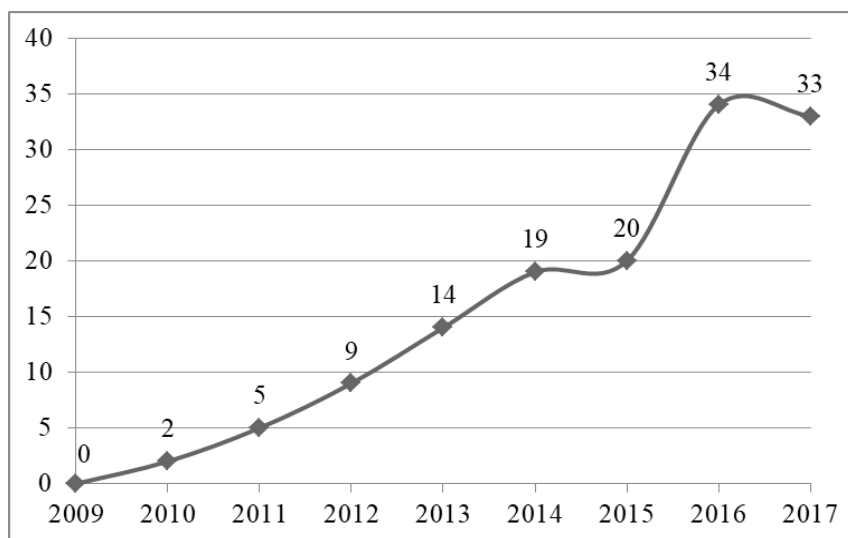


**Figura 1.** Modelo proposto para realização de estudo bibliográfico. Fonte: Adaptado de Costa (2010).

As buscas executadas na base de conhecimento Scopus, com base no modelo de Costa (2010), foram realizadas com intuito de encontrar trabalhos relacionados ao grafeno e as inovações vinculadas a este, além disso, não foram utilizados filtros de exclusão a fim de evitar a redução dos resultados, optando-se por um retorno com a maior amplitude possível.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das consultas realizadas na base Scopus, utilizando-se a chave de busca “graphene AND innovation”, foram encontrados 136 resultados, com destaque para os anos de 2015, 2016 e 2017, que representam mais da metade dos trabalhos analisados, conforme Figura 2.



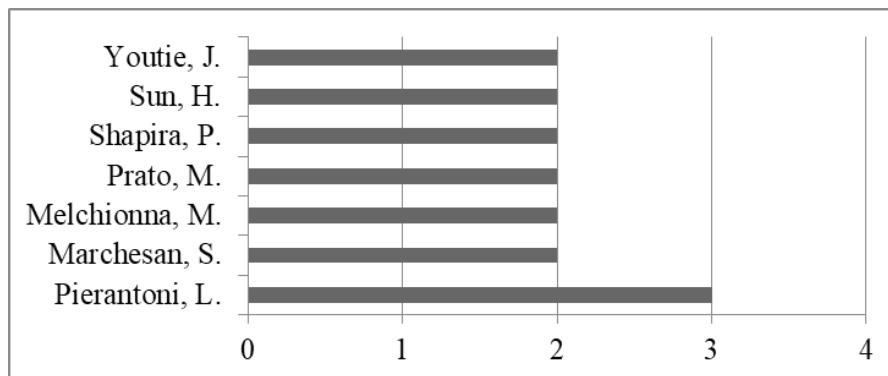
**Figura 2.** Publicações identificadas na Base Scopus. Fonte: Elaboração própria.

Pode-se observar que as publicações relacionando os dois temas começaram no ano de 2010 e, a partir daí, veio sendo cada vez mais explorada, gerando um aumento no número de artigos relacionados, apesar de certa estagnação em 2017 com relação ao ano anterior.

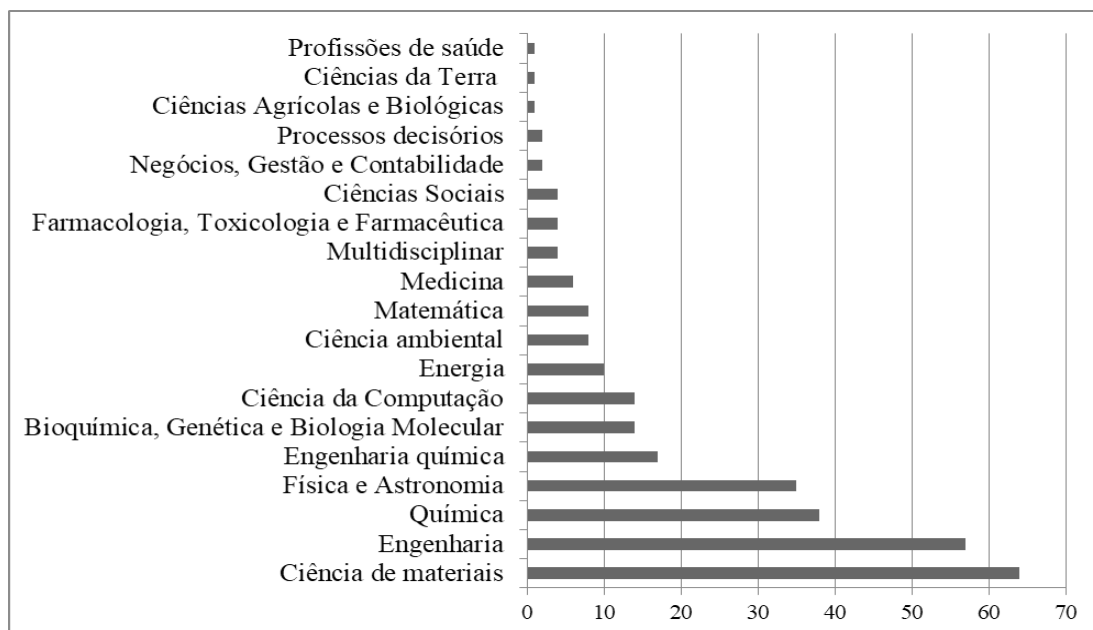
Com o intuito de se visualizar os temas principais destes artigos, foi utilizada a ferramenta *wordclouding*, que analisa as palavras que mais se repetem em todos esses artigos (DE JESUS & COSTA, 2015). Mais do que analisar cada uma das palavras pelo seu agrupamento e frequência com que aparecem nos textos, essa ferramenta é importante para garantir a consistência dos dados. A Figura 3 mostra a nuvem de palavras formada pela ferramenta, sendo que as mais se repetem aparecem em maiores proporções.

Ao analisar-se a Figura 3 (a seguir), pode-se observar que esta nuvem de palavras evidencia que o banco de dados é consistente, pois abrange os termos que se pretendia encontrar como “grafeno”, “desenvolvimento” e “pesquisa”. Também observa-se em destaque os termos “energia” e “propriedades”, dada a aplicação do grafeno nesta área, evidenciando suas propriedades elétricas extraordinárias.





**Figura 5.** Distribuição dos autores dos registros encontrados. Fonte: Elaboração própria.



**Figura 6.** Relação de tópicos dos registros encontrados. Fonte: Elaboração própria.

Por conseguinte, seguiu-se a análise dos países (Quadro 1) com maior quantidade de publicações.

Pode ser observado que um número considerável de trabalhos os quais não possuem um país de origem definido. Além disso, nota-se que não há a presença do Brasil na relação dos principais países com publicações relacionadas. O país possui apenas um artigo, sendo este no idioma Português e publicado no exterior em 2016.

Além disso, identificaram-se os tipos de publicação realizada com o tema em discussão, estando estes dispostos no Quadro 2, indicando que os trabalhos relacionados são em sua maioria publicados em periódicos.

**Quadro 1.** Países com maior número de publicações dos registros encontrados. Fonte: Elaboração própria.

<b>País</b>	<b>Publicações</b>
China	34
Estados Unidos	34
Indefinido	21
Itália	9
Alemanha	8
Reino Unido	8
Austrália	6
Canadá	6
Índia	6
França	5

**Quadro 2.** Tipos de publicações dos registros encontrados. Fonte: Elaboração própria.

<b>Tipo de Publicação</b>	<b>Publicações</b>
Artigo de Periódico	78
Artigo de Congresso	22
Revisão em Periódico	22
Revisão em Congresso	14

Nesta etapa, destacaram-se os trabalhos de maior relevância para o tema proposto com relação aos resultados apresentados anteriormente e também com base no número de citações dos mesmos. Selecionou-se um total de dez artigos para realização da análise, conforme o Quadro 3 (página 11), por serem considerados os mais aderentes ao desenvolvimento das inovações tecnológicas utilizando ou baseando-se em grafeno.

Zhang e Zhao (2012) afirma que os supercapacitores, que estão atraindo um crescente interesse crescente da academia e da indústria, são importantes dispositivos de armazenamento de energia para adquirir energia sustentável.



Nos últimos anos, houve uma série de avanços significativos na pesquisa e desenvolvimento de supercapacitores. O surgimento de materiais de eletrodo inovadores, como, por exemplo, o grafeno, forneceu claramente grandes oportunidades para avançar a ciência no campo do armazenamento de energia eletroquímica. Por outro lado, configurações inteligentes de materiais de eletrodos e novos projetos de dispositivos supercondensadores têm, em muitos casos, impulsionado o desempenho eletroquímico dos materiais. Resumiu-se o progresso recente da pesquisa para o projeto e configuração de materiais de eletrodos para maximizar o desempenho dos supercondensadores em termos de densidade de energia, densidade de potência e estabilidade do ciclo. Com uma breve descrição da estrutura, mecanismo de armazenamento de energia e configuração de eletrodo de dispositivos supercapacitores, o projeto e configuração de supercapacitores simétricos foram discutidos, seguido de supercapacitores assimétricos e híbridos. A ênfase é colocada no projeto e configuração de eletrodos de supercapacitores de grafeno para avaliar o desempenho eletroquímico do dispositivo.

Xia *et al.* (2014) aborda com as nanoestruturas híbridas baseadas em grafeno atraíram um crescente interesse em todo o mundo. Beneficiando de suas propriedades catalíticas eletroquímicas notáveis derivadas de composições químicas e efeitos sinérgicos de multifuncionalidades, afirma que esses nanomateriais híbridos baseados em grafeno terão um papel significativo na inovação de ponta para novos eletrocatalisantes. Nesta revisão, foi relatado o progresso recente na concepção e síntese de nanomateriais híbridos baseados em grafeno com forma, tamanho, composição e estrutura controlada, e sua aplicação como eletrocatalisadores eficientes para sistemas relacionados à energia. Concluiu-se a presença algumas tendências futuras e perspectivas que são destacadas para novas investigações sobre nanomateriais à base de grafeno, como os eletrocatalisadores.

Heerema e Dekker (2016) ilustram como o sequenciamento de DNA rápido, barato e confiável poderia ser uma das inovações mais impressionantes desta década, pois abriria caminho para a medicina personalizada. Em busca dessa tecnologia, uma variedade de abordagens baseadas em nanotecnologia foram exploradas e estabelecidas, incluindo o sequenciamento com nanopores.

Devido à sua estrutura e propriedades únicas, o grafeno oferece oportunidades interessantes para o desenvolvimento de uma nova tecnologia de sequenciamento. Nos últimos anos, uma ampla gama de ideias criativas para sequenciadores de grafeno foram propostos teoricamente e as primeiras demonstrações experimentais começaram a aparecer.

Neste artigo, foram analisadas as diferentes abordagens para o uso de nanodispositivos de grafeno para sequenciamento de DNA, que envolvem DNA passando através de nanoporos de grafeno, nanolacunas e nanotiras, e o processo de perturbação elétrica pós-adsorção do DNA em nanoestruturas de grafeno. Discutiram-se as vantagens e os problemas de cada uma dessas técnicas-chave, fornecendo uma perspectiva sobre o uso de grafeno na futura tecnologia de sequenciamento de DNA.

**Quadro 3.** Relação de publicações mais relevantes. Fonte: Elaboração própria.

Publicação	Autor	Ano	Citações
On the configuration of supercapacitors for maximizing electrochemical performance	Zhang, J.; Zhao, X. S.	2012	205
Recent progress on graphene-based hybrid electrocatalysts	Xia, B.Y.; Yan, Y.; Wang, X.; Lou, X.W.	2014	168
Graphene nanodevices for DNA sequencing	Heerema, S. J.; Dekker, C.	2016	107
Emerging role of nanomaterials in circulating tumor cell isolation and analysis	Yoon, H. J.; Kozminsky, M.; Nagraath, S.	2014	89
Mechanisms of DNA sensing on graphene oxide	Liu, B.; Sun, Z.; Zhang, X.; Liu, J.	2013	87
Functional graphene nanosheets: The next generation membranes for water desalination	Mahmoud, K. A.; Mansoor, B.; Mansour, A.; Khraisheh, M.	2015	84
Innovation and discovery of graphene-like materials via density-functional theory computations	Tang, Q.; Zhou, Z.; Chen, Z.	2015	83
Knitting the catalytic pattern of artificial photosynthesis to a hybrid graphene nanotexture	Quintana, M.; López, A. M.; Rapino, S.; Toma, F. M.; Iurlo, M.; Carraro, M.; Sartorel, A.; MacCato, C.; Ke, X.; Bittencourt, C.; Da Ros, T.; Van Tendeloo, G.; Marcaccio, M.; Paolucci, F.; Prato, M.; Bonchio, M.	2013	53
Vacancy associates-rich ultrathin nanosheets for high performance and flexible nonvolatile memory device	Liang, L.; Li, K.; Xiao, C.; Fan, S.; Liu, J.; Zhang, W.; Xu, W.; Tong, W.; Liao, J.; Zhou, Y.; Ye, B.; Xie, Y.	2015	49
A review on structure model and energy system design of lithium-ion battery in renewable energy vehicle	Li, Y.; Song, J.; Yang, J.	2014	33

Yoon *et al.* (2014) elabora uma pesquisa sobre as células tumorais circulantes (CTCs), que são células de baixa frequência encontradas na corrente sanguínea depois de terem sido derramadas de um tumor primário. Essas células são alvos de pesquisa devido à informação que eles podem potencialmente fornecer sobre um câncer individual, bem como os mecanismos através dos quais o câncer se espalha no processo de metástase. Existem tecnologias estabelecidas para o isolamento das CTCs, mas o progresso e o futuro recentes deste campo estão em nanomateriais, como o grafeno e suas dopagens. Nesta revisão, abrange-se uma perspectiva sobre a captura histórica de CTCs, bem como a pesquisa atual sendo conduzida, enfatizando o significado dos materiais que estão sendo usados para fabricar esses dispositivos. A investigação moderna sobre CTCs inicialmente apresentou técnicas que já foram comercializadas. Uma grande inovação no campo foi o desenvolvimento de um dispositivo de captura microfluídica, primeiro fabricado em silício e acompanhado de dispositivos de vidro e termopolímero. Especificamos especificamente as tecnologias que incorporam nanopartículas magnéticas, nanotubos de carbono, nanofios, nanopilares, nanofibras e superfícies nanorrugosas, óxido de grafeno e seus métodos de fabricação. A nanoescala fornece um novo conjunto de ferramentas que tem o potencial de superar as atuais limitações associadas à captura e análise de CTCs. Acredita-se que a trajetória atual do campo está na direção dos nanomateriais, permitindo as melhorias necessárias para promover pesquisas das CTCs.

Liu *et al.* (2013) é baseado no estudo da adsorção de uma sonda de DNA marcada com fluoróforo, componente de uma molécula que faz com que esta seja fluorescente, por óxido de grafeno (GO), com o intuito de produzir um sensor que proporciona melhoramento de fluorescência na presença de seu DNA complementar. Embora muitas aplicações analíticas importantes tenham sido demonstradas, não está claro como a hibridação do DNA ocorre na presença de GO, dificultando a melhoria racional do design do sensor. Pela primeira vez, foi relatado um conjunto de evidências experimentais para revelar um novo mecanismo envolvendo deslocamento de sonda inespecífico seguido de hibridação na fase de solução. Além disso, mostrou-se quantitativamente que apenas uma pequena porção das moléculas de DNA complementar, adicionadas, sofrem hibridação enquanto a maioria é adsorvida por GO para desempenhar o papel de deslocamento. Portanto, é possível melhorar a sinalização aumentando a eficiência de hibridação, utilizando sondas e DNA complementar com uma diferença significativa em sua energia de adsorção por GO.

Este estudo oferece importantes perspectivas sobre o sistema GO / DNA e, ao mesmo tempo, fornece métodos experimentais simples para estudar a dinâmica da reação biomolecular e o mecanismo em uma superfície, que pode ser aplicada para muitos outros sistemas de biossensores.

Mahmoud *et al.* (2015) teve como objeto de estudo as tecnologias de dessalinização de membranas e purificação de água, que tornaram-se importantes meios eficientes em termos energéticos para garantir recursos de água doce em todo o mundo. Entre os avanços recentes significativos na concepção e desenvolvimento de novos sistemas de membrana é o uso de grafenos. As dopagens de grafeno ofereceram uma nova classe de membranas de separação mecanicamente robustas, ultrafinas, de alto fluxo, de alta seletividade e de incrustação que oferecem oportunidades para avançar as tecnologias de dessalinização da água. A síntese fácil das membranas nanométricas de grafeno (MNG) e óxido de grafeno (GO) abre a porta para membranas de próxima geração ideais como alternativa econômica e sustentável às membranas de poliamida composta de película fina de longo prazo, para aplicações de purificação de água. Neste trabalho, destacou-se a estrutura e a preparação das membranas MNG e GO, além de discutir as experiências recentes, simulações computacionais e modelos teóricos, abordando as propriedades mecânicas únicas, a seletividade iônica e possíveis mecanismos de transporte através destas membranas. É dada particular ênfase às propriedades anti-incrustantes das membranas NPG e GO modificadas, baseadas nos esquemas de fabricação e funcionalização mesmas. Estes afirmam que este artigo abrirá novos caminhos e interesses para novas inovações e aplicações de NPG e GO em dessalinização e tratamento de água.

Tang *et al.* (2015) apresenta o recente progresso computacional na descoberta das propriedades intrínsecas estruturais, eletrônicas e magnéticas de vários nanomateriais em 2D baseados em grafeno, além de identificar suas aplicações potenciais. Inspirados pelos estudos intensivos de grafeno, os cientistas colocaram esforços extraordinários na exploração de propriedades e fenômenos que envolvem nanomateriais bidimensionais (2D) sem carbono e graficas, particularmente aqueles que consistem apenas em camadas simples ou poucas camadas.

Estes identificaram que, experimentalmente, muitas estruturas 2D semelhantes ao grafeno foram fabricadas a partir de uma grande variedade de materiais em camadas e já apresentaram propriedades excepcionais, que oferecerão novos avanços e oportunidades inovadoras na ciência dos nanomateriais. Afirmam ainda que, teoricamente, os cálculos da densidade funcional fornecem

uma poderosa ferramenta para investigar a estrutura eletrônica, principalmente o estado fundamental, dos nanomateriais, prever suas propriedades intrínsecas, auxiliar na caracterização e racionalização dos achados experimentais, além de explorar suas potenciais aplicações. Por fim, notou-se que muitos materiais semelhantes ao grafeno foram explorados e projetados, e propriedades relevantes foram divulgadas.

Quintana *et al.*(2013) analisa o projeto de folhas artificiais de plantas, afirmando que, para tal, exigem-se novos materiais que permitam a catálise multieletrônica com um excesso de potencial, alta frequência de rotatividade e estabilidade a longo prazo. O estudo busca definir se o grafeno é um material melhor do que os nanotubos de carbono para utilização na catálise de oxidação da água para aplicações de geração de energia (fotossíntese). Demonstrou-se que o grafeno funcionalizado com uma distribuição adaptada de amostras de amônia fornece uma nanoplataforma de carbono  $sp^2$  para ancorar um catalisador de tetrarutenato totalmente inorgânico, imitando o fluxo evolutivo de oxigênio natural. O material híbrido resultante exibe a evolução do oxigênio em excesso de potencial com perda de desempenho irrelevante após 4 horas de teste. Foi identificado que este recurso eletroativo de multicamadas aumenta a frequência de rotatividade em uma ordem de grandeza em relação ao catalisador isolado, e que fornece um grau definitivo do material de nanotubos de carbono, com uma funcionalização de superfície semelhante. A inovação proposta pelos autores baseia-se em uma base sintética não invasiva para a utilização e funcionamento do grafeno, que vai além dos métodos de redução de oxidação pouco definidos, permitindo um controle definitivo das propriedades da superfície do material.

Liang *et al.*(2015) faz uma análise no caminho da inovação na moderna tecnologia da informação, afirmando que a memória de acesso aleatório de comutação resistiva (MCAACR) foi considerada o melhor candidato potencial para substituir as tecnologias convencionais baseadas no elemento químico Silício. Este fato se justifica, pois a alta densidade de armazenamento e baixo consumo de energia, bem como a flexibilidade para a próxima geração de memórias não voláteis tangíveis, estimularam pesquisas extensivas sobre o MCAACR. Neste trabalho, destaca-se um análogo inorgânico de grafeno, partículas ultrafinas, com apenas 2-3 nm de espessura, como um material promissor para construir um dispositivo de MCAACR de alto desempenho e flexível. Estes afirmam que a abundância de espaços associados nas folhas de nódulos, ultrafinas, atua na formação de filamentos condutores, que sinergicamente realizam a memória de comutação resistiva

com baixa tensão de operação e relação ON / OFF de grande resistência. O dispositivo criado apresentou um longo tempo de retenção, boa resistência e excelente flexibilidade. Por fim, a descoberta da existência de defeitos distintos em nano-folhas ultrafinas, indubitavelmente, leva a uma compreensão profunda do nível atômico da natureza do comportamento de comutação resistiva, que pode servir de guia para melhorar os desempenhos e promover o rápido desenvolvimento da MCAACR.

Li *et al.* (2014) discute, com base no trabalho realizado no laboratório pesquisa dos mesmos, o modelo de estrutura e o design do sistema de energia, analisando a evolução das baterias de lítio para fornecer informações científicas e conselhos técnicos para o desenvolvimento de veículos de energia renovável. A justificativa do trabalho está ancorada na premissa de que as inovações fundamentais no sistema de bateria dependem das propriedades da estrutura, das quais as estruturas do gradiente de grafeno e de concentração tornam-se cada vez mais prospectivas. Estes afirmam que o desempenho da estrutura se relaciona estreitamente com o desempenho da bateria e o avanço das tecnologias das baterias, pois as propriedades de produção de bateria de íon de lítio determinam a energia específica e a potência específica do veículo de energia renovável. O trabalho demonstra que os modelos de grafeno, com seus sistemas de energia correspondentes, melhoram significativamente o desempenho das baterias de lítio, suportando assim uma maior quilometragem e vida útil, ao mesmo tempo em que oferecem novas ideias para o projeto de veículos de energia renovável. Em comparação com outras baterias de energia, as baterias de lítio são vantajosas para atender aos requisitos criados pelos veículos elétricos, como a longa quilometragem, o carregamento de alta corrente e a segurança. Portanto, concluiu-se que as baterias de lítio utilizando gradientes de grafeno são confiáveis e viáveis para a implantação em veículos elétricos a bateria.

## CONCLUSÕES

Este trabalho propôs-se a realizar uma pesquisa sobre o grafeno e sua aplicação no desenvolvimento de inovações tecnológicas, com o objetivo de apresentar uma seleção de artigos como preâmbulo para uma análise de trabalhos mais relevantes referentes ao tema proposto.

O modelo proposto por Costa (2010) mostrou-se adequado, pois oportuniza ao pesquisador uma diretriz para iniciar-se uma pesquisa, sendo esta respaldada em trabalhos científicos com maior relevância e credibilidade, com resultados obtidos a partir de refinamentos nas buscas relacionadas,

o que leva a identificação da área de pesquisa com maior número de artigos já publicados, maior número de autores com publicações relacionadas, os países com maior aplicação científica do tema e ainda podendo verificar e explorar a cronologia das produções.

O idioma inglês é aquele mais utilizado para publicação de trabalhos entre os diversos países relacionados na pesquisa, um total de 136 publicações, e havendo apenas trabalho relacionado publicado em português. Isto pode ser identificado pelo número de publicações realizadas com origem nos Estados Unidos, com 34 no total, sendo este aquele que apresenta, ao lado da China, maior número de produções científicas vinculadas ao tema.

A partir dos resultados da análise, foi possível observar que o grafeno e suas dopagens têm sido amplamente aplicados em pesquisas de desenvolvimento de supercapacitores, na síntese de nanomateriais híbridos, no sequenciamento de DNA, no isolamento e análise de células tumorais circulantes, no desenvolvimento de biossensores para hibridação do DNA, processos de dessalinização e tratamento de água, cálculos da densidade funcional computacional na descoberta das propriedades deste material, no projeto de folhas artificiais de plantas, no desenvolvimento mecanismos de memória de acesso aleatório de comutação resistiva e na melhoria no desempenho de baterias de lítio. Também foi possível identificar a crescente discussão do tema com o passar dos anos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo suporte financeiro para a execução deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCHAMBAULT, É.; CAMPBELL, D.; GINGRAS, Y.; LARIVIÈRE, V. Comparing bibliometric statistics obtained from the Web of science and scopus. **Journal of the Association for Information Science and Technology**, **60**(7), 1320-1326, 2009. <https://doi.org/10.1002/asi.21062>.
- CORTEZ, P. Some Scholarly Communication Guidelines: Teaching Report. Departamento de Sistemas de Informação da Universidade do Minho, 2011.
- COSTA, H. Modelo para webibliomining: proposta e caso de aplicação. **Revista FAE**, **13**(1), p. 115-126, 2010.
- CHEN, Y.-B.; LIU, J. S.; LIN, P. Recent trend in graphene for optoelectronics. **Journal of Nanoparticle Research**, **15**(2), 1–14, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11051-013-1454-3>.
- DE JESUS, I. R. D.; COSTA, H. G. Interfaces between production engineering and the public affairs: evidences from bibliometric analysis. **Scientometrics**, **105**(2), 1183-1193, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1724-1>.

- DU, J.; CHENG, H.-M. The Fabrication, Properties, and Uses of Graphene/Polymer Composites. **Macromolecular Chemistry and Physics**, **213**(10-11), 1060-1077, 2012. <https://doi.org/10.1002/macp.201200029>.
- HEEREMA, S. J.; DEKKER, C. Graphene nanodevices for DNA sequencing. **Nature Nanotechnology**, **11**(2), p. 127-136, 2016. <https://doi.org/10.1038/nnano.2015.307>.
- KIM, K. S.; ZHAO, Y.; JANG, H.; LEE, S. Y.; KIM, J. M.; KIM, K. S.; AHN, J. H.; KIM, P.; CHOI, J. Y.; HONG, B. H. Large-Scale Pattern Growth of Graphene Films for Stretchable Transparent Electrodes. **Nature**, **457**(7230), 706-710, 2009. <https://doi.org/10.1038/nature07719>.
- KUILLA, T.; BHADRA, S.; YAO, D.; KIM, N. H.; BOSE, S.; LEE, J. H. Recent advances in graphene based polymer composites. **Progress in Polymer Science**, **35**(11), 1350-1375, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2010.07.005>.
- LI, Y.; SONG, J.; YANG, J. A review on structure model and energy system design of lithium-ion battery in renewable energy vehicle. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **37**, 627-633, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.059>.
- LIANG, L.; LI, K.; XIAO, C.; FAN, S.; LIU, J.; ZHANG, W.; XU, W.; TONG, W.; LIAO, J.; ZHOU, Y.; YE, B.; XIE, Y. Vacancy associates-rich ultrathin nanosheets for high performance and flexible nonvolatile memory device. **Journal of the American Chemical Society**, **137**(8), 3102-3108, 2015. <https://doi.org/10.1021/jacs.5b00021>.
- LIU, B.; SUN, Z.; ZHANG, X.; LIU, J. Mechanisms of DNA sensing on graphene oxide. **Analytical Chemistry**, **85**(16), 7987-7993, 2013. <https://doi.org/10.1021/ac401845p>.
- MAHMOUD, K.A.; MANSOOR, B.; MANSOUR, A.; KHRAISHEH, M. Functional graphene nanosheets: the next generation membranes for water desalination. **Desalination**, **356**, 208-225, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.10.022>.
- NOVOSELOV, K. S.; GEIM, A. K.; MOROZOV, S. V.; JIANG, D.; ZHANG, Y.; DUBONOS, S. V.; GRIGORIEVA, I. V.; FIRSOV, A. A. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. **Science**, **306**(5696), 666, 2004. <https://doi.org/10.1126/science.1102896>.
- ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO ECONÔMICA E DESENVOLVIMENTO. **Manual de Oslo: proposta de diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica**, 3. ed. 2005. 136 p.
- PAULRÉ, B. Les tendances innovatrices des sociétés contemporaines. **Quaderni**, **90**(2), 5-20, 2016.
- QUINTANA, M.; LÓPEZ, A. M.; RAPINO, S.; TOMA, F.M.; IURLO, M.; CARRARO, M.; SARTOREL, A.; MACCATO, C.; KE, X.; BITTENCOURT, C.; DA ROS, T.; VAN TENDELOO, G.; MARCACCIO, M.; PAOLUCCI, F.; PRATO, M.; BONCHIO, M. Knitting the catalytic pattern of artificial photosynthesis to a hybrid graphene nanotexture. **ACS Nano**, **7**(1), 811-817, 2013. <https://doi.org/10.1021/nn305313q>.
- RANJBARTOREH, A. R.; WANG, B.; SHEN, X.; WANG, G. Advanced mechanical properties of graphene paper. **Journal of Applied Physics**, **109**(1), 014306, 2011. <https://doi.org/10.1063/1.3528213>.
- SINGH, V.; JOUNG, D.; ZHAI, L.; DAS, S.; KHONDAKER, S. I.; SEAL, S. Graphene Based Materials: Past, Present and Future. **Progress in Materials Science**, **56**(8), 1178-1271, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2011.03.003>.
- TANG, Q.; ZHOU, Z.; CHEN, Z. Innovation and discovery of graphene-like materials via density-functional theory computations. **WIREs Computational Molecular Science**, **5**(5), p. 360-379, 2015. <https://doi.org/10.1002/wcms.1224>.



- TOMA, H.E. **O Mundo Nanométrico: a dimensão do novo século**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2009. 104 p.
- XIA, B.Y.; YAN, Y.; WANG, X.; LOU, X.W. Recent progress on graphene-based hybrid electrocatalysts. **Materials Horizons**,1(4), 379-399, 2014. <https://doi.org/10.1039/C4MH00040D>.
- YOON, H.J.; KOZMINSKY, M.; NAGRATH, S. Emerging role of nanomaterials in circulating tumor cell isolation and analysis. **ACS Nano**, 8(3), 1995-2017, 2014. <https://doi.org/10.1021/nn5004277>.
- ZHANG, J.; ZHAO, X. S. On the configuration of supercapacitors for maximizing electrochemical performance. **ChemSusChem**, 5(5), 818-841, 2012. <https://doi.org/10.1002/cssc.201100571>.
- ZUPIC, I.; CATER, T. Bibliometric methods in management and organization. **Organizational Research Methods**, 18(3), 429-472, 2015. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>.