



Universidade de Brasília

Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

Departamento de Administração

JOÃO PEDRO MAGALHÃES DA ROCHA

**GRAFENO COMO FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL:
um estudo prospectivo**

Brasília – DF

2015

JOÃO PEDRO MAGALHÃES DA ROCHA

**GRAFENO COMO FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL:
um estudo prospectivo**

Monografia apresentada ao
Departamento de Administração como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Administração.

Professor Orientador: Doutora Dorian
Daroit

Brasília – DF
2015

JOÃO PEDRO MAGALHÃES DA ROCHA

**GRAFENO COMO FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL:
um estudo prospectivo**

A Comissão Examinadora, abaixo identificada, aprova o Trabalho de Conclusão do Curso de Administração da Universidade de Brasília do
aluno

João Pedro Magalhães da Rocha

Doutora Doriana Daroit
Professor-Orientador

Doutora Christiana Soares de Freitas
Professor-Examinador

Doutora Josivânia Silva Farias
Professor-Examinador

Brasília, 29 de Junho de 2015.

Dedico este trabalho à minha namorada Izabela Mesquita, que ofereceu total compreensão, paciência, apoio e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho, tornando tudo isto possível e muito agradável.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à instituição UnB por oferecer um ambiente acadêmico favorável ao ensino e aprendizado. À minha orientadora, Doriana Daroit, por sua dedicação, paciência e auxílio durante minha formação. À minha namorada, Izabela, que me apoiou e incentivou durante todo o período de elaboração deste trabalho. Aos meus familiares, em especial a meus pais e meu irmão, que tornaram esta jornada algo incrivelmente interessante. Aos meus amigos, pela companhia e suporte durante toda minha vida. E, por fim, a todos que fizeram parte de alguma forma da elaboração deste trabalho, assim como de minha formação.

RESUMO

Com o crescente desenvolvimento das populações, a busca por métodos sustentáveis de se obter energia tem gerado uma demanda por fontes renováveis de energia, assim como o desenvolvimento de sistemas mais eficientes, de forma a garantir um desenvolvimento sustentável, onde a pesquisa e desenvolvimento de inovações tem exercido um papel importante. O grafeno, um material recém descoberto e que possui propriedades únicas nele concentradas, foi recentemente descoberto, e estudos apontam a possibilidade de utilizá-lo na área de geração e armazenamento de energia. Este trabalho realiza um estudo prospectivo sobre o grafeno como fonte de energia renovável através de uma análise documental, assim como a realização de entrevistas com pesquisadores e organizações que adotaram o material em suas atividades, com a finalidade de obter informações sobre as características e propriedades do grafeno, seu potencial como inovação, suas aplicações, sua adoção no contexto organizacional e possibilidades quanto a seu uso na área de energia sustentável. Os principais resultados indicam que o grafeno apresenta a possibilidade para produção de dispositivos e sistemas de energia limpa de alta eficiência a custos reduzidos, porém ainda há limitações quanto à sua síntese e aplicação dificultam a comercialização em grande escala de produtos de grafeno.

Palavras-chave: Grafeno. Inovação. Energia. Sustentabilidade.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CVD – Carbon Vapor Deposition

MME – Ministério de Minas e Energia

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ONU – Organização das Nações Unidas

TEP – Toneladas Equivalentes de Petróleo

USP – Universidade de São Paulo

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

WWF – World Wide Fund for Nature

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Formulação do problema	11
1.2	Objetivo Geral	11
1.3	Objetivos Específicos	12
1.4	Justificativa	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Inovação	14
2.2	Energia e sustentabilidade	18
3	MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA	23
3.1	Tipo e descrição da pesquisa	23
3.2	Caracterização da área do estudo	24
3.3	Seleção de estudos e participantes da pesquisa	25
3.4	Procedimentos de coleta e análise de dados	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	Características teóricas dos estudos	33
4.2	Características metodológicas dos estudos	34
4.3	Resultados apresentados nos estudos	35
4.4	Características, propriedades e métodos de produção do material	37
4.5	Grafeno como inovação, aplicações, vantagens e desvantagens	40
4.6	Adoção do grafeno	45
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICES	63

1 INTRODUÇÃO

Grafeno é um material que, de acordo com Novoselov et al. (2004), é composto por uma única camada de átomos de carbono alinhados em uma grade com formato hexagonal, o que o faz um material bidimensional. O grafeno tem seu nome derivado do grafite, por possuírem um alinhamento de átomos igual, porém a principal diferença entre os dois é o fato do grafeno ser composto por um pequeno número de camadas atômicas, característica que torna o material incrivelmente diferente de sua versão tridimensional por possuir novas propriedades físicas e eletrônicas.

Por ser um material incrivelmente resistente, maleável, transparente e capaz de conduzir eletricidade de uma maneira altamente eficiente, há uma grande utilidade para o grafeno, podendo ainda apresentar um forte potencial inovador para organizações que o adotarem. Outra de suas principais características é o fato de ser derivado do grafite, o qual pode ser encontrado facilmente no ambiente, causando poucos impactos ao meio ambiente devido ao fato de ser um material composto por um elemento comum na natureza.

A partir de estudos no material, foi descoberto que este possui uma grande aplicabilidade em diversos setores. Uma de suas aplicações encontradas está no ramo de telas de toque capacitivas, como as encontradas em celulares. Um protótipo de tela flexível desenvolvido pelo centro de grafeno da University of Cambridge em parceria com a organização Plastic Logic utiliza grafeno em sua composição para desenvolver uma tecnologia semelhante à de telas de vidro, porém utilizando um método de produção mais eficiente, reduzindo o custo para a criação de uma tela flexível, como apresentado por Jeffrey (2014).

Outra aplicação encontrada para o grafeno é também apresentada por Jeffrey (2015), que mostra que a taxa de conversão de luz para energia de um dispositivo de grafeno pode ser muito alta, sendo capaz de executar a transformação em um período incrivelmente rápido. Tal propriedade pode ser utilizada para a produção de placas que podem captar a energia solar de uma maneira eficiente a um custo relativamente baixo de produção.

No atual contexto organizacional, a constante busca por inovações tem levado organizações a alocar cada vez mais recursos para seus setores de pesquisa

e desenvolvimento, a fim de promover o desenvolvimento de novas ideias e obter vantagem sobre outros concorrentes, além de atender às demandas de seus clientes.

Uma inovação pode ser definida segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE (2006), de uma maneira simplificada, como a implementação de um produto, processo ou serviço novo ou significativamente melhorado. São as inovações que definem como e com que intensidade o mercado será movido, e são fundamentais para que organizações prosperem em um ambiente tão concorrido.

Por estar chamando a atenção de muitos devido a suas inúmeras possibilidades para aplicação, o grafeno pode se tornar um material de grande importância para o desenvolvimento de sociedades, sendo capaz de gerar valor às organizações que o adotarem e criando possíveis vantagens competitivas decorrentes de inovações por ele possibilitadas. Desta forma, desenvolver estratégias ambientais e de inovação para que sua adoção possa ser feita da forma mais eficiente possível pode ser benéfico a organizações que buscam adotar o material.

Há ainda a crescente preocupação com a realização de atividades consideradas sustentáveis pelas organizações. Para o World Wide Fund for Nature – WWF (1991), sustentabilidade ocorre quando uma atividade pode ser realizada por um período indefinido. Conforme novas tecnologias são desenvolvidas, a forma como a energia é utilizada sofre grandes mudanças, e isto pode comprometer a continuidade de certas atividades. Para evitar este problema, muitas organizações têm investido na criação e melhoria de novos sistemas e tecnologias para administrar a energia, buscando garantir a sustentabilidade de suas atividades e, portanto, gerando valor às partes envolvidas.

Por possuir características únicas, o grafeno oferece a possibilidade de ser utilizado como uma fonte de geração e armazenamento de energia, permitindo um desenvolvimento sustentável e promovendo um ambiente inovador.

1.1 Formulação do problema

Como já exposto, o grafeno é um material com grande potencial a ser explorado, porém, existem muitas incertezas acerca da viabilidade de adoção deste material por organizações. Por ser um material muito novo, o estado das pesquisas em grafeno pode impossibilitar que ele seja produzido em larga escala a um custo viável, este variando de acordo com a qualidade, tamanho, quantidade e método utilizado para produzir o material.

Em outro ponto, há a crescente busca por novas tecnologias sustentáveis, geradas através de estratégias para promoção de inovações criadas pelas organizações. Com o grafeno, há a possibilidade de utilizar o material como uma fonte de energia renovável, levando a inovações ambientais ao se criar um sistema energético limpo e sustentável.

Resta saber, portanto, se no atual contexto organizacional, há a possibilidade de se adotar o grafeno como uma fonte de energia renovável de maneira economicamente viável à organização, levando à criação de inovações em produtos, em processos e também ambientais, de forma a gerar valor à organização, seus stakeholders e clientes, além de proporcionar um diferencial sobre outras organizações, levando a vantagens competitivas.

1.2 Objetivo Geral

O presente estudo tem como objetivo principal a realização de um estudo prospectivo sobre o desenvolvimento e uso do grafeno como fonte de energia renovável, de forma a verificar a possibilidade de adoção do grafeno como fonte de energia renovável.

1.3 Objetivos Específicos

Para se alcançar o Objetivo Geral proposto para o presente estudo, é realizada uma divisão em três Objetivos Específicos, melhor especificando as direções tomadas para sua realização:

- Inicialmente, busca-se investigar as características e propriedades do grafeno através da análise de estudos empíricos sobre o material, assim como da opinião de pesquisadores.
- Em um segundo ponto, busca-se obter dados sobre o potencial inovador do grafeno, suas aplicações, vantagens e desvantagens decorrentes de sua adoção.
- Por fim, o terceiro objetivo busca investigar a adoção do grafeno em um contexto organizacional, verificando como o material foi adotado pelas organizações, suas possibilidades quanto à área de energia sustentável, e prospecções futuras.

1.4 Justificativa

A fim de promover a criação de inovações, as organizações têm investido e realocado muitos recursos para a realização de pesquisa e desenvolvimento nas áreas em que atuam. No setor de energia, o grafeno pode contribuir na busca por novos sistemas eficientes e sustentáveis de administração energética ao trazer a possibilidade de criar sistemas de alta eficiência, baixo custo e ambientalmente limpos. De forma a reduzir as incertezas sobre o uso de grafeno como uma fonte de energia, a pesquisa busca obter mais informações nesta área.

O conceito de sustentabilidade tem sido um tema muito discutido no contexto organizacional, por ser não apenas um diferencial para as organizações que o adotaram, mas também um requisito legal em algumas localidades. A adoção de processos sustentáveis pode ainda reduzir gastos para a organização, gerando uma margem de lucro maior e promovendo produção consciente. O presente estudo busca, portanto, obter mais informações sobre o material a fim de contribuir para a área de desenvolvimento sustentável.

A realização do estudo prospectivo, obtendo informações sobre o grafeno, sua adoção, vantagens e desvantagens, contribui, ainda, para o campo de pesquisas empíricas sobre o material, pois há pouco conteúdo acessível sobre o tema na área de Administração.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

De forma a desenvolver o presente estudo, é apresentada a base teórica utilizada para melhor definir e complementar os conceitos e dados utilizados e atender de maneira mais completa o objetivo geral da pesquisa. Para isto, são definidos neste tópico os conceitos de inovação, energia e sustentabilidade.

2.1 Inovação

Para que se possa analisar o grafeno como um potencial inovador, deve-se primeiro definir o conceito de inovação. Atualmente, há diversas definições para o termo, e como seu conceito sofreu constante mudança ao longo do tempo, uma convergência entre os pesquisadores quanto a sua definição ainda há de ser encontrada. Para que o conceito de inovação utilizado no presente estudo seja definido, propõe-se inicialmente uma contextualização da definição do conceito ao longo da história.

Segundo Schumpeter (1957), para que uma economia possa se desenvolver, não bastam apenas fatores econômicos, mas sim todos os fatores presentes na sociedade em questão, incluindo o meio ambiente em que esta está situada, assim como todo o conhecimento obtido pela sociedade até então. O ambiente e o conhecimento são fatores denominados como componentes do desenvolvimento.

Através desses dois fatores, surge a possibilidade para que haja uma mudança repentina na economia. Schumpeter (1957) diz que para que os componentes de desenvolvimento proporcionem as condições para este tipo de mudança, é necessário, ainda, uma nova combinação de recursos que altere as condições de equilíbrio anteriores. Esse fator é denominado uma inovação.

Ainda que o conceito de Schumpeter possa ser utilizado para estudos em inovação, ele já não é compatível com o atual contexto organizacional, já que uma inovação era tratada apenas como uma nova maneira de se utilizar recursos já disponíveis. Desta forma, diversos autores adaptaram o conceito de inovação para

que este possa ser aplicado às organizações atuais. Esses autores foram denominados Neoschumpeterianos.

Um dos grandes autores deste contexto é Dosi (1982), que considera uma inovação como sendo parte de um processo de resolução de problemas de natureza tecnológica, no qual há necessariamente geração de valor. Este conceito parte do pressuposto de que, para que uma inovação ocorra, é necessário que haja um problema anteriormente, e que ela possa solucioná-lo, caso contrário não é considerada uma inovação. Este pressuposto pode limitar estudos na área, pois inovações podem surgir de outras maneiras.

De forma a evitar a limitação proposta por Dosi (1982), a OCDE busca, no Manual de Oslo, apresentar uma definição mais abrangente para inovações, conceito utilizado no presente estudo. Para a OCDE (2006, p. 55),

Uma inovação é a implementação de um produto (bem ou serviço) novo ou significativamente melhorado, ou um processo, ou um novo método de marketing, ou um novo método organizacional nas práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas.

A definição apresentada pelo Manual de Oslo apresenta o conceito de inovação compatível com o presente estudo, porém é de igual importância a definição das categorias de inovação, pois seu conceito por si só é muito abrangente e levaria a dificuldades em estudos sobre inovação. Para melhor classificar os tipos de inovação, são apresentadas as divisões propostas pela OCDE, assim como outro tipo de inovação proposto por Rennings (2000).

Para a OCDE (2006, p. 57-61), os quatro tipos de inovações podem ser definidos da seguinte maneira:

- Uma inovação de produto é

A introdução de um bem ou serviço novo ou significativamente melhorado no que concerne a suas características ou usos previstos. Incluem-se melhoramentos significativos em especificações técnicas, componentes e materiais, softwares incorporados, facilidade de uso ou outras características funcionais.

- Já a inovação de processo é

A implementação de um método de produção ou distribuição novo ou significativamente melhorado. Incluem-se mudanças significativas em técnicas, equipamentos e/ou softwares.

- Uma inovação de marketing é

A implementação de um novo método de marketing com mudanças significativas na concepção do produto ou em sua embalagem, no posicionamento do produto, em sua promoção ou na fixação de preços.

- Por fim, a inovação organizacional é

A implementação de um novo método organizacional nas práticas de negócios da empresa, na organização do seu local de trabalho ou em suas relações externas.

Há, ainda, um tipo de inovação que deixa de ser apresentado no Manual de Oslo, mas considerado de grande relevância para a realização deste trabalho devido a sua área de pesquisa. Para Rennings (2000), as inovações propostas pelo Manual de Oslo são úteis, mas não suficientes para que se possa pesquisar temas que abordam desenvolvimento sustentável devido ao fato destas definições não diferenciarem inovações não ambientais das propriamente ambientais. Para isto, a definição utilizada por Rennings (2000) diz que inovações ambientais são todas as medidas tomadas por atores relevantes (firmas, políticos, uniões, associações, etc.) que desenvolvam, apliquem ou produzam novas ideias, comportamentos, produtos e processos que contribuem para a redução de fardos ao meio ambiente ou a alvos de sustentabilidade ecologicamente especificados.

Com o conceito e categorização de inovações definidos, pode-se, ainda, classificar uma inovação em dois graus distintos: inovação incremental e inovação radical (Freeman, 1987). Para Freeman (1987), a inovação incremental apresenta apenas melhorias ou adiciona características novas a algo já existente, enquanto a inovação radical acontece de maneira brusca, rompendo com o paradigma anterior.

Henderson e Clark (1990) apresentam, ainda, duas outras categorias para inovação, além das apresentadas por Freeman. Primeiramente, há a inovação arquitetônica, em que há uma recombinação de recursos e componentes já existentes em uma tecnologia de forma a se criar um novo sistema. Há, também, a inovação modular, onde são inseridos novos recursos e conceitos na estrutura de uma tecnologia.

Uma inovação só pode gerar valor para uma organização caso ela seja propriamente aceita como uma melhoria para os envolvidos. Desta forma, a difusão e aceitação de uma inovação é um processo muito importante na sua geração de valor.

De uma maneira simples, é definida pela OCDE (2006, p. 24) uma difusão como sendo “o meio pelo qual as inovações se disseminam, através de canais de

mercado ou não, a partir da primeira introdução para diferentes consumidores, países, regiões, setores, mercados e empresas”.

Ainda que a definição de difusão proposta pela OCDE traga, de forma simples e resumida, sua ideia principal, é necessário ainda definir como ocorre o processo de difusão. Para isto, utiliza-se, ainda, a definição de difusão de inovação proposta por Rogers (1983), em que são também descritas as etapas pelas quais o processo de difusão deve passar para que ocorra propriamente.

De acordo com Rogers (1983), a difusão de uma inovação é o processo pelo qual uma inovação é comunicada através de certos canais ao longo do tempo entre os membros de um sistema social. Para o autor, comunicação é o processo em que os participantes criam e compartilham informações entre si de forma a obter um entendimento mútuo.

O processo de difusão de uma inovação ocorre em cinco etapas: Conhecimento, Persuasão, Decisão, Implementação e Confirmação (ROGERS, 1983).

O conhecimento ocorre quando o indivíduo é exposto à inovação, sem informações prévias relevantes sobre a mesma. A persuasão ocorre quando o indivíduo demonstra interesse pela inovação e busca obter mais informações sobre ela. A decisão é o processo de analisar a inovação de acordo com suas vantagens e desvantagens, e, então, rejeitá-la ou adotá-la. A implementação ocorre quando o indivíduo aplica a inovação de acordo com a situação, e pode levar a uma busca posterior por informações adicionais. Por fim, a confirmação é quando o indivíduo confirma sua decisão quanto à adoção da inovação.

Por ser considerado um fenômeno de grande importância para estudos de gestão de inovação, a difusão tem sido adotada em muitas outras áreas de pesquisa desde a década de 60, como evidenciado por Rogers (1983). A fim de incentivar estudos em inovação e sua difusão, governos de todo o mundo criaram legislações e políticas regulamentando e oferecendo diversos incentivos a quem praticasse tais estudos.

Através desses incentivos, organizações privadas puderam estabelecer relações com outras organizações e até mesmo com o setor público, estimulando a pesquisa e desenvolvimento internamente e auxiliando no processo de difusão para outros meios.

Deve-se lembrar, porém, que nem toda inovação vai necessariamente ser difundida e aceita como ela é. Sua aceitação depende de muitos fatores, que podem levar a sua reinvenção ou até mesmo rejeição por completo.

Rogers (1983) ressalta que estudos sobre difusão de inovação possuem em grande parte um viés pró-inovação, ou seja, partem do pressuposto que todo tipo de inovação deve ser difundido mais rapidamente, sem a possibilidade de reinvenção ou rejeição da inovação. Este viés pode trazer algumas vantagens para os estudos, porém um estudo enviesado deixa de obter informações sobre grandes aspectos em uma inovação, trazendo a possibilidade de haver sérias implicações negativas nas produções científicas.

Ainda de acordo com Rogers (1983), o viés leva pesquisadores a ignorar parcial ou completamente a possibilidade de rejeição ou descontinuação de uma inovação, a não dar atenção a reinvenções e até mesmo deixar de analisar casos em que há programas para evitar o processo de difusão, como no caso de tecnologias mais eficientes, mas que podem causar impactos consideráveis no meio ambiente.

Para a realização de um estudo sobre difusão de inovação, é recomendável, portanto, uma análise de fatores que possam levar à demanda pela inovação, como seus benefícios para a sociedade, assim como a análise de fatores que possam justificar sua rejeição ou necessidade de modificação para que possa, por fim, ser propriamente adotada.

2.2 Energia e sustentabilidade

Com o constante desenvolvimento de sociedades e suas economias, o uso de energia tem passado por uma perceptível intensificação ao longo do tempo, e, com isso, houve um aumento na busca por formas mais eficientes de obtenção de energia. Paz et al. (2005) dizem que o processo de desenvolvimento humano está estreitamente relacionado à evolução da exploração e domínio do uso de fontes de energia presentes na natureza, assim como de estruturas de sistemas complexos de energia.

O acesso à energia se tornou indispensável na sociedade moderna a tal ponto que, em exemplo apontado pela Organização das Nações Unidas – ONU (2010), na ausência de serviços de energia confiáveis, serviços de saúde, escolas, centrais de distribuição de água e produtores de alimento poderiam deixar de funcionar normalmente, sendo a energia essencial, portanto, para uma boa qualidade de vida.

Ainda segundo a ONU (2010), um sistema de energia com um bom desempenho traz ainda melhorias na qualidade de vida da população mais pobre, auxiliando na diminuição dos impactos da pobreza.

Para que energia possa ser propriamente utilizada, é necessário encontrar primeiramente uma fonte para sua obtenção. As fontes modernas de energia são diversas, e incluem combustíveis, como gás natural e petróleo, e fontes externas, como energia hidráulica, eólica e solar.

No Brasil, é realizado pelo Ministério de Minas e Energia – MME, um Balanço Energético Nacional anualmente, obtendo informações nacionais sobre produção, oferta e consumo de energia.

Ao analisar os dados temporais apresentados pelo MME (2015), verifica-se que o consumo anual de energia tem crescido forte e constantemente ao longo dos anos. No período de 1970, o consumo final no Brasil foi estimado em $62.106 * 10^3$ Toneladas Equivalentes de Petróleo – TEP, ou seja, o consumo final de energia no ano de 1970 produziu energia equivalente à queima de $62.106 * 10^3$ toneladas de petróleo. Já no ano de 2013, verifica-se que o consumo final de energia no Brasil foi estimado em $260.249 * 10^3$ TEP, valor cerca de quatro vezes maior que o encontrado inicialmente. Este crescimento se dá ao constante desenvolvimento do Brasil e ao uso de novas e melhores tecnologias em todos os setores.

Ainda de acordo com dados disponibilizados pelo MME (2015), é possível identificar um forte desenvolvimento nos setores industrial e de transportes de acordo com o crescimento do consumo final nas áreas. Inicialmente, no ano de 1970, o setor residencial foi responsável por 35,5% de todo o consumo anual de energia no Brasil, enquanto os setores de transportes e de indústrias foram responsáveis por, respectivamente, 21,2% e 27,7% de todo o consumo energético. Já no ano de 2013, verifica-se que os valores absolutos do setor residencial foram aproximadamente os mesmos, porém houve um forte crescimento nos outros dois

setores. O setor residencial foi responsável por 9,1% de todo o consumo no ano, enquanto o de transportes foi responsável por 32%, e o industrial por 33,9%.

Quanto às fontes mais utilizadas, o MME (2015) apresenta que, no ano de 2013, há uma presença forte do petróleo, gás natural e derivados como fonte de energia, compondo 52% de toda a oferta de energia no país. Produtos derivados da cana compõem 16% deste quadro, e a energia hidráulica e eletricidade tiveram uma participação de 13%. Outras fontes de energia, que incluem fontes primárias renováveis, tiveram participação de apenas 5% no ano em questão.

Com um crescimento perceptível no consumo de energia, diversas entidades em todo o globo estão se preocupando com o meio ambiente. Alternativas para fontes não renováveis estão sendo cada vez mais consideradas e estudadas de forma a minimizar quaisquer impactos atendendo, ainda, à crescente demanda por energia.

Desta forma, torna-se pertinente o conceito de sustentabilidade. Para que uma atividade possa ser considerada sustentável, de uma maneira simples, ela deve ter a possibilidade de ser realizada por tempo indefinido, de acordo com o WWF (1991). Para que isto possa ocorrer no ramo de produção de energia, é necessário primeiramente que as fontes utilizadas para sua obtenção não sejam, portanto, esgotadas com seu uso.

Ao estabelecerem uma relação estreita entre desenvolvimento humano e a evolução do domínio sobre a geração e uso de energia, Paz et al. (2005) realizam uma análise do contexto brasileiro quanto ao setor de energia elétrica, discutindo relações entre sustentabilidade, desenvolvimento humano e energia. Para os autores, as necessidades e desejos dos humanos são atendidas, em grande parte, através da energia, por ser um dos fatores que fomentam o desenvolvimento e sobrevivência humanos.

Ainda segundo Paz et al. (2005), para que ocorra um bom desenvolvimento, é necessário que o Estado, entidade que administra os recursos naturais, foque na garantia de igualdade no acesso, qualidade de uso e sustentabilidade do sistema energético, seguindo uma linha sustentável de desenvolvimento. Para adotar o conceito de sustentabilidade é necessário, portanto, que haja viabilidade econômica, mas que também sejam levados em conta os aspectos ambientais e sociais, de forma a melhor dividir os ganhos adquiridos ao utilizar os recursos naturais causando o mínimo de dano ao planeta e à raça humana.

Uma das maneiras de se obter um desenvolvimento sustentável de energia ocorre ao se adotar novas fontes e métodos para a obtenção e armazenamento de energia em suas diversas formas. Harrop e Das (2012) apontam o fato de que a tecnologia de *energy harvesting*, ou colheita de energia, tem passado por constante crescimento ao oferecer uma alternativa viável às fontes tradicionais de energia. *Energy harvesting* nada mais é que o uso de energia disponível no ambiente para gerar eletricidade para equipamentos pequenos ou móveis, sejam eles elétricos ou eletrônicos. Em geral, o *energy harvesting* é capaz de gerar energia através de sistemas duráveis e com necessidade para manutenção relativamente nula.

Zervos et al. (2014) apresentam ainda as vantagens e desvantagens encontradas decorrentes do uso de *energy harvesting*. Por um lado, a tecnologia é relativamente inofensiva ao meio ambiente, possui uma vida útil potencialmente longa, podendo durar décadas sem necessidade para manutenção, e é de baixo custo e rápida instalação, podendo até mesmo ser utilizada em dispositivos móveis, como relógios e celulares. Porém, a tecnologia possui algumas desvantagens, como a necessidade de uma fonte constante de energia no ambiente, e dependência de outros dispositivos para armazenar a energia gerada.

Um exemplo de tecnologia que utiliza *energy harvesting* para obtenção de energia elétrica é o dispositivo fotovoltaico, capaz de gerar eletricidade convertendo uma fonte luminosa em uma diferença de potencial, tornando a luz em uma forma de energia. A função mais comum deste tipo de sistema é de converter luz solar em eletricidade, abastecendo de uma maneira sustentável outros dispositivos que necessitam de energia.

Ghaffarzadeh et al. (2013) explicam, porém, que embora a tecnologia de dispositivos fotovoltaicos esteja em um rápido ritmo de desenvolvimento, espera-se que a eficiência dos geradores ainda seja inferior a 10% no ano de 2020, o que não permitiria uma aplicação generalizada dos dispositivos, mantendo em parte a dependência de outras fontes para geração de energia de uma maneira eficiente.

A adoção de novas técnicas e fontes sustentáveis para geração e armazenamento de energia pode levar a grandes mudanças no contexto energético global. Com o desenvolvimento do setor de energia, o acesso igualitário a fontes de energia está cada vez mais próximo.

Para a ONU (2010), há duas grandes metas a serem atingidas até o ano de 2030: Garantir acesso universal a serviços modernos de energia, e reduzir a

intensidade global de energia em 40%. Estas metas não podem ser atingidas sem ajuda de um sistema de desenvolvimento sustentável, e, ainda segundo a ONU (2010), é recomendável que seja lançada uma campanha global com o intuito de promover a ideia de energia para desenvolvimento sustentável, através de estratégias nacionais, financiamento de pesquisa e desenvolvimento na área de energia, e incentivo do setor privado na participação das metas, a fim de atingir a meta final de se obter um desenvolvimento sustentável para todos.

Logo, o grafeno, embora provenha de recurso natural não renovável, devido à sua capacidade de geração e uso sustentável de energia, pode ser compreendido como uma fonte de energia limpa que não provoca danos significativos ao meio ambiente.

Como o grafeno pode ser utilizado em sistemas de energia limpa, o material e suas aplicações podem ser desenvolvidos como inovações ambientais, por possibilitar que atores relevantes, em grande parte organizações, desenvolvam novos produtos e processos de forma a garantir uma maior oferta de energia exercendo um menor impacto ao meio ambiente ao utilizar outras fontes para obtenção de energia, como a luz solar, e gerar menos emissões, sendo uma maneira viável de promover o desenvolvimento sustentável energético.

3 MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

Para a realização do presente estudo, a pesquisa realizada foi dividida em duas partes. Primeiramente, foi realizada uma análise de estudos empíricos sobre grafeno considerados relevantes para o presente estudo, buscando obter informações sobre as características e propriedades do material.

Em um segundo momento, foram realizadas entrevistas com pesquisadores e organizações para obter informações adicionais não encontradas nos estudos empíricos que permitissem investigar as possibilidades de produção e comercialização do grafeno e suas aplicações em produtos e processos.

3.1 Tipo e descrição da pesquisa

De forma a melhor obter informações sobre o tema, o presente estudo foi dividido em dois tipos de pesquisa. Em um primeiro momento, foi realizada uma pesquisa exploratória que “realiza descrições precisas da situação e quer descobrir as relações existentes entre seus elementos componentes.” (CERVO; BERVIAN; SILVA, 2007, p. 63), de forma a obter mais conhecimento sobre o tema do presente estudo.

Para a realização desta pesquisa exploratória, foi feita então uma análise documental, definida como “uma operação ou um conjunto de operações visando representar o conteúdo de um documento sob uma forma diferente da original, a fim de facilitar num estado ulterior, a sua consulta e referência.” (BARDIN, 1977, p. 45). Esta análise, descrita na Análise dos Estudos Empíricos do presente estudo, permitiu que se conhecesse mais sobre o progresso na sintetização e aplicação industrial do grafeno, assim como suas previsões para o futuro.

Realizada a pesquisa exploratória, já em um segundo momento, é realizado então um estudo descritivo, que se trata do “estudo e da descrição das características, propriedades ou relações existentes na comunidade, grupo ou realidade pesquisada” (CERVO; BERVIAN; SILVA, 2007, p. 62). Este tipo de estudo é realizado ao ser feito de forma a atingir o Objetivo Principal deste trabalho: a

realização de um estudo prospectivo acerca do desenvolvimento e uso do grafeno como fonte de energia renovável.

Um estudo prospectivo, descrito como Prospecção Tecnológica por Kupfer e Tigre (2004) é:

Um meio sistemático de mapear desenvolvimentos científicos e tecnológicos futuros capazes de influenciar de forma significativa uma indústria, a economia ou a sociedade como um todo.

Para a realização deste estudo, foi utilizada a entrevista como técnica de coleta de dados (Apêndice A), com instrumentos previamente definidos de forma a melhor obter e organizar as informações relevantes para a pesquisa, questionando os sujeitos pesquisados quanto a vantagens, possibilidades para aplicação e, por fim, aceitação do grafeno nas organizações.

Por fim, quanto aos dados obtidos, estes são de natureza qualitativa, devido à subjetividade das respostas obtidas por meio das entrevistas realizadas, e de fonte primária, sendo eles coletados especificamente para a realização desta pesquisa.

3.2 Caracterização da área do estudo

A área estudada está em rápido e considerável crescimento, devido às recentes descobertas acerca da síntese e aplicabilidade industrial do grafeno. Desta forma, novas pesquisas na área de Administração, assim como novas organizações, estão surgindo e rapidamente desenvolvendo novos conhecimentos e, portanto, gerando inovações com o uso do grafeno.

O mercado de produção de grafeno é composto majoritariamente por pesquisadores que identificaram benefícios na produção do material, abrindo laboratórios e organizações para desenvolvimento de métodos eficientes de produção em grande escala. Com uma ligação tão próxima entre pesquisa e mercado, inovações de grafeno podem ser comumente encontradas, abrindo oportunidade à criação de novos negócios na área.

Ainda que haja uma grande quantidade de atores na área, devido a dificuldades ainda enfrentadas para a produção industrial ininterrupta de grafeno, poucos atores são de considerável relevância para a realização do presente estudo,

e, desta forma, foi preferível realizar uma pesquisa com um pequeno número de entrevistados, e não com uma grande amostra.

3.3 Seleção de estudos e participantes da pesquisa

Para realizar a análise dos estudos empíricos, foi necessário definir primeiramente os estudos a serem analisados. Para isso, partiu-se de um tema inicial de forma a encontrar estudos passados relevantes para este trabalho: a aplicação do grafeno em ambientes organizacionais. Os periódicos selecionados para a realização da pesquisa de estudos foram divididos, primeiramente, em duas categorias: periódicos da área de Administração, e periódicos de outras áreas. Quanto à categoria de periódicos na área de Administração, foram realizadas pesquisas em 9 periódicos, sendo 5 internacionais e 4 nacionais.

Os periódicos internacionais selecionados para a pesquisa foram: *Academy of Management Journal*, *Administrative Science Quarterly*, *Journal of International Management*, *Journal of Management* e *Journal of Management Studies*. Os periódicos nacionais selecionados para a pesquisa foram: *Brazilian Administration Review*, *Brazilian Business Review*, *Revista de Administração Contemporânea*, e a *Revista de Administração de Empresas*. Estes estão entre os principais periódicos da área.

Inicialmente, foi realizada uma busca por artigos que continham o termo grafeno, porém nenhum dos periódicos de Administração selecionados, nacionais ou internacionais, possuíam algum artigo sobre o tema em questão.

Para explicar a ausência de estudos sobre o grafeno especificamente em periódicos de Administração, parte-se da premissa que ela ocorre devido ao fato de que estudos práticos com o material foram realizados apenas recentemente, como pode-se concluir pelo artigo publicado por Novoselov et al. (2004), considerado o primeiro estudo prático sobre grafeno.

Devido a esta ausência, foram realizadas, então, pesquisas nos principais periódicos em que são publicados estudos sobre o grafeno: *Science Magazine*, *Physical Review Letters*, *Nature* e *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*. A pesquisa realizada buscava por palavras-chave definidas

previamente, e considerou apenas estudos empíricos publicados entre Janeiro de 2009 e Abril de 2015, cujo tema era diretamente relacionado às aplicações do grafeno em organizações.

O conjunto de palavras-chave para a pesquisa dos artigos foi definido pela relevância dos termos a este trabalho, e foi composto pelas seguintes palavras: *Graphene, Industry, Prospects, Production, Electronics, Energy, Applications*. As pesquisas foram realizadas com diversas combinações de dois ou mais termos, sendo *Graphene* o único termo comum para todas as pesquisas.

Os 20 primeiros estudos encontrados de acordo com cada pesquisa foram considerados inicialmente, e artigos com tema relevante à elaboração do presente estudo tiveram, também, suas Referências Bibliográficas analisadas, de forma a encontrar possíveis artigos relevantes.

O número de artigos publicados com conteúdo relacionado à área de Administração, ainda que não sejam feitos diretamente na área, é muito pequeno. Dos periódicos selecionados para a pesquisa, nacionais e internacionais, nenhum da área de Administração possui ainda algum artigo sobre grafeno ou de suas aplicações em um contexto organizacional. Artigos sobre aplicações e previsões para crescimento do uso de grafeno só puderam ser encontrados em periódicos de outras áreas, como Física e Engenharia.

Devido à escassez de estudos sobre o grafeno realizados especificamente na área de Administração, além da forte presença de estudos exclusivamente teóricos sobre o material, foram encontrados, inicialmente, 6 artigos. Após uma revisão das referências de cada artigo, mais 2 foram adicionados à lista, totalizando 8 artigos encontrados nos periódicos pesquisados com aplicações na Administração.

Dos 8 artigos, um foi publicado no periódico *Science*, outros 6 foram publicados no periódico *Nature*, e um último no periódico *Wiley Online Library*. Nenhum artigo relevante ao presente estudo foi encontrado no *Physical Review Letters*, o que pode ser justificado devido ao fato de que o periódico publica majoritariamente estudos na área da Física.

Adicionalmente, uma reportagem publicada no jornal Nanowerk (2015a), responsável por publicar conteúdo referente a todos os tipos de nanotecnologia, apontou à produção de um *roadmap* de acesso aberto produzido através de um esforço conjunto entre muitos pesquisadores de grafeno. Além de possuir muitas informações sobre as propriedades do material, possui diversas prospecções para a

produção industrial e comercialização do grafeno, e foi, portanto, considerado nesta revisão.

Desta forma, é definida a lista dos 9 artigos que foram considerados para obter os dados referentes aos objetivos deste estudo:

- Graphene: Status and Prospects, publicado por A. Geim, no periódico Science Magazine, em 2009.
- Industry-compatible graphene transistors. Publicado por F. Schwierz, no periódico Nature, em 2011.
- A roadmap for graphene, publicado por K. Novoselov et al., no periódico Nature, em 2012.
- Graphene nanostructures toward clean energy technology applications. Publicado por X. Zhang et al., no periódico Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, em 2012.
- A facile method for the large-scale continuous synthesis using a novel catalyst. Publicado por Y. Shen e A. Lua, no periódico Nature Scientific Reports, em 2013.
- Challenges and opportunities in graphene commercialization. Publicado por A. Zurutuza e C. Marinelli, no periódico Nature, em 2014.
- Graphene closer to fruition. Publicado por J. Torres e R. Kaner, no periódico Nature Materials, em 2014.
- The global growth of graphene. Publicado por W. Ren e H. Cheng, no periódico Nature, em 2014.
- Science and technology roadmap for graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems. Publicado por A. Ferrari et al., no periódico Nanoscale, em 2015.

Para a seleção dos participantes a serem entrevistados na pesquisa realizada, foi feita uma divisão inicial em dois grupos. Primeiramente, foram realizadas entrevistas com pesquisadores do grafeno. Em um segundo ponto, foram entrevistadas organizações que buscam ou já utilizam o grafeno em suas atividades. Esta divisão permite que se obtenha não só informações técnicas sobre o material, mas também prospecções e opiniões quanto a sua aceitação no mercado.

Quanto aos pesquisadores, estes foram escolhidos de acordo com a relevância de suas pesquisas para o tema estudado neste trabalho, assim como disponibilidade. Portanto, os pesquisadores escolhidos foram:

- Andre Geim, conhecido como um dos descobridores do grafeno, e ganhador do prêmio Nobel de Física de 2010, junto com seu colega e pesquisador K. Novoselov.
- Konstantin Novoselov, também ganhador do prêmio Nobel de Física de 2010 e, assim como Geim, coautor da primeira pesquisa publicada sobre a descoberta do grafeno.
- Antonio Castro Neto, diretor do Graphene Research Centre, e com atuais pesquisas majoritariamente focadas em todos os aspectos do grafeno.
- Francesco Bonaccorso, atualmente Visitante Acadêmico do Cambridge Graphene Centre e do departamento de Engenharia da Universidade de Cambridge.
- Rodney Ruoff, Professor Adjunto da Universidade do Texas. Dentre suas pesquisas publicadas, foram realizadas pesquisas sobre a síntese e aplicações industriais do grafeno.
- Adalberto Fazzio, Professor Titular do Instituto de Física da Universidade de São Paulo – USP e Coordenador-Geral de Micro e Nanotecnologias da Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.
- Marcos Pimenta, Professor Titular do Departamento de Física da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, tendo publicado diversos artigos em nanomateriais, principalmente nanotubos de carbono e nanofitas de grafite.
- Ado Jório, Professor Titular do Departamento de Física da UFMG, assim como Membro Titular da Academia Brasileira de Ciências. Realiza principalmente pesquisas em Nanoespectroscopia Óptica, com outras publicações sobre nanomateriais, inclusive sobre grafeno.
- Hélio Chacham, Professor Titular do Departamento de Física da UFMG, assim como Coordenador do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de pesquisas em nanomateriais de carbono, nos quais se enquadra o grafeno, dentre outros nanomateriais.

Para a seleção das organizações a serem estudadas, foi utilizada a lista de organizações que produzem e distribuem grafeno disponibilizada no jornal Nanowerk (2015b). Desta lista, foram selecionadas 19 organizações para a realização das entrevistas de acordo com sua adequação ao presente estudo. Organizações que estudam ou trabalham no ramo de energia, assim como organizações que já desenvolveram algum produto de grafeno foram priorizadas devido à maior possibilidade de contribuição para a obtenção dos objetivos específicos definidos. Desta forma, a lista de organizações selecionadas para participarem da pesquisa é:

- Graphene Laboratories
- 2-D Tech
- BT Corp
- CVD Equipment
- Grafoid
- Grafen
- Nanografen
- United Nanotechnologies
- Harbin Mulan Foreign Economic and Trade Company
- XG Sciences
- Abalonyx
- ACS Material
- Angstrom Materials
- Zap & Go Charger
- Qingdao Huagao Energy Technology
- Shanghai SIMBATT Energy Technology
- NanoXplore
- Advanced Graphene Products
- Graphenea

Em um momento inicial, foi realizado um contato aos endereços de e-mail institucionais de forma a introduzir os participantes à pesquisa, apresentando os respectivos questionários para os pesquisadores, assim como para as organizações entrevistadas.

No caso de pesquisadores que responderam o contato inicial, buscou-se realizar uma entrevista de maneira presencial, e caso não fosse possível, seria

proposta uma entrevista online através do programa Skype, e somente como último recurso seria realizada uma entrevista por e-mail.

Quanto às organizações, devido ao caráter mais objetivo das questões, julgou-se que uma entrevista por e-mail seria suficiente e foi, portanto, o meio selecionado para a obtenção dos dados.

Para que participantes tivessem tempo para que respondessem à pesquisa, foi estipulado um prazo de um mês para que as respostas fossem enviadas. Após esse prazo, foram reenviados os e-mails aos indivíduos que não participaram, e, após um período de espera de duas semanas, não foram obtidas novas respostas.

Realizada a pesquisa, foi definida, então, a lista de participantes. Quanto aos pesquisadores, participaram Adalberto Fazzio (USP) e Marcos Pimenta (UFMG). Já as organizações que participaram foram:

- Abalonyx – Localizada em SINTEF, em Oslo, a organização tem como foco a produção de óxido de grafeno e derivados para uso em armazenamento de energia, medicina, tratamento de água e materiais biomiméticos nanoestruturados.
- CVD Equipment – Localizada em Long Island, New York, a organização projeta, desenvolve e produz equipamentos personalizados e soluções de processo usados para desenvolver e produzir componentes solares, nanocomponentes eletrônicos, materiais e revestimentos para pesquisa e aplicações industriais.
- Grafoid – Com filiais em todo o mundo e sediada no Canadá, é uma organização de pesquisa, desenvolvimento e investimento que busca investir, administrar e desenvolver mercados para processos de produção de grafeno economicamente escalável para aplicações.
- Graphene Laboratories – Localizada em Calverton, New York, a organização tem como objetivo aplicar ciência fundamental e tecnologia para trazer materiais e dispositivos funcionais de grafeno ao mercado.
- XG Sciences – Localizada em Lansing, Michigan, a organização fabrica e comercializa nanoplacas de grafeno e desenvolve materiais avançados baseados em suas nanoplacas.

3.4 Procedimentos de coleta e análise de dados

Quanto ao instrumento de coleta de dados, utilizou-se entrevista, com roteiros previamente estabelecidos com questões compatíveis a cada participante de forma a obter informações relevantes para a pesquisa, visando atingir os objetivos estipulados previamente. Para isso, foram criados dois roteiros distintos para realizar a primeira parte da pesquisa, com os pesquisadores, sendo um destinado ao pesquisador Adalberto Fazzio (Apêndice A), e um segundo destinado ao pesquisador Marcos Pimenta (Apêndice B), e um roteiro único a ser aplicado às organizações participantes (Apêndice C).

A entrevista realizada com o pesquisador Adalberto Fazzio foi realizada presencialmente, cujo roteiro, presente no Apêndice A busca, em uma primeira parte, identificar os fatores que possam motivar ou limitar a pesquisa no material, assim como apontar as previsões para o material do ponto de vista da pesquisa. Em seu segundo ponto, o roteiro tem como objetivo encontrar, pela opinião do pesquisador, informações sobre a viabilidade da produção de grafeno e de seu potencial para substituir algum outro material no mercado.

Para o pesquisador Marcos Pimenta, foi realizada uma entrevista online através do programa Skype, e, devido a limitações de tempo, o roteiro, presente no Apêndice B, foi adaptado para ainda assim obter informações relevantes no período limitado estipulado.

Para melhor complementar as informações obtidas através das entrevistas com os pesquisadores, além de auxiliar na obtenção de dados sobre mercado e opiniões sobre o material em um contexto organizacional, foi criado um roteiro direcionado às organizações, encontrado no Apêndice C. De início, buscou-se obter informações sobre fatores que as levaram a adotar o grafeno, seja em sua produção, distribuição ou criação de produtos com o material e se houve ou não geração de valor em curto prazo, assim como obstáculos e riscos enfrentados para que a organização pudesse realizar efetivamente essa integração.

Para que o contato com as organizações pudesse ser realizado sem complicações, o roteiro foi traduzido para o idioma inglês, e as respostas obtidas foram traduzidas para o português de forma a serem incluídas no presente estudo.

Ao final do contato com os participantes, foi perguntado se estes possuíam conhecimento de outros pesquisadores, organizações ou estudos que possam contribuir para o desenvolvimento do presente estudo, de forma a aumentar o número de participantes e, portanto, permitir que fossem obtidos novos dados de participantes e estudos que não puderam ser considerados inicialmente.

As respostas apresentadas pelos pesquisadores Adalberto Fazzio e Marcos Pimenta foram digitadas na íntegra ao decorrer da entrevista, e são apresentadas no tópico 5 (Resultados e discussões) do presente estudo. Após a formatação das respostas obtidas, foi enviado um e-mail aos pesquisadores a fim de confirmar e validar os dados apresentados.

Após a obtenção dos dados através da realização de entrevistas, para o processamento dos dados obtidos, utilizou-se o método de Análise de Conteúdo com categorização a priori, proposto por Bardin (1977, p. 42) como:

Um conjunto de técnicas de análise das comunicações, visando obter, por procedimentos, sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens.

As categorias definidas previamente para análise do conteúdo respondem aos objetivos específicos deste estudo: Características e propriedades do material; Aplicações, potencial inovador, vantagens e desvantagens; Aceitação junto a organizações do setor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Definidos os estudos e participantes a serem pesquisados, busca-se, durante este tópico, apresentar e discutir os dados obtidos em duas etapas. Em um primeiro momento, são analisados os estudos empíricos selecionados de acordo com suas características teóricas, metodológicas e os principais resultados neles apresentados. Em um segundo momento, são apresentadas as entrevistas realizadas com pesquisadores e organizações da área, descrevendo as propriedades do material, suas características como inovação, e o atual contexto de sua adoção, assim como vantagens e desvantagens dela decorrentes.

4.1 Características teóricas dos estudos

Os artigos analisados possuem características teóricas muito similares, por estudarem o mesmo tema: Grafeno e suas aplicações práticas. Desta forma, a definição de grafeno é a mesma para todos os estudos: um número muito pequeno, se não único, de camadas de átomos de carbono ligados de maneira hexagonal, com estrutura similar à do grafite, porém concedendo ao material características muito diferentes como apresentado por Novoselov et al. (2004), quando o material foi produzido pela primeira vez em um laboratório.

Em geral, as bases teóricas encontradas nos artigos são as mesmas, porém, ainda que o grafeno seja um tema comum entre os estudos, seus objetivos diferem entre si, levando a diferenças quanto a algumas referências teóricas, de forma a embasar os estudos realizados.

Devido ao fato de apresentarem prospecções para pesquisa e comercialização de grafeno, os artigos de Geim (2009), Novoselov et al. (2012), Zurutuza e Marinelli (2014) e Ferrari et al. (2015) utilizam, ainda, referenciais externos à área de Física, trazendo conceitos como inovação, difusão e aceitação e tendências de mercado.

Em seu estudo, Ferrari et al. (2015) descrevem um tópico dedicado à pesquisa fundamental em grafeno, em que são apontados os diversos aspectos

teóricos que definem o material. Neste estudo, os autores descrevem todas as propriedades atualmente conhecidas do grafeno.

4.2 Características metodológicas dos estudos

Devido ao padrão utilizado pelos autores ao produzirem os artigos analisados, a metodologia utilizada não é descrita nas publicações, dificultando a identificação de métodos específicos utilizados para coleta e análise de dados, porém há a possibilidade de se identificar algumas características metodológicas presentes.

Quanto aos tipos de pesquisa dos artigos analisados, 7 realizam uma pesquisa descritiva sob a forma de pesquisa documental, em que “são investigados documentos com o propósito de descrever e comparar usos e costumes, tendências, diferenças e outras características.” (CERVO; BERVIAN; SILVA, 2007, p. 62): *Graphene: Status and Prospects*, de Geim (2009); *Industry-compatible graphene transistors*, de Schwierz (2011); *A roadmap for graphene*, de Novoselov (2012); *Graphene nanostructures toward clean energy technology applications*, de Zhang et al. (2012); *Challenges and opportunities in graphene commercialization*, de Zurutuza e Marinelli (2014); *The global growth of graphene*, de Ren e Cheng (2014); *Graphene closer to fruition*, de Torres e Kaner (2014). Por se tratar de pesquisas documentais, os dados obtidos e apresentados nestes estudos vêm de fontes secundárias, e são quantitativos, descrevendo propriedades e comportamentos do material em diversas circunstâncias, assim como qualitativos, descrevendo variáveis como suas aplicações, opiniões e tendências.

O artigo apresentado por Shen e Lua (2013), *A facile method for the large-scale continuous synthesis of graphene sheets using a novel catalyst*, que, através de um estudo descritivo, obtém dados quantitativos sobre um método de produção de grafeno.

Há, ainda, o artigo de Ferrari et al. (2015), *Science and technology roadmap for graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems*, que realiza um estudo prospectivo sobre os aspectos conhecidos do grafeno através de uma

pesquisa conjunta entre muitos autores, e para isso utiliza múltiplos métodos de pesquisa.

4.3 Resultados apresentados nos estudos

Quanto ao desenvolvimento de pesquisas teóricas em grafeno, Ferrari et al. (2015) indicam que o motivo para seu rápido progresso deve-se ao fato de todas as propriedades únicas do grafeno estarem concentradas em apenas um material, o que permitiu a quebra de muitos recordes quanto a propriedades de um único material. A pesquisa no material ainda abriu espaço para o estudo de outros materiais bidimensionais, permitindo, no futuro, a criação de cristais tridimensionais com características adaptadas, compostos por grafeno e outros materiais com duas dimensões.

Para que se possa obter grafeno, é de grande importância que haja uma boa técnica para sua produção. Inicialmente, Geim (2009) propõe que a produção de camadas de grafeno podem ser sintetizadas pelo método de Carbon Vapor Deposition – CVD, um processo em que o grafeno pode ser depositado em uma outra superfície através de reações químicas em altas temperaturas. Novoselov (2012) aponta outros métodos que podem ser utilizados para produção em escalas maiores, capazes de sintetizar grafeno em diferentes formas. A qualidade do grafeno obtido através deste método não é ideal, pois algumas características do material são perdidas no processo.

Shen e Lua (2013) apresentam um novo método para uma produção contínua, com possibilidade para adaptação a grandes escalas, de uma maneira relativamente econômica. Este método, em contraste com o de CVD, não necessita de um processo de resfriamento, permitindo a produção contínua de folhas de grafeno, e traz a possibilidade para a produção industrial de produtos que utilizam o material. Torres e Kaner (2014) apontam, ainda, que é possível produzir grafeno de boa qualidade utilizando novos métodos desenvolvidos, aproximando ainda mais o material de sua comercialização global.

Com o desenvolvimento de métodos para produção de grafeno, diversas possibilidades para aplicação passaram a ser idealizadas. Schwierz (2011)

apresenta uma técnica de desenvolvimento de dispositivos de radiofrequência de grafeno capaz de ser aplicada a modelos de produção industriais, apontando a possibilidade para a participação de organizações no desenvolvimento e comercialização de produtos de grafeno.

Na área de energia, Novoselov (2012) aponta que pesquisadores buscam aplicar o grafeno quanto à geração e armazenamento de energia. Para gerar energia, a maioria das aplicações tenta utilizar o grafeno em células solares, porém algumas propriedades do material limitam o desenvolvimento desta aplicação. Quanto ao armazenamento de energia, está sendo estudado o uso de grafeno em baterias, pois suas propriedades permitem que o dispositivo se torne mais condutor, e, portanto, possa armazenar mais energia com maior eficiência.

Quando à sustentabilidade, o grafeno tem sido estudado para a geração e armazenamento de energia limpa. Zhang et al. (2012) descrevem dispositivos com componentes de grafeno, e apontam a importância de geração e armazenamento de energia, utilizando recursos renováveis sem gerar emissões, para um desenvolvimento sustentável da sociedade.

Ren e Cheng (2014) apresentam uma lista de organizações que adotaram a produção de grafeno em suas atividades, e descrevem os métodos utilizados e capacidades de produção, além das principais aplicações para os tipos de grafeno produzidos. Os autores afirmam que por mais que o desenvolvimento do grafeno esteja em crescimento, suas aplicações ainda estão em um estágio inicial, sendo muito limitadas.

Por fim, Zurutuza e Marinelli (2014) apresentam em seu estudo uma prospecção comercial do grafeno, indicando os principais desafios e oportunidades para sua implementação no mercado. Fatores que podem atrasar a adoção do grafeno incluem os métodos de produção utilizados, o volume de produção, a resistência de tecnologias já utilizadas, capacidade de armazenamento e transporte do material, e questões de saúde e segurança. Já os fatores que podem acelerar a adoção do material incluem a criação de materiais intermediários, o desenvolvimento de grafeno voltado para os fins do consumidor, aplicações de nicho e a padronização do material.

4.4 Características, propriedades e métodos de produção do material

Grafeno é o nome dado a uma quantidade mínima de camadas de átomos de carbono ligados de forma hexagonal, formando um material bidimensional, que servem como base para a criação de cristal de grafite, mas que possuem propriedades diferentes do cristal, de acordo com Novoselov et al. (2004). De uma maneira simplificada, o grafeno é portanto composto por uma quantidade mínima de camadas de átomos de carbono que formam o grafite, conforme ilustrado na Figura 1, que fazem com que o material possua propriedades muito diferentes do grafite, embora sejam estruturalmente semelhantes.

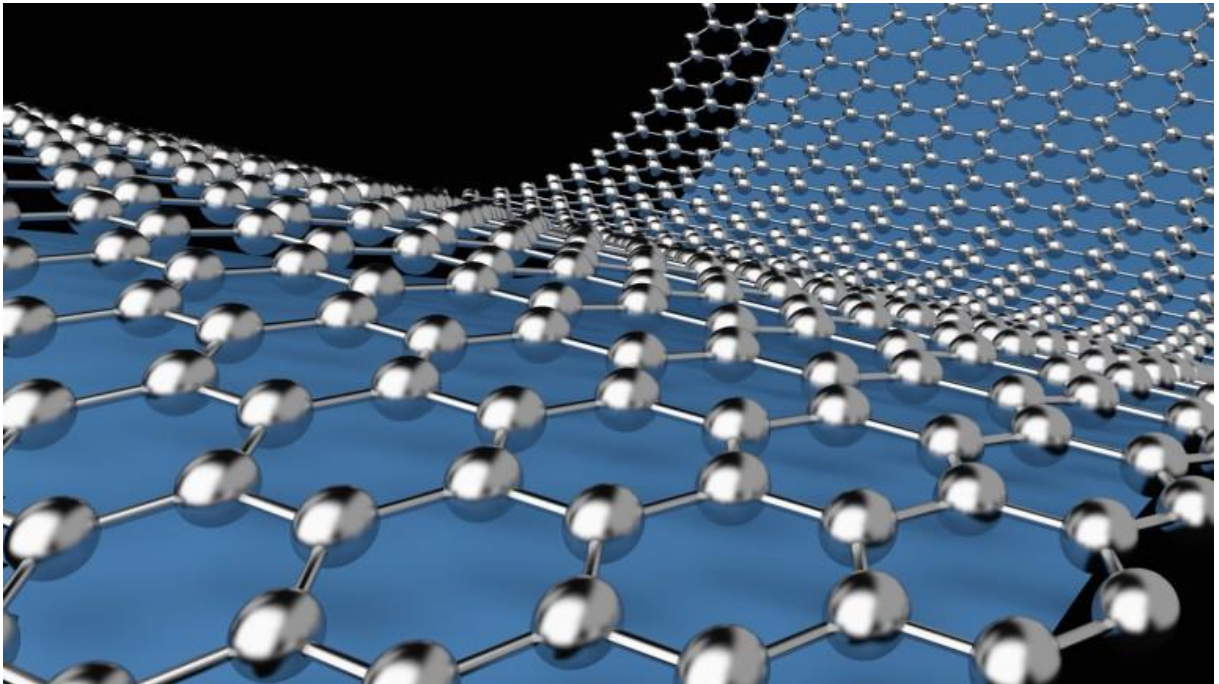


Figura 1 - Disposição de átomos em folha de grafeno. Fonte: <http://www.gizmag.com/graphene-solar-cell-record-efficiency/30466/>.

Para que as propriedades eletrônicas de cristal de grafite ocorram, o material precisa possuir no mínimo 10 camadas de átomos de carbono (GEIM; NOVOSELOV, 2007), e, ainda que o material não seja composto por uma única camada, levando à presença de uma terceira dimensão em sua composição, ele é considerado teoricamente bidimensional.

O primeiro estudo teórico sobre o material foi publicado em 1947, em que foi concluído que a condutividade elétrica de uma camada paralela de grafite é cerca de 100 vezes maior que a de um cristal do material (WALLACE, 1947).

O grafeno é conhecido como um dos materiais mais finos existentes, por ser composto por uma quantidade mínima de camadas de átomos. Por possuir a ligação mais forte entre átomos encontrada na natureza, a ligação covalente entre átomos de carbono, o material possui propriedades mecânicas notáveis, como o fato de ser um dos materiais conhecidos mais resistentes. Além disso, ele possui propriedades elétricas incrivelmente diferentes por possuir uma estrutura bidimensional (BUNCH, 2008).

Com a súbita descoberta do grafeno, muitos estudos são realizados com a tentativa de desenvolver métodos de produção em grande escala e aplicações para que o material possa ser propriamente comercializado, porém para que isso ocorra, é de grande importância para as organizações que buscam adotá-lo ter um bom conhecimento prévio das propriedades do material, assim como suas possibilidades e limitações.

O desenvolvimento da pesquisa teórica no material é relevante para sua difusão no mercado, pois um estudo aprofundado de suas características podem auxiliar no desenvolvimento de prospecções que indicam a possibilidade de aplicação do material em determinada área.

Fazio (2015) aponta que o grafeno possui características interessantes, por possuir uma alta mobilidade elétrica, uma forte resistência e a presença de maleabilidade no material. Essas características reafirmam as ideias apresentadas por Bunch (2008), que dizia que o grafeno possuía características distintas por se tratar de um material bidimensional, e ainda que seja estruturalmente igual ao grafite, seu número de camadas é o que gera essa peculiaridade.

Grafeno, assim como outros cristais com poucas dimensões, não pode surgir naturalmente no ambiente. Geim (2009) explica que para que um cristal seja formado, é necessária uma alta temperatura, que é prejudicial à estabilidade de objetos macroscópicos com uma ou duas dimensões, impossibilitando sua formação como um cristal. Desta forma, o grafeno deve ser obtido sinteticamente através de processos realizados sobre o grafite.

Segundo Pimenta (2015), uma das vantagens da produção de grafeno vem da presença abundante na natureza de carbono, elemento que compõe o material o

que faz com que haja uma maior facilidade de se obter materiais de carbono, dentre eles o grafite, e, portanto, de se sintetizar grafeno, desde que seja utilizado um método viável para sua produção.

Atualmente, o grafeno pode ser sintetizado de inúmeras maneiras, porém poucas podem ser consideradas eficientes e economicamente viáveis para seus produtores. O método tradicional utilizado por laboratórios é o de CVD, que, para a organização Grafoid (2015), é um processo quimicamente rigoroso e economicamente inviável. Ainda que o método por CVD venha sendo um dos métodos mais promissores quanto à síntese de grafeno, há ainda uma certa dificuldade de se produzir o material sem defeitos significativos, como é explicado por Torres e Kaner (2014).

Pesquisas para gerar alternativas de produção eficientes e econômicas estão sendo desenvolvidas, como é o exemplo proposto por Shen e Lua (2013), que apresenta um método para a síntese de uma determinada quantidade de grafeno a um custo relativamente baixo através de um processo de decomposição termocatalítica de metano, possibilitando, se utilizado apropriadamente, a substituição do método por CVD como técnica padrão para síntese de grafeno.

O método de produção do grafeno não depende apenas de sua eficiência e custo, mas também dos objetivos que seus produtores buscam atingir. Por exemplo, ainda que o método por CVD seja altamente dependente de reações químicas em temperaturas elevadas, ele não é um método exclusivo para o grafeno, e, portanto, alguns laboratórios que realizam experimentos com diversos materiais finos, dentre eles o grafeno, podem aproveitar recursos já existentes e apropriadamente alocados para produzir, também, o material, evitando gastos com o desenvolvimento de um novo método de produção, com a aquisição de novos equipamentos ou com o treinamento de pessoal especializado.

Um aspecto importante do grafeno apontado é quanto a sua transparência e maleabilidade, o que pode levar a muitas aplicações, como telas de toque ou lâmpadas de LED. Pesquisas em grafeno indicam que o material pode ser esticado em até 20% a mais que seu tamanho, valor maior que qualquer outro cristal, como apontado por Geim (2009).

A alta mobilidade elétrica do grafeno indica ainda que o material pode ser usado em muitos campos para a criação de dispositivos de alta eficiência, sejam

eles baseados primariamente no material, ou com apenas alguns componentes ou revestimentos de grafeno.

Quanto à geração de energia, a grande parte dos estudos está focada na área de células solares, de acordo com Novoselov (2012), com o intuito de desenvolver dispositivos baseados em grafeno capazes de absorver energia solar com maior eficiência que dispositivos feitos com outros materiais. Através do processo de *energy harvesting*, é possível obter uma forma de energia limpa e renovável a partir da presença de luz solar sobre um dispositivo.

As características do material não permitem que o grafeno possa armazenar energia por si só. Para que possa haver armazenamento de energia, o dispositivo deve oferecer espaço para que se possa armazenar hidrogênio. De acordo com Fazzio (2015), no caso do grafeno, o material por si só não é capaz de realizar esta armazenamentogem, pois ele não possui espaço o bastante, por se tratar de um material bidimensional, porém, ele ainda pode ser utilizado em tais dispositivos para que se tornem mais eficientes.

4.5 Grafeno como inovação, aplicações, vantagens e desvantagens

Como mostrado pelos pesquisadores da área, o grafeno possui um grande potencial inovador. Para melhor estudar sua aplicação e adoção pelo mercado, é importante estudá-lo como uma forma de inovação. Usualmente, as classificações de inovações analisam a tecnologia a partir de suas próprias características. Dadas as inúmeras possibilidades de aplicação do grafeno em virtude de suas características, optou-se por classificar esta inovação de acordo com suas aplicações. Esta é uma proposta nova na literatura, mas que apresenta coerência com o foco prospectivo deste estudo. Além disso, a geração de uma inovação, à medida que esta se difunde, pode permitir que outras inovações sejam desenvolvidas, ocasionando um “processo em cadeia” que pode redefinir um ou inúmeros setores.

De acordo com Freeman (1987), há duas categorias de inovação: Incremental e Radical. O grafeno pode ser considerado como ambas as categorias, dependendo de como é utilizado, devido às suas peculiaridades. Inicialmente, o

material gera uma inovação considerada incremental por adicionar novas ideias a tecnologias já existentes, como na área de dispositivos de radiofrequência, em que o grafeno apenas permite que dispositivos com uma frequência maior possam ser desenvolvidos através da alta mobilidade elétrica do material. Há, também, a possibilidade de se considerar o grafeno como uma forma de inovação radical, por romper paradigmas anteriores. Um exemplo disso é a possibilidade de substituição do silício, material utilizado como base na eletrônica, pelo grafeno, levando a grandes implicações, como a criação de sistemas eletrônicos com tamanhos mínimos, mas eficiência superior à de sistemas baseados em silício.

Quanto ao tipo de inovação, o grafeno pode ser classificado em três tipos. Dois deles, propostos pela OCDE (2006): Inovação de produto, e Inovação de processo; e um tipo proposto por Rennings (2000), definido como Inovação ambiental.

Como uma inovação de produto, o grafeno pode levar à criação de novos produtos que podem gerar valor a todas as partes envolvidas, desde a organização que o produzir até o consumidor final. Um exemplo de inovação de produto gerada pelo grafeno é a criação de folhas de grafeno, criadas para difusão térmica em uma superfície, material comumente utilizado em componentes de computador para evitar seu superaquecimento.

Além da inovação de produto, o grafeno pode ainda ser classificado como uma inovação de processo ao se introduzir novos conceitos e métodos no processo de produção, distribuição e comercialização do material. Isto ocorre devido à ausência de materiais bidimensionais na natureza, como apontado por Geim (2009), o que leva à necessidade de se desenvolver métodos eficientes e economicamente viáveis para sintetização do material, causando mudanças nos processos da organização de forma a acomodar a adoção do material. Um exemplo de inovação de processo causada pela adoção do grafeno é apresentada por Ren e Cheng (2014), em que são descritos novos métodos desenvolvidos por organizações para a sintetização de grafeno de diversas qualidades, a determinados custos.

O grafeno pode ainda ser considerado uma inovação ambiental, por permitir novas ideias e métodos para diminuir fardos ao ambiente, conceito definido por Rennings (2000). Pesquisadores e organizações estão em constante busca por formas de minimizar e reverter impactos negativos causados ao ambiente, e o desenvolvimento do grafeno não é uma exceção. Como pode ser verificado no

Quadro 1, as organizações participantes têm conhecimento dos impactos ao ambiente que podem vir em decorrência da produção de grafeno, e são tomadas as devidas precauções para que não ocorram tais impactos.

Quadro 1 – Considerações sobre impactos ao meio ambiente em decorrência dos métodos de produção utilizados.

Abalonyx	São gerados muitos resíduos ácidos que devem ser enviados a um depósito especializado, o que é algo custoso. Há outros riscos relacionados a vazamentos ou danos em containers de ácido, mas nada pior que qualquer outra indústria que lida com químicos. Nós nunca secamos o produto, então não temos o risco de contaminação por pó de nanopartículas. O material é enviado como uma pasta aquosa, o que é considerado seguro.
CVD Equipment	Nós não encontramos nenhum resíduo não limpo nos substratos utilizados para produzir o material. Não tivemos nenhum problema relacionado ao ambiente.
Grafoid	Nosso processo de produção em um passo é ambientalmente inofensivo. O método tradicional de produção de grafeno é feito pelo processo de CVD, que é um processo com múltiplos passos, quimicamente rigoroso e economicamente caro. Como mencionado, nosso processo é realizado em um passo utilizando-se um método eletroquímico, em temperatura ambiente. É um método economicamente viável e pode levar ao desenvolvimento de aplicações para uso comercial.
Graphene Laboratories	Os detalhes exatos do método de produção são proprietários (não quis responder por eles), porém pesquisadores descobriram que óxido de grafeno pode ser nocivo ao ambiente.
XG Sciences	Nosso processo de produção e produtos

	<p> finais são inspecionados regularmente por agências de regulamentação ambiental dos EUA e passamos consistentemente em seus testes.</p>
--	--

Ainda que a criação de novos métodos para geração e armazenamento eficientes de energia não tenha como objetivo inicial a redução de impactos ao meio ambiente, ela pode levar indiretamente a inovações ambientais. Há, por exemplo, a criação de células solares de grafeno, que buscam utilizar energia solar de forma a aumentar a eficiência de um sistema elétrico, além de simplificar o processo de obtenção de energia. Este dispositivo reduz indiretamente o impacto causado ao meio ambiente, pois a energia é obtida de uma maneira inofensiva, gerando, portanto, uma inovação ambiental.

Quanto às aplicações do grafeno, estas são em grande quantidade. Por possuir propriedades elétricas únicas, o grafeno pode ser aplicado em diversas áreas, dentre elas a de geração e armazenamento de energia. Para tanto, os dispositivos podem conter grafeno como componente principal ou como uma forma de material altamente condutor e transparente. Novoselov et al. (2012) apontam que a maioria dos esforços estão concentrados na área de geração de energia através do uso de células solares.

O grafeno pode também ser utilizado na composição de supercapacitores, capazes de absorver e armazenar quantidades altas de energia em intervalos curtos de tempo, sendo um forte candidato a substituir materiais atualmente utilizados na composição de supercapacitores, por ser um material baseado em carbono com uma grande área superficial, como apontado por Novoselov et al. (2012).

Há, ainda, estudos sobre o uso de grafeno em baterias de íon-lítio. Novoselov et al. (2012) apontam que, devido às características do material, ele não seria apenas utilizado para preencher parte da bateria de forma a torná-la condutora, mas também abriria espaço para estruturas nanocompostas em sanduíche, ou seja, estruturas formadas por diferentes nanomateriais, fato também confirmado por Pimenta (2015), o que leva a materiais com novas características, tornando-se muito bons em suas aplicações.

Outra possibilidade para aplicação de grafeno é na área de eletrônica, pois pesquisadores veem no grafeno a possibilidade de substituir o silício por um material

mais eficiente. Um dos maiores desafios enfrentados atualmente na área de eletrônica é a dificuldade de se desenvolver um dispositivo lógico funcional com o grafeno. Atualmente, o silício é o material predominante na área de eletrônica, compondo uma grande maioria dos dispositivos eletrônicos.

As vantagens para a adoção do grafeno como um material são inúmeras, porém, de uma maneira simples, grande parte das aplicações para o grafeno pode trazer alguma vantagem para as partes envolvidas, pois o material possui características únicas, o que o torna mais eficiente ou traz novas possibilidades em relação a outros materiais.

Ainda que o grafeno seja um material com muitas aplicações, ele ainda possui algumas desvantagens. Como visto no exemplo de dispositivos de lógica apresentado por Fazzio (2015), o grafeno não é capaz de ser utilizado para a criação de tais dispositivos, sendo necessário criar certos defeitos no material, e até mesmo misturá-lo com outras estruturas bidimensionais para criar uma nova estrutura capaz de ser utilizada para tal finalidade.

O viés pró inovação em pesquisas sobre grafeno, descrito por Rogers (1983) como um viés que implica que toda inovação deve ser difundida rapidamente sem a necessidade de ser reestruturada ou rejeitada, pode impactar negativamente o desenvolvimento sustentável, pois a constante busca por métodos industriais de desenvolvimento de grafeno, como o CVD, podem gerar danos ao ambiente.

A Graphene Laboratories (2015) aponta, ainda, que foi descoberto que o óxido de grafeno pode ser nocivo ao ambiente. Esta descoberta gera um possível risco ao meio ambiente ao se produzir e utilizar o grafeno em certas atividades e produtos. Para isso, são realizadas pesquisas de forma a melhor compreender e minimizar esse risco.

Há também outros riscos ao se produzir grafeno, como apontado por Fazzio (2015), que diz que, ainda que o material seja produzido com muito cuidado nos laboratórios, alguns processos de sintetização envolvem muitas reações, que podem gerar resíduos que, se não forem propriamente descartados, podem causar danos ao ambiente. Além disso, entrar em contato com pequenos flocos de grafeno pode ser prejudicial à saúde humana, devido ao fato de a borda do grafeno ser extremamente reativa.

Com o desenvolvimento da pesquisa teórica no grafeno, muitas outras aplicações foram logo idealizadas, sejam elas incrivelmente grandes, como a

possibilidade de substituição do silício como material base para a eletrônica, ou muito específicas, como a criação de detectores de correntes elétricas indetectáveis por sensores de outros materiais. Independentemente do tipo de aplicação, o mercado de grafeno enfrenta ainda um grande desafio: a possibilidade para produção do material com qualidade desejável, a um custo viável.

Para que um produto seja comercializado e gere, portanto, valor à organização, é necessário que este seja economicamente viável. No caso do grafeno, o material ainda está sendo fortemente pesquisado em laboratórios, e sua produção em grande escala ainda não é algo economicamente viável devido aos elevados custos e complexos processos para realizar esta escala de sintetização. Este desafio tem limitado a criação de aplicações para o grafeno, mas conforme são desenvolvidos novos métodos para produzir o material, este desafio está cada vez mais próximo de ser superado.

4.6 Adoção do grafeno

Conforme novas pesquisas são desenvolvidas e métodos de produção mais eficientes são criados, mais organizações participam do processo global de desenvolvimento de grafeno, adotando-o em suas operações produtivas.

Para que a adoção ocorra, uma inovação deve ser primeiramente difundida no meio em que está contida. Se o material surgiu em pesquisas laboratoriais e muitas organizações conseguiram adotar o material em suas atividades, pode-se identificar uma difusão de inovação.

Conforme o grafeno foi estudado, o modelo de cinco etapas de difusão de inovações apresentado por Rogers (1983) pode ser percebido ao se analisar o histórico das organizações produtoras de grafeno.

Em um momento inicial, é tomado o conhecimento da inovação ao se realizar um número crescente de pesquisas teóricas a fim de obter mais informações e possíveis aplicações para o material, em que são identificadas as propriedades únicas do grafeno.

Em um segundo ponto, ocorre a persuasão, em que as organizações buscam verificar a viabilidade econômica de se produzir grafeno ou produtos

derivados do mesmo através de relatórios de mercado, prospecções publicadas, estudos sobre tendências de mercado e desenvolvimento de métodos de sintetização de nanomateriais.

Ocorre, então, a decisão. A organização define como o grafeno poderia ser aplicado em seu contexto, os recursos necessários para se realizar a adoção, quais métodos podem ser utilizados, qual seria sua concorrência e como sua estrutura organizacional deve ser modificada para melhor comportar esta decisão.

Sendo tomada a decisão, há a implementação, na qual as primeiras atividades envolvendo grafeno são realizadas, e, portanto, é produzido o produto ou processo. Após esta etapa, a organização confirma sua implementação, realizando mais pesquisas e atividades com o material, que passa a ser propriamente difundido e aceito como uma inovação.

De forma a melhor analisar a adoção do grafeno em organizações, buscou-se obter dados sobre as principais razões para a implementação do material em suas atividades. Como apresentado no Quadro 2, com exceção da organização Abalonyx, todas as organizações participantes reconheceram o potencial do grafeno como um produto, e buscaram adotá-lo de diversas maneiras. Já no caso da Abalonyx, a adoção do material foi realizada devido à demanda de um cliente.

Quadro 2 – Principais razões que levaram à implementação do grafeno.

Abalonyx	Houve um pedido de uma organização japonesa para produção de um revestimento condutor transparente. Foi então feita a primeira amostra de óxido de grafeno que a companhia reduziu quimicamente para induzir condutividade.
CVD Equipment	O laboratório da organização reconheceu os benefícios potenciais da comercialização do grafeno para diversas aplicações.
Grafoid	Grafoid Inc. é uma organização de desenvolvimento de pesquisas e investimento em grafeno. Ela foi idealizada por seus três co-fundadores – Jeff York (Chairman), Gary Economo (CEO) e Dr. Gordon Chiu (Presidente). Ela provém da ideia de que o grafeno poderia mudar o mundo se ele

	pudesse ser comercializado com sucesso, caso contrário ele permaneceria confinado à P&D laboratorial. Desta forma, Grafoid Inc. foi estabelecida como parte de um empreendimento fonte-mercado – do grafite ao grafeno. Começamos com nossa filial, Focus Graphite, que possui uma das maiores fontes de grafite do mundo, e enfim chegamos ao atual modelo de negócios de aplicação de grafeno da Grafoid Inc.
Graphene Laboratories	A fundadora da organização percebeu, durante seu pós-doutorado na Columbia University, o potencial de uma organização capaz de sintetizar e distribuir grafeno, para aplicações em curto, médio e longo prazo.
XG Sciences	Os cientistas fundadores da organização formaram uma parceria com um empreendedor, e criaram uma organização para produzir nanoplacas de grafeno em grande escala.

Por ser um material relativamente novo, há muitos riscos e obstáculos atrelados ao processo de adoção do grafeno. O Quadro 3 apresenta os principais riscos que as organizações participantes tiveram de enfrentar antes de implementar com sucesso o material em suas atividades.

Quadro 3 – Principais riscos enfrentados para adoção do grafeno.

Abalonyx	O único risco é investir tempo em algo que pode nunca ter um retorno ao invés de utilizar o tempo em algo mais lucrativo.
CVD Equipment	Houveram riscos, porém resultados iniciais obtidos no laboratório foram promissores e justificaram continuar com o negócio.
Grafoid	Os maiores riscos para que Grafoid implementasse suas visões corporativas com sucesso foram quatro: <ol style="list-style-type: none"> 1. A organização teve que provar que suas pesquisas não eram falsas. Para isso, Dr. Gordon Chiu (Presidente) e o Professor Loh

	<p>(National University of Singapore) desenvolveram um processo eco-amigável de produção de grafeno, composto por apenas um passo, viável para produção em massa. Estamos agora (com o apoio do governo Canadense) construindo a primeira linha de produção de grafeno automatizada do mundo.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Ela teve que desenvolver uma marca global confiável, através da presença da Grafoid em conferências científicas internacionais e feiras de negócios, assim como eventos para aquisição de investimentos. Foi também realizada uma campanha de Relações Públicas significativa para firmar a marca da organização. 3. Ela teve que atrair grandes parceiros para um empreendimento conjunto através da conslidação de sua ciência, assim como de sua marca, permitindo, assim, obter possíveis parceiros para empreendimento conjunto. 4. Ela teve que atrair financiamento institucional e de varejo.
Graphene Laboratories	<p>A qualquer hora que um novo mercado surge, há sempre riscos envolvidos quanto a demanda projetada em relação à demanda real. Se a demanda é maior que a oferta de grafeno, há uma escassez de mão de obra qualificada (o que já não é mais o caso). Outra coisa a ser levada em consideração são custos de produção, pois produzir certos produtos pode ser algo caro, devido a necessidade de se utilizar equipamentos específicos.</p>
XG Sciences	<p>Os riscos associados à entrada no mercado de produção de grafeno são basicamente dois. Primeiramente, há a entrada de produção de grafeno com qualidade alta a um preço aceitável para o mercado. Há também a dificuldade para se construir uma forte base de clientes.</p>

Percebe-se, primeiramente, que a entrada em um novo tipo de mercado possui muitas incertezas, principalmente no caso do grafeno, que está na fase de

desenvolvimento e inserido em um mercado relativamente instável. Os riscos associados à produção de grafeno diferem de acordo com o método de produção utilizado e o perfil da organização. Para Abalonyx, como a ideia de produzir grafeno surgiu a partir da demanda de outra organização por um tipo específico de produto, o principal risco envolvido seria a incerteza quanto ao retorno do investimento na produção.

No caso da Grafoid, pode-se afirmar que os riscos envolvidos na criação de uma organização produtora de grafeno foram cuidadosamente analisados, de forma a minimizar chances de fracasso no negócio. Foi realizado um investimento considerável no desenvolvimento de um método sustentável de produção de grafeno, assim como na criação de uma marca global. A consolidação deste método e marca foram essenciais para a obtenção de parceiros e investidores, fator relevante para a garantia do sucesso do empreendimento.

Além das incertezas, o grafeno traz também consigo obstáculos que podem dificultar, ou até mesmo impossibilitar sua adoção por organizações, como a presença de imperfeições nos métodos de produção, a dificuldade para obtenção de investimentos ou custos elevados para implementação do material. O Quadro 4 apresenta os resultados obtidos sobre os principais obstáculos quanto à adoção do grafeno.

Quadro 4 – Principais obstáculos quanto à adoção do grafeno.

Abalonyx	Para produção de óxido de grafeno, um grande obstáculo foi sintetizá-lo com segurança, pois a reação de oxidação pode levar a explosões caso seja executada de maneira errada. Nossa maior conquista é ter obtido uma reação com segurança.
CVD Equipment	Nós pudemos aumentar a qualidade do grafeno e o tamanho dos grãos com o uso de nossa tecnologia EasyGraphene (TM), patente pendente.
Grafoid	Os dois maiores obstáculos enfrentados para adotar o material para comercialização a longo prazo sob uma perspectiva organizacional foram: <ol style="list-style-type: none">1. Se o grafeno funcionará ou não em sua aplicação

	<p>2. Se seu cliente de empreendimento conjunto entende como implementar o grafeno em seu modelo de negócio</p> <p>Ao desenvolver a organização, foram utilizadas quantidades consideráveis de tempo e recursos para adquirir ou desenvolver a ciência do material e capacidade de desenvolver aplicações. Isso é vital para uma comercialização com sucesso, pois o grafeno sozinho não faz nada. Por extensão, um parceiro de empreendimento conjunto deve entender o potencial do grafeno, como ele beneficiará seu modelo de negócio, e como ele é integrado na linha de produção e modelo de receita. Em aplicações modernas, há um processo de educação que deve ser implementado em seu modelo de desenvolvimento.</p>
Graphene Laboratories	O obstáculo mais considerável foi construir uma marca e estabelecer uma rede com nosso público alvo, devido principalmente a motivos financeiros.
XG Sciences	Nenhum obstáculo específico além dos riscos mencionados no Quadro 3.

É possível verificar que não há um obstáculo comum a todas as organizações, o que se deve aos diferentes contextos e objetivos de cada organização. Como apontado por Zurutuza e Marinelli (2014), há diversos fatores que podem se tornar obstáculos para o processo de adoção de grafeno.

Verifica-se, ainda, que questões de saúde e segurança dificultaram este processo na organização Abalonyx, enquanto para a CVD Equipment e a Graphene Laboratories, questões relacionadas aos métodos de produção foram consideradas mais relevantes. No caso da organização Grafoid, o principal obstáculo refere-se à incerteza quanto à compatibilidade do grafeno com os modelos de negócios criados pela organização e seus parceiros.

Tendo em vista a existência de riscos e incertezas quanto ao sucesso da adoção do material, é ideal que o processo seja capaz de gerar valor financeiro, seja este em curto ou longo prazo, de forma a compensar pelos riscos tomados. Como

aplicações de grafeno ainda estão em um estágio inicial, é suficiente a análise de valor gerado em um curto período para verificar como a adoção do material contribuiu para a geração de valor para a organização. A geração ou não de valor em curto prazo para as organizações participantes é apresentada no Quadro 5.

Quadro 5 – Geração de valor em curto prazo decorrente da adoção do grafeno.

Abalonyx	Em um curto prazo, não, mas pode ser visto um interesse da indústria na produção de grafeno.
CVD Equipment	Sim, nas vendas de sistemas de produção de grafeno e de produtos de grafeno.
Grafoid	<p>O desenvolvimento de nosso grafeno, marca registrada de Neograf, trouxe um valor considerável em um curto prazo para a organização. Grafoid existe há quatro anos, e neste tempo lucrou aproximadamente 22 milhões de dólares. A organização começou através de um empréstimo acionista de valor de 1,5 milhões de dólares, da organização Focus Graphite para a Grafoid. Sua primeira rodada de financiamento foi posteriormente feita a \$0,50/ação no outono de 2014. No início de 2015, a organização voltou ao mercado com um valor de \$5/ação. O resultado foi visto em quatro partes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. O empréstimo da Focus Graphite para a Grafoid foi convertido em ações da Grafoid, que atualmente possuem um valor de \$40 milhões. 2. Os acionistas que inicialmente investiram a \$0,50/ação obtiveram um retorno 10 vezes maior em seus investimentos. 3. As ações vendidas a \$5/ação foram retomadas pelo mercado e usadas na compra de aquisições (alcereco, Braille Battery e Ames Rubber), o que levou a um crescimento do valor de mercado da organização. 4. O resultado final é uma capitalização de mercado de \$215 milhões (43 milhões de ações a um preço de 5 dólares cada).
Graphene lab	Por ser um material muito novo, há um nicho de mercado onde a organização atua:

	pesquisadores em universidades e instituições públicas. O produto é incrivelmente único, então há geração de valor ao distribuí-lo ao público-alvo.
XG Sciences	Por ser uma organização que tem como atividade principal a produção de grafeno, há diversos produtos que geram valor à empresa, como dispositivos para armazenamento de energia, tintas e revestimentos condutores, e filmes de gerenciamento térmico.

É possível verificar que as organizações que buscaram adotar o grafeno por terem reconhecido o potencial do material obtiveram um valor inicial de alguma forma, ainda que o grafeno não possua muitas aplicações industriais, estando limitado em grande parte ao contexto laboratorial. No caso da Abalonyx, não houve valor em um curto prazo devido ao fato de a organização ter adotado o material pela demanda de um de seus clientes.

Com a geração de valor em um curto período, pode-se confirmar a viabilidade de aplicações para o grafeno e sua aceitação no mercado, ainda que em um nicho. Resta, portanto, analisar o desenvolvimento e difusão do grafeno no futuro. Desta forma, buscou-se a opinião das organizações participantes quanto ao futuro do material, informação presente no Quadro 6.

Quadro 6: Opinião acerca do desenvolvimento e difusão do grafeno no futuro.

Abalonyx	Acreditamos que o grafeno tem um futuro, mas ele não irá mudar o mundo como muitos alegam.
CVD Equipment	Acreditamos que é apenas uma questão de tempo para que nossos clientes passem a comercializar grafeno e que nós poderemos prover sistemas de produção e de pesquisa e desenvolvimento para ajudá-los.
Grafoid	Grafoid acredita que o grafeno mudará a maneira que trabalhamos, vivemos e agimos no futuro. O sucesso de sua comercialização revolucionará muitos setores, porém, ela depende da velocidade em que ele sai do laboratório e é levado à linha de

	<p>produção. Grandes iniciativas estão sendo feitas por muitos governos e instituições acadêmicas em parceria com organizações para P&D de grafeno, e grandes conferências atualmente têm concentrado na ciência do grafeno. Grafoid, como uma organização, é uma forte competidora na corrida à comercialização e está levando o setor consigo. A organização é reconhecida como a líder e sua visão e missão possuem como base ser a “primeira a levar ao mercado”. Nós estamos muito próximos de comercializar produtos e de abrir suas ações ao público. E, a partir deste outono, estamos organizando a primeira conferência em desenvolvimento de aplicações de grafeno em conjunto com The Phantoms Foundation.</p> <p>http://www.graphenecanada2015.com/GC/index.php</p>
Graphene Laboratories	<p>O material possui muitas possibilidades para aplicação. O maior desafio que o mercado enfrenta é a possibilidade de se produzir grafeno em uma escala industrial. Assim que isso for alcançado, esperamos que esse mercado decole, porém, os atuais métodos de produção deixam o grafeno em uma fase de pesquisa.</p>
XG Sciences	<p>Nós somos extremamente otimistas quanto ao futuro do grafeno. Nós já possuímos múltiplos clientes comerciais, e diversos outros estão finalizando programas de produção e iniciarão a comercialização de grafeno nos próximos 1-4 meses. Essas organizações irão adquirir grandes vantagens competitivas, e forçarão outros em suas respectivas indústrias a seguirem sua liderança.</p>

Para as organizações participantes, há um forte otimismo quanto ao futuro do grafeno. Como Grafoid aponta, o material está em um período próximo de sua comercialização, e muitos agentes estão participando de seu desenvolvimento para que isso ocorra. XG Sciences menciona que alguns de seus clientes estão criando aplicações para o grafeno e iniciarão a comercialização nos próximos, o que indica que o mercado de grafeno crescerá repentinamente no futuro.

Há um forte apoio governamental ao desenvolvimento do material, como verificado por Grafoid, que aponta que são feitas parcerias entre organizações, instituições acadêmicas e governos para que o material possa ser propriamente aplicado. No caso do Brasil, porém, o desenvolvimento do grafeno ainda é limitado pelo investimento modesto em pesquisas na área, segundo Pimenta (2015).

Zurutuza e Marinelli (2014) apontam o crescimento exponencial no número de patentes de grafeno desde que foi feita sua descoberta, o que mostra que pesquisas em grafeno têm gerado resultados e possíveis aplicações estão surgindo. Ghaffarzadeh et al. (2015) apontam, ainda, que a atual líder em patentes de grafeno é a organização Samsung, possuindo 422 patentes, e em segundo lugar está o Korea Advanced Institute of Science and Technology, com 168 patentes. Ainda que os dois estejam na liderança quanto ao número de patentes, aplicações comerciais para o grafeno ainda não foram desenvolvidas durante a realização deste estudo, e, portanto, não foram considerados para a realização da pesquisa sobre adoção do material.

Ainda segundo Zurutuza e Marinelli (2014), por mais que não existam dados precisos publicados que descrevam o atual estado da produção efetiva de grafeno, o crescimento anual de produção de grafeno tem tido um crescimento mais lento que o de fibras de carbono e nanotubos de carbono. Isso mostra que há um forte contraste entre o número de patentes concedidas e o nível de produção, e se deve em grande parte à complexidade dos processos envolvidos em uma tecnologia emergente.

É importante lembrar, porém, que para que o grafeno possa ter impacto positivo nas civilizações, é ideal que este seja desenvolvido de maneira sustentável. Uma das maneiras que o grafeno pode ser aplicado de forma a garantir a sustentabilidade está em suas aplicações na área de energia.

Como Paz et al. (2005) descrevem, sendo o processo de desenvolvimento humano como algo associado ao domínio da exploração e uso de fontes e sistemas de energia, o grafeno pode vir a contribuir para o desenvolvimento sustentável ao oferecer formas para se obter energia do ambiente de uma maneira limpa, e equipamentos eficientes capazes de armazenar esta energia, possibilitando o desenvolvimento de sistemas melhores.

Zervos et al. (2014) indicam que a produção de sistemas de *energy harvesting* para obtenção de energia limpa e barata terá um crescimento um pouco maior que sete vezes durante os próximos dez anos, sendo que dispositivos

fotovoltaicos como células solares terão o maior crescimento relativo neste período. Como comprovado por Jeffrey (2015), o grafeno é capaz de converter uma fonte luminosa em energia elétrica a uma velocidade muito alta, tornando-o um forte candidato a compor células solares de alta eficiência.

O desenvolvimento de sistemas eficientes de *energy harvesting* pode gerar um grande valor social no caso do Brasil, pois, de acordo com a ONU (2010), um sistema de energia com um bom desempenho é capaz de trazer melhorias à qualidade de vida da população, podendo até mesmo reduzir impactos causados pela pobreza.

Como apresentado pelo MME (2015), 52% de toda a energia ofertada no país vem do petróleo, gás natural ou derivados, todos fontes de energia não renováveis, ou seja, que podem se esgotar com o tempo. Apenas 5% vem de outras fontes, nas quais se enquadram fontes primárias renováveis, como a luz solar. Através de sistemas de *energy harvesting* de alta eficiência, a necessidade de se obter energia de fontes não renováveis pode reduzir drasticamente, possibilitando um desenvolvimento sustentável e aumentando a qualidade de vida de pessoas em geral.

Em seu atual estado, porém, o grafeno ainda não possui aplicações comerciais relevantes na área de geração de energia, porém pesquisas e protótipos para a produção de células solares estão em desenvolvimento e devem surgir no mercado em um futuro próximo, como apontado por Ghaffarzadeh et al. (2015).

Como fonte de energia renovável, o grafeno possui um grande potencial nos próximos anos, com muitas aplicações e um vasto mercado a serem explorados, cabendo às organizações desenvolver modelos para produção e comercialização de produtos do material.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desde sua descoberta, o grafeno tem gerado um grande interesse em todos os seus pesquisadores devido à grande quantidade de características únicas concentradas em apenas um material. De suas inúmeras possibilidades para aplicação, o grafeno pode vir a contribuir fortemente nas áreas de Inovação e Sustentabilidade.

Por ser um material composto por carbono, o grafeno pode ser desenvolvido com facilidade, pois o grafite, tipo de cristal que é transformado para sintetizar o grafeno, é abundante na natureza e é obtido facilmente.

Com o avanço nos estudos sobre as características e propriedades do material, muitas ideias e promessas surgiram, e o material passou a deixar um contexto estritamente laboratorial e passou a ser levado a um contexto industrial, surgindo, então, as primeiras aplicações comerciais de grafeno.

A área de energia tem passado por bruscas mudanças devido à constante conscientização da população sobre sustentabilidade. Com a crescente busca por fontes renováveis e pelo desenvolvimento de sistemas de energia mais eficientes e sustentáveis, a área tem passado por um processo de inovação contínuo, trazendo consigo novas formas de se garantir um desenvolvimento sustentável do ramo de energia.

Este trabalho realizou, portanto, um estudo prospectivo sobre o grafeno como uma fonte de energia renovável, buscando ligar o material e suas propriedades únicas à área de Inovação e Sustentabilidade. Para isto, foram alcançados os três objetivos específicos estipulados inicialmente: a investigação das características e propriedades do grafeno; a obtenção de dados sobre o potencial inovador do material, suas aplicações, vantagens e desvantagens decorrentes de sua adoção; a investigação da difusão e adoção do grafeno em um contexto organizacional.

Verificou-se que o grafeno possui características únicas por possuir uma alta mobilidade elétrica, forte resistência e maleabilidade. O material não pode ser encontrado naturalmente no ambiente devido à maneira em que cristais são formados, o que impossibilita a formação natural de grafeno, porém há inúmeros métodos para produzir grafeno sinteticamente, dentre eles, poucos considerados

eficientes economicamente e quanto à possibilidade para produção em escala industrial.

Ainda quanto às suas características e propriedades, foi possível verificar que o grafeno pode ser aplicado em inúmeras áreas, como energia. O material pode ser utilizado para aprimorar dispositivos de geração de energia por ser um ótimo condutor. Quanto ao armazenamento de energia, o grafeno não é capaz de armazenar energia por si só, porém pode aumentar a eficiência de dispositivos de armazenamento.

Para obter dados sobre o potencial inovador do grafeno, além de suas aplicações, vantagens e desvantagens decorrentes de sua adoção, foi realizada uma análise de dados obtidos a partir de entrevistas com pesquisadores de grafeno, organizações que adotaram o material, e estudos empíricos relevantes, relacionando estes dados com estudos sobre inovação.

Os dados obtidos indicam que o grafeno pode ser considerado uma inovação Incremental, assim como uma Radical, como um produto, processo, ou até mesmo uma inovação ambiental, como consequência de suas aplicações sustentáveis, reafirmando a hipótese inicial de que o grafeno possui um grande potencial inovador às organizações, permitindo o estabelecimento de um novo paradigma tecnológico devido às inúmeras possibilidades decorrentes de suas aplicações, com poucas desvantagens associadas.

Quanto à sua adoção, porém, o grafeno ainda está inserido em uma fase de pesquisa. A sintetização industrial do material ainda é um processo limitado, dificultando a comercialização de produtos do material. As organizações que adotaram de alguma forma o material, seja quanto a sua produção ou implementação em produtos e processos, afirmam que sua comercialização em grande escala ainda não é possível, porém há indícios de que isto ocorra em um futuro muito próximo, onde os primeiros a criarem com sucesso uma aplicação comercial para o grafeno irão liderar o mercado do material.

Devido à existência de um pequeno número de aplicações comerciais, assim como à ausência de estudos na área de administração, pôde-se verificar que o grafeno está limitado, ainda, a nichos muito específicos, e não permite seu uso como fonte de energia renovável no momento, porém os dados coletados indicam que os envolvidos com sua pesquisa e produção acreditam que é apenas uma questão de tempo até que os fatores limitantes deste processo tornem-se irrelevantes.

O presente estudo teve sua abrangência limitada principalmente por dois fatores, sendo o principal fator a ausência de estudos sobre adoção e comercialização do material na área de Administração, levando à necessidade de buscar informações de outras áreas de forma a obter dados o bastante para realizar o estudo prospectivo. A dificuldade para acesso a informações sobre o mercado de grafeno, devido ao elevado custo para a obtenção de relatórios sobre o contexto do material, assim como prospecções para o futuro, como no caso dos estudos propostos pela organização IDTechEx, foi outro fator limitador.

Acredita-se que o presente estudo contribui para o contexto organizacional por oferecer mais informações sobre o atual estado de seu desenvolvimento, sua adoção e comercialização por organizações e prospecções para o futuro.

A importância do desenvolvimento de estudos sobre inovação, energia e sustentabilidade vem da necessidade emergente de se desenvolver alternativas para tecnologias utilizadas atualmente de forma a garantir a continuidade do desenvolvimento humano, assim como melhoria da qualidade de vida da população.

Conclui-se, portanto, que o grafeno pode contribuir direta e indiretamente para o desenvolvimento das áreas de Inovação e Sustentabilidade. As possibilidades associadas ao estudo e uso do grafeno e outros materiais bidimensionais podem acarretar uma quebra do atual paradigma tecnológico, permitindo a criação de novos produtos e processos que garantam o desenvolvimento sustentável da humanidade. No futuro, acredita-se que o grafeno exercerá um importante papel no desenvolvimento da humanidade.

Neste sentido, para estudos futuros sugere-se que busque analisar a viabilidade de implementação de novos métodos para produção em escala industrial de grafeno, verificar os impactos positivos e negativos da adoção do material nos contextos organizacional, ambiental, econômico e social, e realizar estudos sobre inovações consequentes do desenvolvimento de suas aplicações, buscando produzir mais conteúdo sobre o tema na área de Administração.

REFERÊNCIAS

- BARDIN, L. *Análise de Conteúdo*. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. Lisboa: Edições 70, 1977.
- BUNCH, J. *Mechanical and Electrical Properties of Graphene Sheets*. Ithaca, Cornell University Graduate School. 2008.
- CERVO, A.; BERVIAN, P; SILVA, R. *Metodologia científica*. 6ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
- DOSI, G. *Technology, Industrial Structures and International Economic Performance: An Assessment of the State of the Art and some Suggestions for Future Study*. Organization for Economic Co-operation and Development. Paris: Directorate for Science, Technology and Industry. 1982.
- FERRARI, A. et al. *Science and technology roadmap for graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems*. *Nanoscale*, v. 11, p. 4598-4810, 2015.
- FREEMAN, C. *Technology policy and economic performance*. Londres: Pinter Publishers London and New York, 1987.
- GEIM, A. *Graphene: Status and Prospects*. *Science Magazine*, v. 324, p. 1530-1534, 2009.
- _____. *The rise of graphene*. *Nature Materials*, v. 6, p. 183-191, 2007.
- GHAFFARZADEH, K. et al. *Organic Photovoltaics (OPV) 2013-2023: Technologies, Markets, Players*. IDTechEx. 2013.
- _____. *Graphene and 2D Materials: Markets, Technologies and Opportunities 2015-2025*. IDTechEx. 2015.
- HARROP, P. DAS, R. *Analysis of Energy Harvesting Applications 2012*. IDTechEx. 2012.

HENDERSON, R.; CLARK, K. *Architectural innovation: the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms*. Administrative Science Quarterly. 1990.

JEFFREY, C. *First flexible graphene-based display created*. Disponível em: <http://www.gizmag.com/graphene-flexible-electrophoretic-display/33765/>. 2014. Acesso em: 20/05/2015.

_____. *Graphene device makes ultrafast light to energy conversion possible*. Disponível em: <http://www.gizmag.com/graphene-ultrafast-light-energy-conversion-photodetector-semiconductor/37005/>. 2015. Acesso em: 20/05/2015.

KUPFER, D.; TIGRE, P. *Prospecção Tecnológica*. In: CARUSO, L. A.; TIGRE, P. B. (Org.). *Modelo SENAI de prospecção: documento metodológico*. Montevideo: OIT/CINTERFOR; 2004.

LEE, S.-H. Et al. *Review on investment direction of green technology R&D in Korea*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 50, p. 186-193. 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Balanco Energético Nacional: Dados Consolidados – Matriz Energética – 1970 em diante*. Disponível em: http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/balanco-energetico-nacional?p_p_id=20&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_20_struts_action=%2Fdocument_library%2Fview&_20_folderId=1143899/. 2015. Acesso em: 16/06/2015.

NANOWERK. *The European nanotechnology roadmap for graphene*. Disponível em: <http://www.nanowerk.com/nanotechnology-news/newsid=39155.php/>. 2015. Acesso em: 17/03/2015.

NANOWERK. *Graphene Manufacturers and Suppliers*. Disponível em http://www.nanowerk.com/graphene_manufacturers_and_suppliers.php/. 2015. Acesso em: 14/03/2015.

NOVOSELOV, K. et al. *Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films*. Science Magazine, v. 306, p. 666-669, 2004.

_____. *A roadmap for graphene*. Nature, v. 490, p. 192-200, 2012.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO ECONÔMICA E DESENVOLVIMENTO. *Manual de Oslo: Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação*. 3 ed. OCDE e Eurostat. 2006.

PAZ, L. et al. *The paradigm of sustainability in the Brazilian energy sector*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 11, p. 1558-1570. 2007.

REN, W.; CHENG, H. *The global growth of graphene*. Nature nanotechnology, v. 9, p. 726-730.

RENNINGS, K. *Redefining innovation-eco-innovation research and the contribution from ecological economics*. Ecological Economics, v. 32, p. 319-332, 2000.

ROGERS, E. *Diffusion of innovations*. 3 ed. New York: Free Press. 1983.

ROSA, L. et al. *Gross greenhouse gas fluxes from hydro-power reservoir compared to thermo-power plants*. Energy Policy, v. 34, p. 481-488. 2006.

SCHUMPETER, J. *The theory of economic development*. Cambridge: Harvard University. 1957.

SCHWIERZ, F. *Industry-compatible graphene transistors*. Nature, v. 472, p. 41-42, 2011.

SHEN, Y.; LUA, A. *A facile method for the large-scale continuous synthesis of graphene sheets using a novel catalyst*. Nature Scientific Reports, v. 3, p. 1-6, 2013.

TORRES, J.; KANER, R. *Graphene closer to fruition*. Nature materials, v. 13, p. 328-329, 2014.

WALLACE, P. *The Band Theory of Graphite*. American Physical Society, v. 71, p. 622-634, 1947.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE. *Cuidar la Tierra: Estrategia para el Futuro de la Vida*. Unión Mundial para la Naturaleza, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 1991.

ZERVOS, H. et al. *Energy Harvesting and Storage 2014-2024: Forecasts, Technologies, Players*. IDTechEx. 2014.

ZHANG, X. et al. *Graphene nanostructures toward clean energy technology applications*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, v. 4, p. 317-336, 2012.

ZURUTUZA, A.; MARINELLI, C. *Challenges and opportunities in graphene commercialization*. Nature nanotechnology, v. 9, p. 730-734, 2014.

APÊNDICES

Apêndice A – Entrevista com pesquisador Adalberto Fazzio

1. Quais são suas previsões para o grafeno quanto a geração e armazenamento de energia?

Bom, no caso do grafeno, ocorreu um grande boom depois que foi descoberto, e isso levou também à descoberta de outros materiais bidimensionais. As características do grafeno são bem diferentes das características do grafite. No grafeno, nós temos uma alta mobilidade elétrica, que leva a um bom desempenho eletrônico, uma forte resistência e maleabilidade. Essas características são muito interessantes, mas por enquanto o material ainda não tem muitas aplicações práticas.

Há promessas para a criação de baterias de grafeno, mas para fazer uma bateria, o material precisa ter a possibilidade de armazenar hidrogênio, e como o grafeno só tem praticamente duas dimensões, não há muito espaço para fazer esse armazenamento. Já existem pesquisas que estão tentando criar métodos para desenvolver um tipo de grafeno com defeitos. Esses defeitos são geralmente criados com a inserção de outros tipos de materiais no processo de sintetização, e podem mudar as características do grafeno, que pode passar a ter características melhores para algumas funções.

2. Há alguma dificuldade considerável limitando a pesquisa em grafeno atualmente?

Para a pesquisa teórica, não. Existem 3 métodos relativamente fáceis de sintetizar grafeno que a maioria dos laboratórios usa, mas o problema é criar grafeno com uma qualidade decente para fazer experimentos.

Outra dificuldade, por exemplo, envolve usar o grafeno para desenvolver um dispositivo lógico, que é usado na computação. Nós descobrimos que existem outros materiais que são melhores que o grafeno para criar esses dispositivos, como os nanotubos de carbono.

A teoria vem trabalhando lado a lado com o lado experimental para tentar encontrar mais aplicações para o grafeno, mas até agora só existem promessas.

3. Hoje em dia, o que você acha que faz com que o investimento em pesquisas relacionadas ao grafeno valha a pena? Há algum fator motivador predominante?

Bem, um dos focos das pesquisas sobre grafeno é a criação de novas tecnologias. Existe uma presença muito forte de pesquisas na área de computação, e os pesquisadores estão tentando criar dispositivos lógicos de grafeno.

Existem também pesquisas em dispositivos de radiofrequência de grafeno, porque como o material tem propriedades elétricas muito boas, ele pode melhorar ou aumentar o alcance de um sinal de radiofrequência, por exemplo.

Em geral, como o grafeno ainda é muito novo, nós iremos encontrar cada vez mais aplicações para ele, então muitos pesquisadores vêm essas oportunidades como motivação para continuar pesquisando.

4. Existe alguma maneira de sintetizar componentes baseados em grafeno eficientemente? Se sim, há custos elevados envolvidos?

Até agora, existem duas maneiras relativamente eficientes para produzir o material em laboratórios. Temos o método de produção em Silicon Carbide, e o CVD, ou Chemical Vapor Deposition.

Estão sendo feitas tentativas de reduzir o custo de produção de grafeno, tentando transformar a síntese do material em algo rentável e começar sua comercialização.

5. Você acredita que o material crescerá a ponto de substituir materiais similares em suas aplicações, como o silício em eletrônica?

Como já havia mencionado, o grafeno pode não ser um material adequado para produzir dispositivos lógicos, então outros materiais podem ser melhores nesta área. Vale lembrar que com a descoberta do grafeno, nós

descobrimos outros materiais bidimensionais, que estão sendo estudados, e eles podem crescer e até substituir alguns materiais utilizados hoje.

6. Você acredita que os métodos de produção utilizados podem ser nocivos ao ambiente? E quanto ao contato físico, o material é tóxico?

Os laboratórios se preocupam muito com isso, porque a segurança de todos envolvidos pode estar em risco se eles não tomarem medidas de precaução.

A síntetização de grafeno é feita com muito cuidado, e tentam minimizar qualquer risco que possa surgir na execução dos métodos de síntetização que eles utilizam. Alguns laboratórios usam métodos que envolvem muitas reações, e a cada processo de síntetização eles geram alguns resíduos que podem causar danos no ambiente, mas também tomam muito cuidado para juntar e descartar esses resíduos.

Algumas pesquisas que vi mostram que a borda do grafeno é muito reativa, e por isso flocos de grafeno, que são folhas muito pequenas, podem ser perigosas para contato, já que elas são radioativas e podem atacar as células de nosso corpo. Existem muitos pesquisadores em nanotoxicologia que estudam essa parte do grafeno.

Apêndice B – Entrevista com pesquisador Marcos Pimenta

1. Quais são suas previsões para o grafeno quanto a geração e armazenamento de energia?

Hoje em dia, o grafite já é usado em para armazenamento de energia na forma de baterias. No caso do grafeno, ele pode ser obtido usando o método de esfoliação do grafite, usando procedimentos químicos. Logo, com um grafite de qualidade superior, é possível obter amostras de grafeno que possam armazenar mais carga. Por ser uma folha, o grafeno é ainda um material com volume quase nulo, mas com uma área grande, então é possível armazenar carga elétrica nos dois lados da folha, o que é muito eficiente para armazenar energia.

2. Há alguma dificuldade considerável limitando a pesquisa em grafeno atualmente?

O material está tendo muito sucesso, e basicamente não tem nada limitando a pesquisa. Inclusive, os governos de muitos países estão investindo muito dinheiro na área. Ainda existem algumas limitações no Brasil por causa do apoio ainda bastante modesto do governo para se fazer pesquisas, mas a ideia é que não há limitações, e sim desafios.

Um desses desafios enfrentados é que para fazer qualquer aplicação tecnológica, é necessário produzir grandes quantidades do material, então.

Um outro desafio é obter uma viabilidade comercial do material. Por exemplo, o grafeno pode vir a substituir o ITO, mas os métodos de produção em grande escala do grafeno ainda são mais caros do que do ITO, então um dos desafios é otimizar os processos de fabricação e diminuir custos para que seja economicamente viável.

3. O que você acha que faz com as pesquisas do grafeno realmente valham a pena? Há algum fator motivador predominante?

Primeiramente, o grafeno é um material transparente e condutor de eletricidade, enquanto muitos outros materiais condutores são opacos, ou seja, não permitem a passagem de luz, e um material condutor que é ao mesmo tempo transparente pode ser usado, por exemplo, em qualquer tipo de tela. Atualmente, telas de toque são comumente feitas como ITO (óxido de

indio-estanho) em uma de suas camadas, porém o ITO é um material quebradiço (não maleável), e o indio é um elemento raro na natureza. Uma das aplicações esperadas para o grafeno seria de substituir o ITO, com a vantagem de ser flexível e abundante na natureza, por ser composto de carbono.

Uma outra aplicação muito usada vem do fato de que o grafeno tem ligações muito fortes, então é um material difícil de se quebrar. É possível misturar o grafeno com outros materiais, como plástico, e obter um novo material com propriedades superiores.

4. Como o grafeno foi descoberto recentemente, ainda se conhece pouco sobre o material, principalmente quanto a aplicações. Há algum outro material similar ao grafeno que esteja também sendo estudado?

O grafeno é um material bidimensional condutor de eletricidade, mas quando se pensa em eletrônica digital, você precisa de um semicondutor, então para essa área o grafeno não é muito bom. Foram descobertos nos últimos anos outros materiais que são bidimensionais também que são semicondutores, por exemplo a molibdenita (sulfeto de molibdênio), que é bom porque ao mesmo tempo ele é bidimensional como o grafeno, mas é um semicondutor.

Há um outro material que é um isolante que é o Nitreto de Boro, que é um isolante que também é bidimensional.

A ideia é que no futuro não serão usados materiais separadamente, mas fazendo “sanduíches” destes materiais, heteroestruturas, criando dispositivos fazendo como se fosse um “empacotamento” desses diversos tipos de bidimensionais.

O grafeno foi o primeiro membro da família dos bidimensionais, mas agora ele abriu a possibilidade de se encontrar vários outros materiais similares e com isso explorar as outras propriedades deles.

Apêndice C – Roteiro para entrevista com organizações que adotaram grafeno em suas atividades

1. Quais foram as principais razões que levaram à adoção do grafeno nas atividades da organização?
2. A adoção do grafeno trouxe valor em um curto prazo para a organização?
3. Como o grafeno é um material relativamente recente, houve algum risco considerável enfrentado para que o produto pudesse ser implementado na organização?
4. A companhia teve de passar por algum obstáculo para implementar o material em suas atividades? Se sim, quais foram os mais consideráveis?
5. Quanto ao ambiente, quão limpa é a produção/uso do grafeno nas atividades da organização? É algo a ser considerado ou o material não gera resíduos não limpos?
6. Qual a opinião da organização acerca do desenvolvimento e difusão do grafeno no futuro?