V ENCONTRO NACIONAL DE PROPRIEDADE INTELECTUAL
16 a 18 de maio de 2019
Florianópolis - SC

ESTUDO PROSPECTIVO DE TECNOLOGIAS REVOLUCIONÁRIAS: UMA ABORDAGEM SOBRE O GRAFENO ASSOCIADO AOS CIRCUITOS INTEGRADOS

Harlynson Soares Magalhães[1]; Matheus dos Santos Araújo Mendes[2]; Mayllon Veras da Silva[3]; Wanderson de Vasconcelos Rodrigues da Silva[4]; Renata Silva-Mann[5]

[1]Laboratório de Pesquisas e Estudos em Computação – LAPEC/IFPI
Instituto Federal do Piauí – IFPI – Piripiri/PI – Brasil
harlynson.magalhaes@gmail.com
[2]Laboratório de Pesquisas e Estudos em Computação – LAPEC/IFPI
Instituto Federal do Piauí – IFPI – Piripiri/PI – Brasil
matheusshmendes@gmail.com
[3]Laboratório de Pesquisas e Estudos em Computação – LAPEC/IFPI
Instituto Federal do Piauí – IFPI – Piripiri/PI – Brasil
veras@ifpi.edu.br
[4]Programa de Pós-Graduação em Ciência da Propriedade Intelectual – PPGPI/UFS
Laboratório de Pesquisas e Estudos em Computação – LAPEC/IFPI
Instituto Federal do Piauí – IFPI – Piripiri/PI – Brasil
wanderson.vasconcelos@ifpi.edu.br
[5]Departamento de Engenharia Agronômica – DEA
Universidade Federal de Sergipe – UFS – São Cristóvão/SE – Brasil
renatamann@gmail.com

Resumo

O grafeno é um nanomaterial à base de átomos de carbono que tem despertado bastante interesse da comunidade científica na última década, principalmente em virtude de sua descoberta recente ao se conseguir extrai-lo da grafita, feito que rendeu aos pesquisadores envolvidos o prêmio Nobel de física em 2010. Por ser resistente, leve, flexível, transparente e um excelente condutor, estima-se que o grafeno poderá substituir futuramente o silício na produção de circuitos integrados, tornando os dispositivos eletrônicos mais compactos, rápidos e eficientes. Deste modo, o presente trabalho teve por objetivo realizar um estudo prospectivo sobre as tecnologias envolvendo o grafeno associado aos circuitos integrados, tendo por base os depósitos de patentes disponíveis nos bancos de dados do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), do Escritório Europeu de Patentes (EPO) e da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO). O mapeamento tecnológico realizado permitiu uma visão geral do atual estado de desenvolvimento da tecnologia abordada neste estudo, constatando-se que, apesar do grande interesse sobre o grafeno e dos progressos consideravelmente rápidos, ainda existem desafios a serem superados, principalmente quanto à dificuldade de produção em escala industrial e que o Brasil já deu os primeiros passos rumo essa tecnologia promissora.

Palavras-chave: prospecção tecnológica; grafeno; circuitos integrados.

1 Introdução

A história da humanidade é marcada pelas descobertas e inovações resultantes da criação do intelecto humano para atender suas necessidades. Esse diferencial permitiu alcançar o atual e importante nível de desenvolvimento econômico, tecnológico e de qualidade de vida. No que diz respeito à ciência da computação os avanços foram e são até os dias de hoje bastante significativos, promovendo o desenvolvimento de computadores com alto poder de processamento capazes de realizar tarefas que não eram possíveis de se imaginar na época dos cartões perfurados.

Para o computador, um componente foi essencial ao seu desenvolvimento, tanto que é usado até hoje em sua fabricação: o transistor, um dispositivo composto por um material semicondutor que atua como um interruptor permitindo ou não a passagem da eletricidade. Essa invenção foi crucial para o progresso da ciência como um todo, o que rendeu aos inventores o prêmio Nobel de física em 1956 e permitiu não apenas o aumento do poder de processamento como também a redução de tamanho dos dispositivos (THE NOBEL PRIZE, 2019).

Todavia sua principal matéria-prima atual, o silício, encontrou seu limite com os transistores de 10 nm (nanômetros), uma vez que do ponto de vista físico e econômico, se tornaria inviável sua produção em larga escala, tanto pela alteração do seu funcionamento quanto pela baixa relação custo-benefício de sua fabricação. Contudo, pesquisas e estudos apontam a utilização de nanotubos de carbono para substituir o silício na produção dos novos transistores, permitindo a fabricação de circuitos integrados com uma litografia que pode chegar a 1 nm (KEDZIERSKI, 2008).

Os nanotubos de carbono são materiais que podem ser obtidos a partir do grafeno, o qual desde sua recente descoberta, vem despertando grande interesse na área de nanotecnologia. Não apenas nanotubos podem ser feitos do grafeno, componentes como baterias, placas, capacitores, também podem ser produzidos ou ainda mesmo circuitos inteiros, categorizando os circuitos integrados. No entanto essa tecnologia ainda está em fase de estudos e muitos protótipos estão a ser construídos e até mesmo patenteados, porém poucos estão em estágio de (ZHU et al., 2008).

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi realizar um estudo prospectivo sobre as tecnologias envolvendo o grafeno associado aos circuitos integrados, tendo por base os depósitos de patentes disponíveis nas bases do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), do Escritório Europeu de Patentes (EPO) e da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO).

2 Fundamentação teórica

O grafeno consiste de uma folha plana de átomos de carbono, formando uma camada monoatômica que pode ser utilizada como matéria-prima para diversas aplicações. Os estudos sobre o grafeno se iniciaram ainda no século passado, porém só foi possível sua extração no final do ano de 2004 por Andrei Geim e Kostantin Novoselov, da Universidade de Manchester, utilizando uma técnica conhecida como esfoliação mecânica, a qual lhes rendeu o prêmio Nobel de física no ano de 2010 (THE UNIVERSITY OF MANCHESTER, 2019; VIEIRA SEGUNDO; VILAR, 2016).

Existem vários processos para obtenção de nanomateriais além do utilizado por Geim e Novoselov. Esses processos são classificados como métodos *bottom-up* (BU), os quais buscam construir objetos maiores a partir de fragmentos menores; e métodos *top-down* (TD), nos quais objetos maiores são fracionados até se obter objetos menores, normalmente em escala manométrica. Entre os procedimentos de aquisição do grafeno, as técnicas de esfoliação mecânica, esfoliação química em fase líquida e deposição química a vapor estão entre as mais utilizadas (TOUR, 2014).

O grafeno é extraído a partir da grafita, mais conhecida como grafite, um mineral macio e flexível composto inteiramente de carbono e considerado o melhor condutor térmico e elétrico entre os não metais e, também, é quimicamente inerte. De acordo com Novoselov et al. (2004), o processo de esfoliação mecânica consiste em desprender repetidas vezes partes da grafita utilizando fita adesiva para tornar as camadas cada vez mais finas e posteriormente anexar os flocos de carbono colhidos a uma placa de dióxido de silício (SiO_2) para então separar o grafeno.

A esfoliação química em fase líquida baseia-se no enfraquecimento das interações de *Van Der Waals* existentes entre as camadas de grafeno através do uso de reagentes, como exemplo a imersão do grafite em uma solução de ácido sulfúrico, produzindo dispersões coloidais que posteriormente passam por sucessivas centrifugações. Quanto à deposição química a vapor, trata-se da expansão do grafeno em superfícies metálicas e, posteriormente, por meio de ataque químico, o grafeno pode ser transferido para outro substrato (MUÑOZ et al., 2018; ZHU et al., 2018).

O processo de esfoliação química em fase líquida é um dos métodos mais promissores, uma vez que poderá ser escalonado para a produção em grandes volumes, porém ainda se encontra em estágio de pesquisa. Para Alan, Sharma e Kumar (2017), isso significa que apesar do título de material mais fino fabricado pelo homem e de suas características únicas, como rigidez, resistência, transparência, flexibilidade, condutividade elétrica e térmica, essa tecnologia ainda poderá permanecer distante da maioria do público.

Segundo Rebello, Nascimento e Amarante (2018), o motivo pelo qual existem inúmeros estudos voltados aos métodos de produção em larga escala do grafeno, deve-se muito a sua gama de utilidades, especialmente na microeletrônica na qual poderá ser utilizado na fabricação de Circuitos Integrados (CIs), definido por Kilby (1964) como uma junção de componentes interligados por uma fina camada de um material semicondutor. Kedzierski et al. (2008) afirma que o uso do grafeno na composição de CIs, não apenas poderia melhorar a eficiência dos dispositivos eletrônicos, como também seria capaz de ampliar a capacidade de processamento dos computadores atuais.

Diante desse cenário, é de grande importância aos países tirar proveito do grafeno, principalmente aqueles que possuem as maiores reservas de sua matéria-prima, a grafita natural. O Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) aponta que em 2015, último ano no qual foram publicados dados sobre a produção brasileira, os países que apresentaram os maiores indicadores de produção mundial foram: China (65,5%), Índia (14,3%) e Brasil (6,9%). O Brasil aparece como 3° colocado no *ranking*, com um total de 82.000 toneladas de grafita produzida, na qual 20.798 (25,4%) foram destinadas à exportação, conforme dados da Tabela 1 (BRASIL, 2018).

Tabela 1 - Dados do grafite brasileiro

	Unidade	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
Reserva Brasileira	10^3t	58336	39805	72064	70135	72000
Produção Brasileira	10^3t	105	88	92	87	82
Exportação	t	24202	22993	20311	22272	20798
Importação	t	1410	1234	1106	469	518

Fonte: Adaptado de Brasil (2018)

No Brasil, o excedente da produção ainda não é massivamente destinado à produção e pesquisa do grafeno, mas essa situação tende a melhorar. Em 2016, foi inaugurado o Centro de Pesquisas Avançadas em Grafeno, Nanomateriais e Nanotecnologia, conhecido como *MackGraphe*, localizado na Universidade Presbiteriana Mackenzie, a qual destina-se unicamente ao estudo e a produção do grafeno. O *MackGraphe* foi uma realização da Universidade Mackenzie juntamente com a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (MACKENZIE, 2019).

3 Procedimentos metodológicos

A metodologia utilizada no desenvolvimento da pesquisa envolveu aspectos descritivos e exploratórios. Inicialmente realizou-se uma busca na literatura através de artigos publicados em periódicos para contextualização do tema, evidenciando sua relevância e justificativa para o desenvolvimento deste estudo de prospecção tecnológica.

Este estudo prospectivo realizou o mapeamento tecnológico sobre o uso do grafeno associado aos circuitos integrados a partir do levantamento de dados das patentes depositadas nas

seguintes bases: *Patentscope*, serviço de busca de patentes da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (*World Intellectual Property Organization* - WIPO), *Espacenet* do Escritório Europeu de Patentes (*European Patent Office* - EPO) e Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI. As buscas pelas informações tecnológicas foram executadas em fevereiro de 2019.

Foi elaborada uma estratégia de busca avançada que combinou por meio de operadores lógicos as palavras-chave em língua portuguesa e inglesa pesquisadas no campo título e/ou resumo das bases de dados definidas para o estudo. Dessa forma foi utilizada a expressão "(grafeno AND circuito integrado) OR (*graphene* AND *integrated circuit*)", permitindo restringir a busca ao escopo desta prospecção.

Os dados coletados foram submetidos a exames a fim de detectar erros. Em seguida, foram tabulados em planilhas eletrônicas do *Microsoft Excel*® para poderem ser processados e demonstrados em tabelas e gráficos. A seção seguinte apresenta o mapeamento da tecnologia estudada por meio da análise quantitativa dos documentos de patentes encontrados, atribuindo aos mesmos, significados mais amplos, vinculando-os a outros conhecimentos teóricos já existentes na literatura.

4 Resultados e discussão

O mapeamento identificou um total de 273 processos de depósitos de Patentes de Invenção (PI) e Modelos de Utilidade (MU) relacionados ao uso do grafeno em associação com circuitos integrados, dos quais 122 estão disponíveis no *Espacenet* e 151 no *Patentscope*, conforme apresentado na Tabela 2. No INPI não foi encontrado registro que atendesse ao critério previamente estabelecido. Ao realizar uma busca simples no INPI apenas com o termo "grafeno" no campo resumo, foram encontrados 96 registros, sendo que a maioria dessas patentes está relacionada ao processo de extração do grafeno (CIP C01B) ou sua aplicação (CIP B82Y).

Tabela 2 – Depósitos de patentes por base de dados

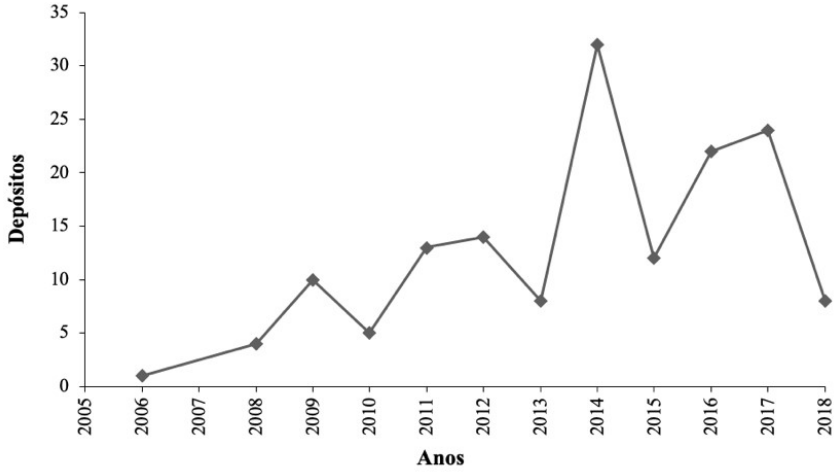
Base	Quantidade
European Patent Office (Espacenet)	122
Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI)	0
World Intellectual Property Organization (Patentscope)	151
Total	**273**

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Após análise das 273 patentes, verificou-se que havia um grande número de documentos duplicados, os quais foram eliminados para não comprometer a pesquisa, restando 153 patentes que foram analisadas em relação ao ano de depósito, país de origem, Classificação Internacional de Patentes (CIP), inventores e depositantes.

O primeiro depósito de patente do grafeno associado aos CIs foi realizado em 2006 pela Universidade de Hokkaido no Japão que o nomeou de forma direta *Graphene Integrated Circuit*, dando início aos depósitos neste setor que teve seu pico com 32 patentes em 2014, ano em que grandes empresas de tecnologia, a exemplo da *International Business Machines* (IBM), começaram a apresentar ao público os primeiros protótipos, promovendo o avanço nesse setor. A Figura 1 mostra que existe uma tendência de crescimento no número de patentes, impulsionada pelo desenvolvimento dos processos de obtenção do grafeno e suas aplicações promissoras.

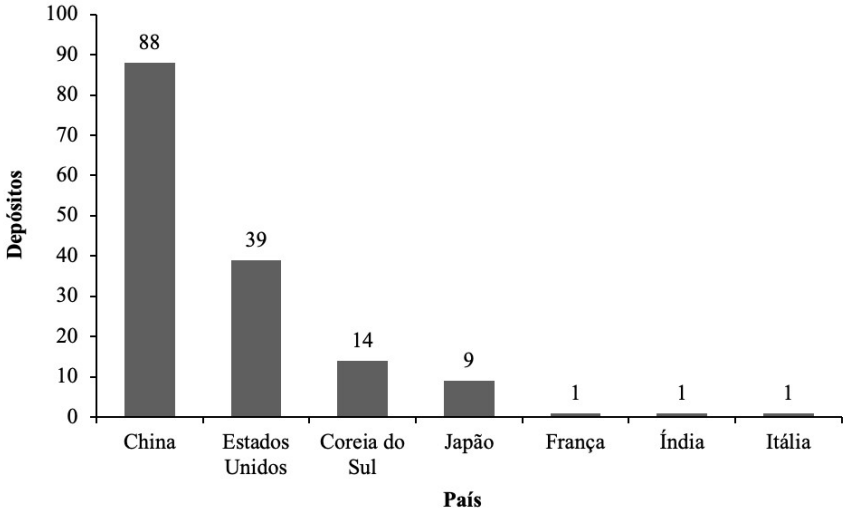
Figura 1 – Evolução anual dos depósitos de patentes



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Com relação aos depósitos de patentes por país, observa-se que a China foi o maior depositante, tendo realizado 88 depósitos, o que equivale a 57,5% das patentes, seguida dos Estados Unidos com 39 (25,4%), Coreia do Sul com 14 (9,1%), Japão com 9 (5,9%), França com 1 (0,7%), Índia com 1 (0,7%) e Itália com 1 (0,7%), conforme apresentado na Figura 2 (SPUTNIK BRASIL, 2015). A notoriedade da China se deve por, além de ser o maior produtor mundial de grafita, as universidades e empresas chinesas também aproveitam a disponibilidade do recurso para o desenvolvimento de novas aplicações tecnológicas, em especial, a criação de equipamentos eletrônicos mais leves, resistentes e com algo poder de processamento.

Figura 2 – Distribuição das patentes depositadas por país



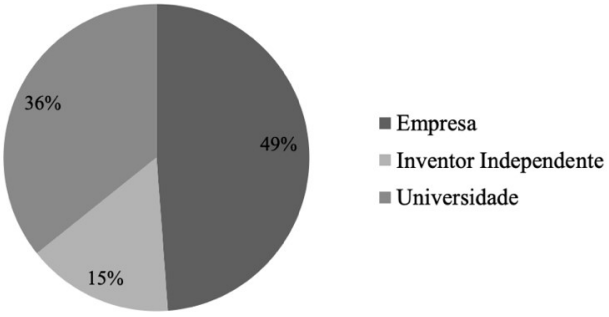
Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Quanto à Classificação Internacional de Patentes (CIP), a maioria dos depósitos (54,9%) se concentra na subseção H01L que envolve dispositivos semicondutores e dispositivos elétricos de estado sólido não incluídos em outras subseções, o que já era esperado visto que este estudo faz uma abordagem sobre circuitos integrados, porém outras subseções aparecem nos documentos como por exemplo: B82Y (fabricação, tratamento e aplicação de nanoestruturas), C01B (elementos não-metálicos e seus compostos), F21V (funcionamento de dispositivos ou sistemas de iluminação), G01N (investigação ou análise de materiais por suas propriedades), entre outros. Isso se dá pelo fato de que as patentes não se limitam a uma única classificação, podendo ter diferentes aplicações.

Os inventores que mais participaram no desenvolvimento da tecnologia revolucionária foram: Zhou Peng com 10 patentes (6,5%), Shen Yulan e Okai Makoto, ambos com 8 (5,2%) e

Yang Songbo com 7 patentes (4,6%), sendo que alguns inventores trabalham em desenvolvimento conjunto para alguma empresa ou universidade que financia e mantém a titularidade das patentes. A Figura 3 apresenta o perfil desses titulares ou depositantes, os quais se destacam as empresas com metade das patentes depositadas, seguidas pelas universidades ou institutos de pesquisa tecnológica.

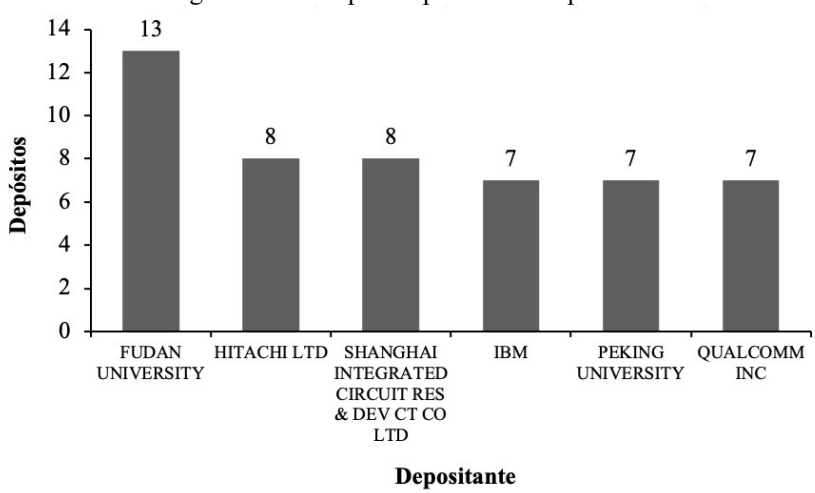
Figura 3 – Perfil dos depositantes



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Ao analisar os 6 principais depositantes, verificou-se que duas universidades se destacam nesse setor: a Universidade de Fudan, uma das mais antigas e prestigiadas da China, que desponta como líder no número depósitos desta prospecção, conforme exposto na Figura 4 e a Universidade de Pequim, considerada uma das melhores da China.

Figura 4 – Principais depositantes de patentes



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Ainda entre os principais depositantes, a China se destaca no setor empresarial com o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Circuitos Integrados de Xangai Ltda., que opera na fabricação de microcircuitos integrados. Companhias famosas aparecem nessa lista como a japonesa Hitachi e as americanas IBM e Qualcomm.

Com 7 patentes depositadas nessa área, a IBM já apresentou ao público um circuito integrado funcional sobre o grafeno, capaz de processar informações mais rápido que os computadores domésticos atuais, revolucionando os sistemas de comunicação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se que a análise dos depósitos de patentes constitui uma importante ferramenta de pesquisa tecnológica, as informações apresentadas neste estudo permitiram identificar o atual nível de desenvolvimento da tecnologia abordada.

O grafeno já vem sendo estudado há décadas, bem como suas propriedades excepcionais, suas aplicações que parecem ser infinitas e o fato de ser obtido com matéria-prima de baixo custo: a grafita. O principal desafio diz respeito a extração do grafeno em larga escala e com custos viáveis para o desenvolvimento de soluções tecnológicas que possam atender o mercado.

Devido aos avanços no seu processo de extração, o grafeno começou a ganhar destaque a partir de 2004, quando dois cientistas da Universidade de Manchester conseguiram isolar o material à temperatura ambiente e, partir daí, começaram os depósitos de patentes associadas aos circuitos integrados sobre o grafeno, conforme os dados apresentados nesta pesquisa. A grande vantagem do grafeno é justamente a altíssima velocidade com que os pulsos elétricos conseguem passar por ele, podendo chegar na ordem de Terahertz (Thz).

A China tem se destacado nessa tecnologia, seja pelas pesquisas desenvolvidas nas universidades, como também na indústria com a fabricação de microcircuitos. Muitas outras empresas fizeram registros de patentes relacionadas ao nanomaterial revolucionário, porém esta prospecção identificou que, para as potencialidades do grafeno serem melhor exploradas e promover o desenvolvimento de aplicações acessíveis, ainda há necessidade de mais estudos nessa área para que as pesquisas avancem a cada nova descoberta.

O Brasil é um dos países que tem grande potencial nessa área. Além de possuir uma das maiores reservas de grafite do mundo, o centro de pesquisas *MackGraphe* conta com pesquisadores de diversas áreas e pretende concorrer com países já consolidados no setor de nanomateriais, com a exploração do grafeno para fins industriais e científicos, o que aponta novos rumos para as pesquisas sobre o grafeno no país.

REFERÊNCIAS

ALAM, S. N.; SHARMA, N.; KUMAR, L. Synthesis of graphene oxide (GO) by modified hummers method and its thermal reduction to obtain reduced graphene oxide (rGO). **Graphene**, v. 6, n. 01, p. 1-18, jan. 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). **Sumário Mineral 2016**. Brasília: DNPM, 2018. 131p. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral>. Acesso em: 05 fev. 2019.

KEDZIERSKI, J. et al. Epitaxial graphene transistors on SiC substrates. **2008 Device Research Conference**, Santa Barbara, v. 55, n. 8, p. 2078-2085, jun. 2008.

KILBY, J. S (Inventor). TEXAS INSTRUMENTS INC. (Depositante). **Miniaturized electronic circuits**. Estados Unidos. US3138743. Depósito: 6 fev. 1959. Concessão: 23 jun. 1964. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US3138743>. Acesso em: 10 fev. 2019.

MACKENZIE. **MackGraphe**. Disponível em: <https://www.mackenzie.br/mackgraphe/>. Acesso em: 09 fev. 2019.

MUÑOZ, S. H. et al. Fabricación y caracterización de materiales compuestos reforzados con óxido de grafeno. **Materiales Compuestos**, [S.l.], v. 2, n. 4, p. 22-25, out. 2018.

NOVOSELOV, K. S. et al. Electric field effect in atomically thin carbon films. **Science**, [S.l.], v. 306, n. 5696, p. 666-669, out. 2004.

REBELLO, E. V.; NASCIMENTO, G. A.; AMARANTE, M. Grafeno. **Revista Pesquisa e Ação**, Mogi das Cruzes, v. 4, n. 1, p. 209-218, jun. 2018.

SPUTNIK BRASIL. **China apresenta nova geração de celulares de grafeno.** 2015. Disponível em: <https://br.sputniknews.com/ciencia_tecnologia/20150303317454/>. Acesso em: 01 mar. 2019.

THE NOBEL PRIZE. **The Nobel Prize in Physics 1956.** Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1956/summary/>. Acesso em: 02 mar. 2019.

THE UNIVERSITY OF MANCHESTER. **The Discovery of Graphene**. Disponível em: <https://www.graphene.manchester.ac.uk/learn/discovery-of-graphene/>. Acesso em: 01 fev. 2019.

TOUR, J. M. Top-Down versus Bottom-Up Fabrication of Graphene-Based Electronics. **Chemistry of Materials**, Edmonton, v. 26, n. 1, p. 163-171, jan. 2014.

VIEIRA SEGUNDO, J. E. D.; VILAR, E. O. Grafeno: uma revisão sobre propriedades, mecanismos de produção e potenciais aplicações em sistemas energéticos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**. [S.l.], v. 11, n. 2, p. 54-67, ago. 2016.

ZHU, Y. et al. Mass production and industrial applications of graphene materials. **National Science Review**. [S.l.], v. 5, n. 1, p. 90-101, jan. 2018.