

Um Produto Inovador e Aconselhável

Uma tecnologia que envolve o movimento de um fluido iónico em contacto com uma estrutura 3D de óxido de grafeno reduzido

Ana Rosete, Ana Silva, Bárbara Soares, Juliana Salvadorinho, Yúmina Zêdo

DEGEIT, Universidade de Aveiro

Lista de Participantes:

High-Tech Sustainable Energy (HTSE); Centro de Investigação TEMA; Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

Resumo:

A crescente preocupação com a utilização excessiva de combustíveis fósseis, tem conduzido à investigação de alternativas viáveis e sustentáveis por parte da comunidade científica.

Com os novos avanços tecnológicos, nomeadamente ao nível das propriedades dos nano materiais, o grafeno surge como um potencial elemento para aplicações eletrónicas, ambicionando-se a sua utilização em sistemas energéticos. Contudo a sua produção à macro escala permanece um desafio.

Assim, foi idealizado um dispositivo autossuficiente que, através de uma espuma de óxido de grafeno reduzido e de um fluido iónico, gera energia limpa.

O projeto HTSEnergy consiste num gerador de energia portátil e adaptável podendo ser incorporado numa vasta gama de engenhos já existentes. Aproveitando o movimento, humano ou não, pretende-se gerar energia através da circulação de um fluido de cloreto de magnésio numa espuma de óxido de grafeno reduzido. O armazenamento da energia gerada será feito num supercondensador, podendo esta ser descarregada a qualquer altura. Com este projeto estima-se conseguir produzir uma energia mínima de 200 W/m^2 .

1. Excelência

1.1 Desafio e Solução

Um dos maiores problemas que enfrentamos no mundo de hoje são as mudanças climáticas e as consequências negativas que estas trazem para o meio ambiente [2]. A principal causa assenta no uso de combustíveis fósseis e a sua permuta para fontes de energia renovável é considerada atualmente um dos principais temas que envolve a comunidade científica e que aparenta ser das soluções mais eficientes e eficazes [1].

Os recursos de energia podem estar assentes em três grandes áreas, combustíveis fósseis, energias renováveis e recursos nucleares. As energias renováveis são aquelas cujo uso para produção de energia elétrica pode ser aplicado vezes sem conta, sem que a sua reposição pela natureza seja afetada [2, 3].

O conceito de que os consumidores partilham a responsabilidade pela pegada ecológica já foi aceite e, para além dos aspetos ambientais que se vivenciam, é expectável que a população cresça para o dobro a meio do século vinte um, exponenciando-se com a mesma o desenvolvimento económico [1]. Assim, uma solução passa por desenvolver mais tecnologias capazes de lidar com as diversas fontes de energia renovável que se encontram à nossa disposição [1].

Sabemos que existem diversas fontes de energia no meio ambiente que nos rodeia, incluindo a energia mecânica, térmica, química, eletromagnética e solar [4], que ao contrário das

fontes energéticas atualmente mais utilizadas, o petróleo, carvão e gás natural, são renováveis e verdes. Por este motivo, a extração das referidas energias verdes tem sido alvo de grande interesse [4].

A energia mecânica é praticamente omnipresente, porém, como a sua amplitude e frequência são variáveis, é necessário encontrar metodologias adequadas para a recolha desta energia, que sejam toleráveis a tais variações [4]. Por exemplo, temos a energia da água, na forma de correntes, marés, ondas, gotas da chuva, humidade e outras, que além de inesgotável e verde, não depende da hora do dia nem das condições de luz solar [4, 5].

Os principais protótipos e dispositivos desenvolvidos, à nano escala, que visam a recolha da energia mecânica irregular diretamente das suas fontes (movimento humano, vibração mecânica, automóveis em movimento, vento, gotas da chuva e ondas do mar) e a sua transformação em energia elétrica, baseiam-se nos efeitos piezoelétrico, triboelétrico, termoelétrico e dielétrico [5, 6]. E estes dispositivos são geralmente constituídos por materiais, tais como [4, 6]:

- ZnO [7, 8, 9, 10, 11, 12]
- Silício [13, 14, 15]
- Materiais ferroelétricos [16, 17, 18]
- Polímeros [19, 20, 21, 22]
- Materiais a base de carbono [23, 24, 25, 26]
- Materiais compostos/outros [27, 28, 29, 30]

Têm sido desenvolvidas diversas tecnologias para tentar aproveitar a energia mecânica, que usualmente é desperdiçada, e convertê-la em energia elétrica. Porém, o progresso destas tecnologias ainda está limitado devido à necessidade de desenvolver sistemas flexíveis capazes de armazenar e de distribuir a energia captada, de forma a ampliar a gama de potenciais aplicações e melhorar as suas condições de operação [4].

Em relação aos dispositivos piezoelétricos os principais desafios prendem-se com a baixa potência produzida que limita o seu leque de aplicações, a própria durabilidade do dispositivo para suportar as vibrações a longo prazo, a baixa sensibilidade para trabalhar sob pequenos níveis de tensão de forma a captar pequenos movimentos do corpo, e a construção a larga escala e a um custo baixo que ainda não é possível [4].

Os nanogeradores baseados no efeito triboelétrico possuem um alto rendimento, o que torna a sua aplicação promissora em dispositivos eletrónicos comuns, bem como em aplicações de larga escala (captação de energia oceânica). No entanto ainda é necessária mais investigação de forma a melhorar a sua eficiência em termos de quantidade de energia recolhida e aumentar a sua flexibilidade [4]. No caso dos nanogeradores triboelétricos desenvolvidos para coletar energia da água é necessário testar o seu comportamento em serviço sob condições reais, para avaliar a sua resistência aos danos mecânicos, como cortes, furos ou rasgos [5], assim como a sua resistência à corrosão, calor e radiação e o seu isolamento para que a água não cause o curto-circuito nos elétrodos [29]. E como a energia captada não pode estar diretamente disponível para aplicações comerciais, pois é bastante irregular, é necessário armazená-la (p.e. baterias) e distribuí-la posteriormente [29].

Além do referido existem também os fatores ambientais que podem afetar as propriedades de captação de energia nos nanogeradores piezoelétricos, triboelétricos e tribo-piezoelétricos. Desta forma é necessário desenvolver metodologias e mecanismos para [4]:

- Isolar convenientemente e a um custo baixo os materiais que constituem o dispositivo, pois a humidade pode levar à degradação da resistência dielétrica dos materiais piezoelétricos;
- Aumentar a estabilidade térmica dos materiais piezoelétricos e triboelétricos pois a temperatura afeta a sua resistência inicial;

- Diminuir a vulnerabilidade dos materiais à adsorção de água, oxigénio e outras substâncias, pois podem alterar a sua composição química, a condutividade e o desempenho;
- Melhorar a morfologia da superfície e o comportamento de atrito dos materiais ativos, visto que o processo triboelétrico é fundamentalmente um efeito de carga superficial.

No sentido de oferecer uma solução para o problema da crescente dependência energética alavancada pelo crescente aumento populacional e da necessidade em alargar as diferentes formas de geração de energia limpa, foram aproveitadas as mais recentes evoluções da ciência. Evoluções estas assentes no mais apelativo produto do momento, o grafeno.

A capacidade de geração de energia por parte do grafeno é novidade e a sua aplicação em dispositivos eletrónicos tem-se tornado o dia a dia, devido maioritariamente às suas características únicas. O que se pretende é torná-lo o protagonista da energia e tirar o maior partido das suas propriedades elétricas e magnéticas decorrentes da sua estrutura.

Assim criou-se um protótipo de um dispositivo que poderá ser facilmente adaptável para as mais diversas aplicações, desde bicicletas, sapatilhas a bóias sinaléticas e cujo core tem como base uma espuma capaz de gerar energia elétrica aquando da passagem de um fluxo de fluído iónico. Este engenho permitirá a um utilizador que, após movimentar-se, usufrua de energia para carregar o telemóvel por exemplo, em qualquer lugar. Pretende-se, portanto, no final, apresentar um dispositivo que além de promover a produção de energia limpa, seja prático e a sua manipulação facilitada para o consumidor. Além disso que demonstre, devido aos materiais escolhidos, bem como métodos de construção das diferentes partes do protótipo, um desempenho de cerca de 200 W/m^2 . Pretende-se igualmente que o engenho em si mesmo coopere de modo a não apresentar as lacunas evidenciadas anteriormente para o já existente no mercado e o ainda bastante questionado na academia.

1.2 Abordagem

O dispositivo que se pretende montar não existe todavia no mercado, sendo como tal completamente inovador. A idealização de conceção que se pretende pormenorizar neste relatório está capaz de se adaptar aos mais diversos setores de atividade e os métodos para a sua construção foram selecionados com base em critérios de custo, tempo e qualidade.

Pretende-se, portanto, dar a conhecer não só um dispositivo capaz de gerar energia, mas sim uma solução que promoverá a **mobilidade energética**.

De forma a que o leitor fique realmente convencido de que isto não é apenas uma invenção, esta secção foi dividida para que a história fosse completamente contada, evidenciando que todas as escolhas assentaram em factos científicos. Assim será explicado num primeiro momento que factos únicos exhibe a estrutura do grafeno, dando-lhe a possibilidade de expor propriedades elétricas excecionais, além da capacidade de gerar energia. De seguida, os mecanismos físicos e químicos que estão na origem desta geração e que confirmam o modo de funcionamento do engenho aqui proposto. Neste seguimento e tendo o conhecimento de antemão de que o grafeno é difícil de obter em macro escala, divulgaremos a escolha por um dos seus derivados e todo o processo para a sua obtenção. Posteriormente explicar-se-á a escolha da estrutura de uma espuma para incorporar o dispositivo e de modo consequente o processo de construção da mesma. Finalmente, mas não menos importante, a seleção do fluído a introduzir será apresentada, bem como todo o procedimento de aglomeração dos diferentes componentes para a efetivação do protótipo.

1.2.1 A origem das propriedades elétricas do grafeno

O carbono é o elemento base da estrutura do grafeno e, portanto, este não passa de uma forma alotrópica do carbono [31,30]. As formas alotrópicas são estruturas com ordenamento espacial preciso das orbitais em torno de um átomo central de carbono com diferentes tipos de hibridização. O grafeno possui então uma hibridização sp^2 e este tipo de fenómeno consiste na

combinação de duas orbitais do tipo p (px e py por exemplo) com a orbital s, dando origem a três orbitais sp^2 que se dispõem em género de flor com uma distância de cerca de cento e vinte graus [30,31]. Existe uma das orbitais (pz) que não se combina, o que fará com que esta se encontre perpendicularmente ao plano xy que contém as orbitais hibridizadas sp^2 . Como cada átomo de carbono apresenta quatro eletrões de valência, teremos que três deles ficarão nas orbitais sp^2 e um ficará na orbital pz que não sofreu qualquer tipo de combinação. Assim cada átomo estará capaz de formar até três ligações químicas do tipo sigma, obtendo-se a estrutura que tanto caracteriza o grafeno, a estrutura favo de mel. As orbitais pz combinar-se-ão entre elas para formar uma nuvem eletrónica com bandas de energia π de maior e menor energia. E são estas bandas que exercem o transporte de cargas no grafeno [31]. Esta característica peculiar do grafeno fá-lo exibir excelentes propriedades elétricas.

Estas propriedades já têm sido testadas pela ciência para a geração de energia e algumas revisões bibliográficas estabelecem quais os mecanismos que se observam usando fluídos iónicos e até não iónicos, exemplo desses últimos, a água.

1.2.2 Mecanismos na base da geração de energia do grafeno

Para o presente trabalho, os mecanismos na base da geração de energia mais relevantes e também os que mais têm oferecido perspectivas de futura aplicação são o de *Drawing Potential* e o de *Waving Potential* e, ambos assentam no efeito eletrocinético que potencia a formação de uma camada EDL, constituída por um Plano de Stern, uma superfície de cisalhamento e uma camada difusa [33]. Esta interface é criada aquando do contacto de uma solução aquosa com um sólido com a superfície carregada. Tal como foi provado anteriormente, o grafeno apresenta-se carregado negativamente devido ao eletrão na orbital pz, possibilitando que tais mecanismos aconteçam.

De modo agora mais específico, o *drawing potential* é um mecanismo mais associado ao movimento de gotas e não de um fluído (*waving potential*). Quando caída uma gota de um fluído iónico ou apolar na superfície do grafeno, a camada EDL é formada apenas na região confinada entre a gota e o grafeno. O movimento desta gota fará carregar, quando em contacto com o grafeno e descarregar, quando fora de contacto, isto porque, sendo o grafeno eletricamente negativo, irá aproximar os iões positivos e afastar os iões negativos, gerando diferenças de potencial. Assim, é de referir que com gotas de fluídos iónicos os resultados adquiridos serão sempre melhores, já que lidaremos com ligações mais fortes, do que sendo fluídos apolares (exemplo água), onde apenas atuarão forças de *van der waals* [32,33]. A figura 1 pretende representar a interface EDL exibida na superfície do grafeno, tal efeito que possibilita a geração de energia.

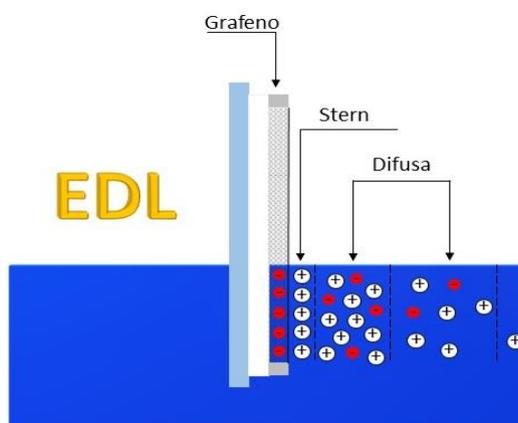


Figura 1- Interface EDL formada na superfície do Grafeno

Quanto ao mecanismo de *waving potential*, este poderá comparar-se às gotas, onde, contudo, estamos a lidar com a ondulação de um fluido que é mais abundante e que, contém mais energia, que consegue ser coletada tendo como base o *drawing potential*. Aqui quando o grafeno é introduzido através da superfície de uma solução aquosa, no limite gás-líquido, uma interface EDL é formada dando origem a uma fronteira dinâmica. Isto tem como consequência o carregamento do que podemos chamar de um pseudocondensador (tal como nas gotas). Cria-se então uma tensão induzida no grafeno. Ao retirá-lo da solução, uma tensão inversa é produzida devido ao processo de descarga na fronteira. Mais uma vez, diferenças de potencial são geradas e estas tornam-se mais acentuadas caso o fluido a utilizar seja iónico [32,33].

O protótipo criado une o grafeno ao movimento de um fluido, porém a dificuldade assentou em que estrutura à macro escala se deveria considerar. Por outro lado, nas experiências já elaboradas pela ciência, os fluidos iónicos têm obtido melhores resultados [32], e, portanto, esse foi o primeiro filtro aplicado.

1.2.3 Grafeno puro vs derivados- A escolha com vista a produção em massa

Se o leitor estiver ao corrente do estado de arte atual do grafeno, estará a questionar-se sobre o seu uso em macro escala no presente relatório. Porém, toda essa informação foi analisada de modo cuidado e um levantamento dos diferentes derivados do grafeno e das suas propriedades levado a cabo. Passemos a explicar.

A utilização de grafeno “puro” tem sido dificultada devido à complexidade da sua síntese *bottom-up*, fraca solubilidade e aglomeração em soluções devido a interações de *Van der Waals* [36]. É, portanto, difícil obter grafeno a partir da exfoliação da grafite em grandes quantidades [37]. Adicionalmente, a produção de folhas de grafeno a larga escala poderá resultar num material com mais defeitos e, conseqüentemente, com propriedades mecânicas inferiores [38], onde, por exemplo, a formação de “rugos” durante o crescimento de grafeno em CVD num substrato específico é praticamente inevitável e esse facto tem um enorme impacto nas propriedades mecânicas do material [38].

Por isso, muitos autores, quando se referem à utilização de grafeno, não estão de facto a referir o grafeno no seu estado puro, mas sim os seus derivados [39]. A oxidação de grafite, por exemplo, origina óxido de grafite, que consiste em múltiplas camadas empilhadas de óxido de grafeno (GO). O GO tem uma estrutura de carbono hexagonal semelhante ao grafeno, mas também contém grupos funcionais baseados em oxigénio [36].

Além da facilidade de síntese, estes grupos são responsáveis por uma maior solubilidade e a possibilidade de funcionalização da superfície que apresenta oportunidades para uso em materiais nanocompósitos e outros dispositivos [36,37] e é uma opção que se pode mostrar mais económica no que respeita à produção de grandes quantidades de grafeno [37]. A sua funcionalização consiste no processo de adicionar novos grupos à estrutura dos derivados do grafeno (estrutura química ou física), para que este responda de forma adequada a certas características [39].

Por outro lado, a produção em grande escala (lotes – “*bulk*”) pode ser obtida através de óxido de grafeno reduzido, que garante o acesso a um leque vasto de produtos com base de grafeno [40]. O óxido de grafeno reduzido (rGO) pode ser obtido através de GO com o objetivo de minimizar o número de grupos de oxigénio e aproximar as suas propriedades às do grafeno puro [36], sendo que a principal razão para esta redução assenta na tentativa de restaurar a elevada condutividade do grafeno [41].

Apesar das folhas de rGO apresentarem defeitos, menor condutividade e resistência mecânica em comparação com folhas de grafeno “puras” obtidas por meio de fita adesiva mecânica, a excelente escalabilidade da sua síntese tem permitido a preparação de novos produtos à base de grafeno com excelentes propriedades físicas [40]. A redução do óxido de grafeno numa forma esponjosa tem uma melhor performance e maior flexibilidade em comparação ao óxido de grafeno, podendo ser aplicado por exemplo em processos de absorção de componentes orgânicos [42].

Os grupos e defeitos residuais do rGO podem não só melhorar a característica de correspondência de impedância e promover a transição de energia de estados contíguos para o nível de Fermi, mas também introduzir relaxação de polarização de defeitos e relaxação de grupos de dipolos eletrónicos, aspetos favoráveis à penetração e absorção de ondas eletromagnéticas [43].

Ainda, os referidos derivados, nomeadamente o GO e rGO, têm-se tornado mais acessíveis e mostram cada vez mais ter propriedades semelhantes ao grafeno [39]. Contudo, devido às diferenças de irregularidade hétero-atómica, impurezas e defeitos estruturais, os derivados não deveriam ser denominados como sendo o mesmo que o grafeno, o que vários autores fazem e deveriam corrigir [39].

Escolha de matéria-prima:

Tendo em conta as características e distinções referidas anteriormente, de acordo com um balanço entre as vertentes de propriedades dos materiais aqui envolvidos (tabela 1 dos anexos), métodos de produção e ainda viabilidade económica, considera-se adequado o uso de óxido de grafeno reduzido na fabricação do dispositivo idealizado. Este permite mais facilmente a produção em massa e a sua estrutura assemelha-se à do grafeno puro.

1.2.3.1 Processo de aquisição do óxido de grafeno vs Processo de redução do GO

Não existe apenas um método para obter grafeno ou os seus derivados. Ao longo dos últimos anos, o avanço na área da nanotecnologia permitiu aos investigadores, de todos os cantos do mundo, executar estudos e testar diferentes abordagens para a produção de grafeno. Note-se que, numa perspetiva global, o derradeiro objetivo é a obtenção de grafeno a larga escala com elevada qualidade, através de mecanismos eficientes (Figura 2 dos Anexos).

Tendo em conta o citado na literatura, o processo que se revela mais vantajoso para a concretização do projeto e tendo como meta a obtenção de óxido de grafeno, é então a exfoliação em fase líquida assistida por sonicação. Este processo não contemplará a fase de estudo de viabilidade, contudo, caso o negócio se revele viável, a produção do pó de óxido de grafeno que se terá de comprar, poderá vir a ser concebido através desta técnica, daí a sua identificação.

Assim, pode dizer-se que a exfoliação em fase líquida assistida por sonicação faz com que a produção de óxido de grafeno (GO) a larga escala seja possível. Primeiramente, o pó de grafite é misturado com solventes químicos, seguindo-se a sonicação e centrifugação, obtendo-se a dispersão do GO. Foi verificado que a quantidade de mono-camadas de GO obtida por esta abordagem é elevada somando o baixo custo de que dispõe. Apesar disto e para um sucesso efetivo desta abordagem, a otimização dos parâmetros é essencial, tais como a concentração inicial de grafeno, a temperatura de operação, tempo de sonicação, entre outros, pelo que a determinação dos referidos parâmetros influencia diretamente a qualidade do GO obtido [44].

Após obtenção do GO é necessário proceder então à sua redução. O processo de redução será então contemplado no estudo de viabilidade e pretende-se que o mesmo seja o mais eficiente possível, de modo a restaurar o mais eficazmente a estrutura do GO.

As estratégias de redução aplicadas ao óxido de grafeno podem dividir-se, segundo [45], em estratégias químicas, térmicas e multi-passo. As estratégias de redução químicas e térmicas são executadas essencialmente num passo. Para melhorar o efeito da redução para fins especiais, a redução em várias etapas pode ser utilizada (multi-passo). A pré-redução por vapor de hidrazina pode efetivamente diminuir a temperatura de recozimento necessária para obter uma boa redução de um filme GO. A combinação de redução de hidrazina e recozimento térmico a baixa temperatura (200°C) permite produzir um filme rGO com melhor condutividade que o produzido por apenas recozimento térmico a 550°C. Na maioria das reações químicas, o efeito dos reagentes é seletivo, logo, como resultado, um reagente redutor geralmente não pode eliminar todos os grupos funcionais que contêm oxigénio. Devido à composição química do GO, a redução em várias etapas é proposta por ser mais eficaz [45].

Conclui-se, portanto, que para a obtenção do GO em pó, o processo mais adequado será a exfoliação em fase líquida assistida por sonicação e a sua redução passará por uma estratégia multi-passo que une um método químico com um térmico.

1.2.4 Idealização da estrutura de Óxido de Grafeno Reduzido

No sentido de exibir maior superfície de contacto, a estrutura de uma espuma foi considerada para integrar o dispositivo idealizado. Contudo e, tendo selecionado o óxido de grafeno reduzido, foi necessário perceber que método seria mais adequado à produção desta espuma em grande escala e a um custo baixo, oferecendo paralelamente a qualidade desejada.

A técnica de *Chemical Vapor Deposition* (CVD) tem provocado interesse na comunidade científica e o crescimento de uma monocamada de grafeno é um desafio que muitos tentam alcançar. Este processo é capaz de fazer crescer uma espuma de grafeno puro, porém, pretende-se ainda obter um maior controlo das dimensões, do número de camadas e de defeitos obtidos. Até à data, filmes de grafeno crescidos em substratos de níquel não apresentam uniformidade e poucas camadas são obtidas. Por outro lado, substratos de cobre têm revelado potencial para a obtenção de grafeno com maior dimensão, espessura uniforme e filmes monocamada [46]. Apesar dos benefícios do substrato de cobre, a técnica, todavia revela-se complicada de manipular e exibe um custo ainda muito elevado, difícil de propiciar economias de escala viáveis atualmente.

Desta forma, recorreu-se a um procedimento que se exibe como uma tendência do século vinte um, tanto para a indústria farmacêutica como para a indústria alimentar [47]. Falamos da Liofilização ou *Freeze Drying* ou ainda Criodessecação. Nas indústrias citadas, esta técnica é aplicada maioritariamente para aumentar a estabilidade, bem como durabilidade de produtos termolábeis (ou seja, que são suscetíveis de serem destruídos devido ao calor ou cujas qualidades se perdem com determinada temperatura) [47].

A liofilização consiste em três estágios, congelamento, primeira secagem e segunda secagem [47]. O primeiro ponto determinará a qualidade do produto final já que é aqui que haverá a possibilidade de controlo da formação dos canais da espuma através do ajuste das condições de congelamento. Este ajuste permite dominar a orientação dos poros, densidade e tamanho. Os dois seguintes pontos tratarão de exercer a sublimação que assentará na remoção da aquosidade, dando origem efetiva aos poros [49].

De modo a perceber a linha de pensamento de construção da espuma, uma tabela foi elaborada (Tabela 1) com o processo tendo tido como base [48, 49].

Tabela 1- Processo de Freeze-Drying para a espuma de óxido de grafeno reduzido

Estágios do método Freeze Drying	Funcionamento
Congelamento	Diluição do pó de óxido de grafeno reduzido, obtido pela estratégia multipasso, num solvente adequado. De seguida procede-se ao congelamento da solução. Aqui serão formados os cristais de gelo entre as partículas do r-GO
Primeira Secagem	A dispersão é colocada numa câmara de vácuo onde a temperatura será aumentada, dando-se o processo de sublimação (água congelada passa diretamente do estado sólido para o estado gasoso, havendo a formação de poros na estrutura
Segunda Secagem	Remoção da água que não ficou congelada através do processo de dessorção da fase de soluto.

A simplicidade do método em causa, conjuntamente com o seu baixo custo relativamente ao CVD e capacidade de controlo da formação dos canais da espuma, tornam-no o mais indicado para a produção em massa de espumas de óxido de grafeno reduzido.

[50] elabora alguns testes para testar propriedades de uma espuma de óxido de grafeno e conclui que esta apresenta elevada porosidade, evidenciando assim uma grande área superficial ativa. De referir que a densidade da espuma afeta claramente a sua resistência à compressão e de que aquando de uma deformação pequena, a estrutura interconectada consegue libertar o stress da compressão. A espuma exibiu igualmente excelente elasticidade, recuperando sempre a sua forma original após trezentos ciclos.

Pode então comprovar-se que é possível através do método de liofilização criar espumas de óxido de grafeno reduzido com boas propriedades físicas e com elevada área superficial potenciando tanto a parte económica como a eficácia necessária para que o processo de geração de energia ocorra com o devido efeito.

1.2.5 Escolha do fluído a incorporar no dispositivo

[34] elabora uma experiência com um filme de grafeno puro onde o mecanismo *waving potential* está claramente presente. Aqui um filme de grafeno foi fixado através de uma estrutura de suporte dentro de um tubo e com a impulsão de uma bomba, o fluído, neste caso ácido clorídrico, atravessou o mesmo, gerando energia. Com os resultados de 25 mV de tensão e 340 μA de corrente, os autores perspetivam um total de cerca de 175 W/m^2 de potência gerada. Já [35] aplica um outro tipo de fluído, o cloreto de magnésio, num dispositivo a que chamaram de “dispositivo lápis de papel”, que não passou de papel de filtro *Whatman* em forma de Y, ao qual aplicaram um gradiente de óxido de grafeno reduzido. Este gradiente permite que a desassociação dos iões seja executada de modo mais efetivo, o que possibilita a obtenção de uma maior diferença de potencial. Nesta experiência o resultado foi superior ao anterior, tendo gerado uma potência de cerca de 530 W/m^2 .

Além dos mecanismos em causa serem diferentes entre si, temos dois fluídos iónicos com uma diferença entre eles ao nível de cargas. Da química mais básica, temos que o ácido clorídrico (HCL) é composto pelo catião hidrogénio ou hidrão e pelo anião cloreto (CL⁻). Quanto ao cloreto de magnésio (MgCl_2), desassociado este fica constituído por um catião magnésio (Mg^+) e dois aniões cloreto (2CL⁻). Assim comparando os dois fluídos, consegue-se facilmente perceber que o cloreto de magnésio exhibe carga negativa superior ao ácido clorídrico, devido aos dois aniões cloreto. Logo, com o cloreto de magnésio, conseguiremos assim uma maior diferença de potencial, o que explica, além da introdução do gradiente de óxido de grafeno reduzido, a tão elevada diferença de potência adquirida na segunda experiência mencionada.

Desta forma, o fluído selecionado para o dispositivo idealizado foi então o cloreto de magnésio.

1.2.6 Protótipo- A sua construção

O protótipo que se pretende construir e testar no estudo de viabilidade é o apresentado na figura que se segue.

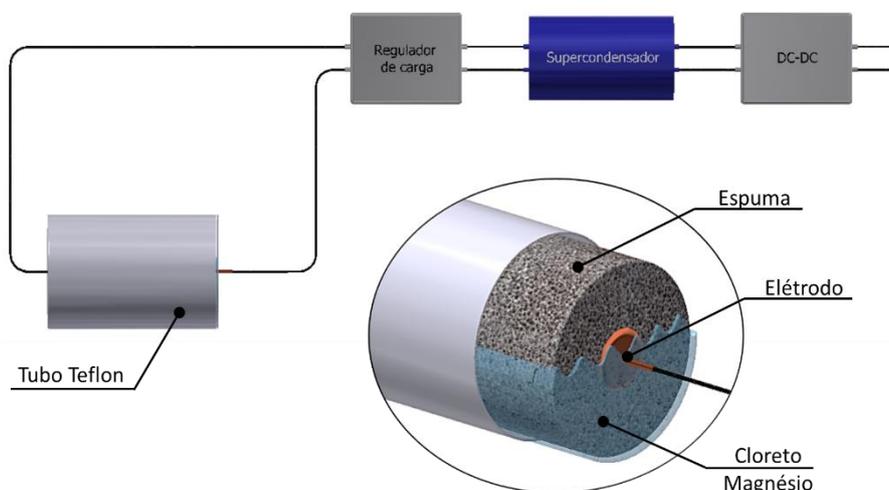


Figura 2- Desenho em CAD do protótipo do dispositivo

De acordo com os dados de [51], o teflon exibe uma resistência química elevada em relação ao cloreto de magnésio e, por isso mesmo, foi selecionado para ser o material destinado para o tubo apresentado na figura e que abarcará em si mesmo a espuma de óxido de grafeno reduzido e o fluido iónico. As características de flexibilidade, acessibilidade e baixo custo também pesaram, tornando-o o mais indicado. Com este material a adaptação a diferentes produtos será facilitada, alargando-se assim o leque de aplicações.

De forma a captar a energia gerada, pretende-se que sejam soldados a tinta de ouro os eletrodos de cobre à espuma e que fios de cobre forrados a silicone façam a passagem da energia até ao primeiro dispositivo necessário ao seu armazenamento.

Os três engenhos representados acima do tubo de teflon, não são nada mais nem menos do que aparelhos necessários ao armazenamento da energia que será gerada no tubo teflon.

Esta sequência de armazenamento é inspirada na instalação de painéis solares e, portanto, segue o mesmo conceito.

Num primeiro momento necessitaremos de um regulador de carga que irá controlar o estado da carga, isto é, a entrada de corrente, evitando que se gerem sobrecargas no supercondensador (dispositivo seguinte), prolongando a sua vida útil. Existem dois tipos de reguladores, os MPPT e os PWM. Os primeiros aceitam níveis de tensão de entrada mais elevados e permitem aproveitar melhor a potência do dispositivo, sendo, por isso, mais eficientes relativamente aos segundos e deste modo os escolhidos. A utilização destes reguladores potenciará, em casos em que a aplicação necessite de maior potência, a criação de “pilhas” do dispositivo apresentado (nada mais nem menos do que pequenos dispositivos iguais associados), que consoante estas se coloquem em paralelo ou em série, permitirão aumentar a tensão ou corrente respetivamente. Desta forma é possível aproveitar ao máximo o rendimento do dispositivo construído.

Em segundo lugar, vamos necessitar de um supercondensador para armazenar efetivamente a energia. E porquê um supercondensador e não uma bateria normal?

De acordo com [52], tanto nas baterias como nas células de combustível, a energia elétrica é obtida através da conversão da energia química por via de reações redox (redução-oxidação) no ânodo e no cátodo.

Já nos supercondensadores, o sistema de armazenamento assenta na simples dispersão da carga na interface eletroquímica entre o eletrodo e o eletrólito. Estes aparelhos complementam outras fontes de potência, pois conseguem manifestar maior ciclo de vida, ciclos de carga e descarga mais rápidos, bem como superior eficiência [53]. A figura que se segue alude às características mencionadas e revela claramente a distinção entre baterias e supercondensadores.

Property	Battery	Supercapacitor
Power density [W/kg]	100	3000
Energy density [W h/kg]	100	3
Charging time [s]	> 1000	0.3–30
Discharging time [s]	1000–10,000	0.3–30
Cyclability [W/kg]	1000	10 ⁶
Typical lifetime [years]	5	30
Efficiency [%]	70–85	85–98

Figura 3- Diferenças de Propriedades entre baterias e supercondensadores [54]

Por último e logo a seguir ao supercondensador é necessário um DC/DC (à saída apresenta corrente contínua) ou inversor (à saída apresenta corrente alternada) consoante, no final, a corrente requerida seja contínua ou alternada. Tanto o DC/DC como o inversor permitem que a tensão à saída seja regulada para níveis seguros e que por isso não haja uma descarga completa.

Após definição de como construir o protótipo é necessário agora apresentar uma estimativa para a quantidade de energia gerada.

As experiências elaboradas por [34] e por [35] foram um importante ponto de partida para a estimativa idealizada.

Tabela 2- Experiências de artigos de referência para estimativa de valor de energia gerada

Parâmetros	Experiência de [34]	Experiência de [35]	Para o dispositivo a construir
Estrutura de grafeno	Filme de grafeno puro	Multicamadas de óxido de grafeno reduzido	Espuma de óxido de grafeno reduzido
Fluído iónico utilizado	Ácido clorídrico	Cloreto de Magnésio	Cloreto de magnésio
Mecanismo utilizado	Waving Potential	Gradiente de r-GO possibilita a desassociação dos iões	Waving Potential
Quantidade de energia gerada	175 W/m ²	530 W/m ²	200W/m ² (estimativa)

Tendo em conta a Tabela 2, em primeiro lugar focou-se a experiência de [35] e, sabendo que o mecanismo não estava de acordo com o perspectivado para o dispositivo em causa, deflacionou-se o valor dos 530 W/m². Recorreu-se então para a experiência de [34] e, sabendo que esta difere quanto à estrutura de grafeno usada, ter-se-ia novamente de deflacionar o valor de referência (175W/m²), contudo o fluído em causa mostra-se diferente, estando a equipa a considerar o cloreto de magnésio para o engenho a construir. Assim, e recorrendo à superior diferença de potencial que o cloreto de magnésio poderá ser capaz de apresentar, estimaram-se cerca de 200 W/m² de potência para o dispositivo.

No estudo de viabilidade a que nos propomos com este relatório e para o qual pedimos financiamento, ambiciona-se validar todos os processos selecionados para o desenvolvimento

do protótipo, tal como a estimativa de energia gerada. De referir que a estanquicidade do tubo de teflon será algo a que se dará a atenção devida, para que o dispositivo funcione de modo eficaz.

Caso o estudo de viabilidade se manifeste viável, pretende-se transpor o mecanismo para o mercado. As aplicações são inúmeras, podendo ir desde bicicletas, a bóias sinaléticas, sapatilhas, mochilas a painéis fotovoltaicos com vista o aumento da sua eficiência.

Foquemo-nos numa bicicleta. Todo o quadro da estrutura seria preenchido pelo dispositivo e a energia do movimento da roda poderia ser recolhida através de um dínamo para uma bomba que, faria movimentar o fluido de cloreto de magnésio. Gerar-se-ia energia, sendo esta armazenada num supercondensador que estaria, por exemplo, no selim. Já para uma sapatilha o conceito seria ligeiramente diferente, pois não necessitaríamos de uma bomba para fazer movimentar o fluido, pois contamos com o movimento humano. A imaginação é o limite.

2. Impacto

2.1 Entrar no mercado

Numa primeira fase, é necessário analisar dois fatores críticos para a introdução do produto no mercado, o público-alvo e o contexto económico e/ou industrial.

O objetivo será direcionar a utilização do dispositivo, numa primeira abordagem, para setores e atividades específicas, nomeadamente setor de produção de equipamentos marítimos, setor energético e desportivo.

Por outro lado, pretende-se começar este projeto à escala regional e posteriormente, alcançar novas áreas geográficas, eventualmente procedendo à sua internacionalização.

Assim, após validar o protótipo, será dado início a todo um processo de prospeção de mercado e contacto com potenciais clientes. Simultaneamente, o departamento comercial fica também responsável por promover o produto, como por exemplo na participação de feiras e encontros nacionais e internacionais.

Adicionalmente, pretende-se desenvolver parcerias com instituições académicas, que primeiramente poderão ser uma ponte entre a HTSE e potenciais clientes interessados em implementar esta tecnologia e, noutra fase do projeto, poderão desempenhar novos estudos e contribuir com formas inovadoras de tornar o dispositivo mais eficiente (versões 1.0, 2.0, etc.).

2.2 Modelo de Negócio

Como já foi referido, o desenvolvimento deste produto assentou na procura de uma solução que pudesse minimizar os impactos ambientais derivados do uso excessivo de combustíveis fósseis e do aumento exponencial do consumo de energia. Assim, a solução proposta pretende ser uma fonte de energia limpa, com características versáteis e sustentáveis, com o potencial de produzir 100kW/grama. Para que exista criação de valor para todas as partes envolvidas, será necessário executar um conjunto de atividades comerciais para a divulgação do produto.

Relativamente ao investimento inicial do projeto, primeiramente terá de se proceder ao estudo de viabilidade. Após a sua validação, terão de ser adquiridas máquinas, terá de ser pedido o licenciamento da atividade e contratadas as pessoas que irão integrar a equipa de trabalho (será necessário contratar técnicos de montagem, técnicos e engenheiros químicos e operadores de máquinas). Estima-se um custo inicial de 577.038,62€ (Figura 4).

Após aquisição de todos os recursos necessários, devem-se contabilizar os custos correntes mensais, nomeadamente custos com os colaboradores, aluguer das instalações, consumíveis, subcontratação de dispositivos eletrónicos e marketing. Assim, esperam-se despesas anuais de 3.094.161,05€.

Relativamente às fontes de receita, foram idealizadas duas estratégias de pricing. A primeira assenta na venda direta, em que o cliente adquire e é responsável pelo produto, pelo

valor de 175€, e estima-se que representará 70% do volume de vendas. A segunda estratégia passa por elaborar contratos de utilização, onde o cliente não possui o produto mas aluga-o e paga o valor correspondente à quantidade de energia que está a produzir/usufruir (0,05€ / kW). Para esta última, contudo, será necessário adquirir mecanismos de IoT (internet das coisas) para transmissão e controlo de informação, e estima-se que representará cerca de 30% do volume de vendas.

A produção foi calculada para uma capacidade de 80 unidades por dia. No total, a receita anual assentará em cerca de 3.271.840,00€, existindo todavia uma margem de lucro de 2%.

Tendo em conta estas estimativas, o investimento inicial será recuperado em cerca de 8 anos, não considerando candidaturas a programas de financiamento.

Como referido desde início, o negócio e dispositivo aqui propostos pretendem de algum modo atenuar os efeitos da prospeção massiva de combustíveis fósseis e o crescente consumo energético alavancado pelo também crescente volume populacional. Deste modo, é então necessário promover canais de retorno do engenho desenvolvido e assegurar que este se encaixa numa perspetiva de economia circular.

Pretende-se, portanto, que aquando da venda direta (nos contratos de utilização a empresa é responsável pelo desmembramento e reciclagem dos materiais envolvidos) os consumidores sejam sensibilizados para a reciclagem/reutilização dos diferentes integrantes constituintes do engenho.

Para todo o dispositivo, aquando da sua conceção, ter-se-á preocupação na modularização dos componentes que o constituem, dividindo-o assim em duas grandes partes, a de armazenamento de energia e a de geração de energia. Isto permitirá que a sua desmontagem seja facilmente executada.

Depois do uso do dispositivo numa das aplicações, o consumidor deverá desde logo fazer retornar o produto adquirido à empresa onde o comprou, podendo usufruir de um desconto de 10% em nova compra com a aquisição do dispositivo novo. A empresa, por sua vez, deverá proceder ao retiro do engenho da aplicação onde este está inserido e reencaminhá-lo para a empresa High-Tech Sustainable Energy.

A HTSE, quanto à parte de geração de energia, facilmente através de um desconto em encomendas fará chegar os tubos de teflon (em caso de desgaste) a uma empresa de termoplásticos para a sua reciclagem (visto que o teflon se mostra como sendo um material de fácil limpeza e ainda termoplástico). As espumas de óxido de grafeno reduzido serão reencaminhadas para integrar compósitos de estruturas de grafeno com vista a obtenção de melhores condutividades elétricas, contudo será necessária a sua limpeza a priori. Já o fluído iónico, o cloreto de magnésio, sendo tóxico em meio aquático, terá de ser encaminhado para um local autorizado à recolha de resíduos e, por isso, uma parceria com a fornecedora do fluído terá de ser idealizada e riscos partilhados.

Quanto à parte de armazenamento de energia, a empresa que contratarmos para a produção destes dispositivos eletrónicos, deverá também ter conosco uma parceria para proceder à sua desmontagem ou em caso de isto não ser possível, será facilmente exequível depositar todo este material em pontos eletrão.



Figura 4- Lean Canvas do Projeto High-Tech Sustainable Energy

2.3 Financiamento

Sendo necessário um investimento inicial elevado, a equipa deverá recorrer a programas de financiamento, por forma a conseguir ter capital que permita o desenvolvimento de infraestruturas, equipamentos, entre outros.

A HTSE irá candidatar-se a um Programa associado ao IAPMEI (Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação), o Programa FINICIA. Este consiste num programa de apoio ao empreendedorismo, com o objetivo de facilitar o acesso a soluções de financiamento para a criação de empresas e assistência técnica.

Este financiamento é relativo ao arranque da empresa. Neste Programa, a HTSE enquadra-se no Eixo I – Projetos de Forte Conteúdo e Inovação. O processo consiste na obtenção de 85% do capital próprio num valor máximo de 2,5 milhões de euros, através de operações de capital de risco, sendo os restantes 15% assumidos por promotores ou outros grupos de investidores [55].

Adicionalmente, outros programas de financiamento podem ser considerados numa fase posterior, nomeadamente no contexto de Formação e Internacionalização (Programa Operacional Competitividade e Internacionalização – COMPETE 2020).

2.4 IPR (Intellectual Property Right)

Este projeto será salvaguardado através do registo de patente referente à tecnologia desenvolvida. Sendo esta solução inovadora e que ainda não se encontra no mercado, é necessário proteger o trabalho desenvolvido pelos autores por forma a garantir a preservação da propriedade intelectual.

O processo de registo de patente é demorado e conta com vários passos necessários à sua execução. Deverá proceder-se ao pedido inicial e após aceitação, a patente tem um custo de manutenção, desde o ano 5 ao ano 20 [56].

Definiu-se que o processo será efetuado on-line, sempre que possível, e contabilizando todos os custos, em todos os eventuais cenários, o valor total poderá atingir cerca de 7.300,00€.

3. Implementação

3.1 Equipa

Para o desenvolvimento deste projeto complexo, será necessário o envolvimento de uma equipa multidisciplinar, polivalente e organizada, por forma a garantir a inovação e fiabilidade do produto, bem como assegurar todas as funções necessárias para o correto funcionamento e gestão das operações envolvidas neste processo. Os membros, respetivos estatutos, funções e áreas de conhecimento encontra-se descritos na tabela seguinte.

Tabela 3- Membros da equipa e respetivas funções

Membro da Equipa	Estatuto	Função	Área de conhecimento
Ana Rosete*	Estudante (UA)	Comercial/Administração	Engenharia e Gestão Industrial
Ana Silva*	Estudante (UA)	Comercial/Administração	Engenharia e Gestão Industrial
Bárbara Soares*	Estudante (UA)	Comercial/Administração	Engenharia e Gestão Industrial

Membro da Equipa	Estatuto	Função	Área de conhecimento
Gil Gonçalves	Investigador Auxiliar (UA)	Estudo de viabilidade e sustentabilidade do produto	Química – aplicações do grafeno
Juliana Salvadorinho*	Estudante (UA)	Comercial/Administração	Engenharia e Gestão Industrial
Marco Santos	Professor Auxiliar convidado (UA)	Dimensionamento do dispositivo eletrónico e respetivos componentes	Mecânica – Automação e Controlo
Miguel Oliveira	Assistente convidado (UA)	Dimensionamento do dispositivo eletrónico e respetivos componentes	Eficiência Energética
Paula Marques	Professor convidado associado (UA)	Responsável pelo processo de produção de óxido de grafeno reduzido	Química – aplicações do grafeno
Yúmina Zêdo*	Estudante (UA)	Comercial/Administração	Engenharia e Gestão Industrial

Como se pode verificar na tabela, as autoras deste projeto (*) estarão encarregues de toda a gestão, administração bem como na divulgação e promoção do produto, incluindo o contacto com os potenciais fornecedores e clientes. Com o avançar do projeto, poderá ser necessário aumentar a equipa ou efetuar rotatividade de tarefas entre os membros. Espera-se que as pessoas envolvidas no desenvolvimento deste processo contribuam com o seu conhecimento e experiência, para elevar as potencialidades do produto idealizado.

3.2 Plano de trabalho

Título	Desenvolvimento e qualidade do protótipo
Objetivos Confirmar parâmetros de geração de energia do protótipo e qualidade dos processos associados.	
Descrição do trabalho <p>Para testar a viabilidade do produto é necessário desdobrar todo o processo e analisar cada etapa.</p> <p>Primeiramente será necessário adquirir os materiais para construir o protótipo a ensaiar, nomeadamente, óxido de grafeno em pó, tubo de teflon ($\varnothing 200$), cloreto de magnésio em solução, hidrazina, elétrodos de cobre, tinta de ouro, fios elétricos forrados a silicone e um kit Arduino.</p> <p>Para desenvolver a espuma de óxido de grafeno, precisamos de requisitar um Laboratório de Nanotecnologia e um técnico especializado, existente na Universidade de Aveiro, para proceder à redução do óxido de grafeno adquirido, e um Engenheiro para controlar todo este processo. De forma a obter um óxido de grafeno de boa qualidade a técnica a utilizar deverá seguir uma estratégia multi-passo, que consiste em fazer inicialmente a pré-redução do óxido por vapor de hidrazina e seguidamente o recozimento a baixa temperatura (200°C). O passo final para obter a espuma, consiste no processo de liofilização, em que o principal parâmetro a controlar será a dimensão dos canais formados na espuma, a fim de determinar qual a porosidade que proporciona uma produção energética superior.</p> <p>Para armazenar e distribuir a energia gerada pelo dispositivo será necessário projetar, dimensionar e produzir os dispositivos eletrónicos adequados para esse efeito (regulador de carga, supercondensador e DC-DC). Para tal iremos requisitar os serviços de um Engenheiro Eletrotécnico especializado, da Universidade de Aveiro.</p> <p>Para realizar os ensaios de prova de conceito e afinar alguns parâmetros (velocidade, porosidade, estanquicidade, isolamento dos elétrodos e outros), a fim de maximizar a produção de energia do nosso protótipo, precisamos de requisitar o Laboratório de Eficiência Energética, alugar uma bomba peristáltica e os serviços de um técnico de laboratório.</p> <p>O último passo consiste na montagem e ligação de todos os componentes: soldadura dos elétrodos de cobre com tinta de ouro às extremidades da espuma, ligação dos fios aos elétrodos e dispositivos eletrónicos, selagem estanque da espuma no tubo de teflon com o cloreto de magnésio. Para isto teremos de requisitar o Laboratório de Soldadura do Departamento de Mecânica da Universidade de Aveiro, dois técnicos e um Engenheiro Mecânico para controlo deste processo.</p> <p>De acordo com os resultados demonstrados pela literatura espera-se que esta tecnologia consiga gerar aproximadamente $200\text{W}/\text{m}^2$. Para verificar este valor iremos recorrer a um Arduino para medir efetivamente a energia gerada pelo protótipo desenvolvido e perceber de modo concreto o tempo necessário à sua obtenção, para assim estabelecer valores na ordem dos KWh.</p>	
Proposta de valor: Pretende-se conceber uma fonte de energia autossuficiente, capaz de gerar, armazenar e distribuir energia elétrica limpa. O estudo de viabilidade permitirá verificar os outputs estimados de potência, para que de modo posterior se conduza o dispositivo para o mercado, onde poderá integrar diversas aplicações.	

3.3 Recursos

Recursos	Custo unitário (€)	Unidades	Total (€)
Óxido de grafeno em pó (g)	223,12	30	6693,6
Acesso a laboratório de Nanotecnologia (Redução do óxido de grafeno- Consumíveis + Técnico)	48	32	1536
Tubo de Teflon	14,99	1	14,99
Liofilização (espuma de OG-r)-utilização de liofilizador +Técnico	60	32	1920
Acesso a laboratório de Eficiência Energética- Ensaio para Prova de Conceito	40	40	1600
Projeto de dispositivos eletrónicos (inclui Engenheiro envolvido)	25	32	800
Dimensionamento de dispositivos eletrónicos (inclui Engenheiro envolvido)	45	56	2520
Acesso a laboratório de Soldadura (equipamento de soldadura + técnico)	48	16	768
Arduino (para controlo tensões)	74,3	1	74,3
Investigador (para controlo de processo de formação da espuma)	3191,82	2	6383,64
Eléctrodos e fios forrados a silicone	6,92	1	6,92
Bomba peristáltica- teste (aluguer TEMA)	15	5	75
Revista científica	0	1	0
Aluguer de stand em feira	2016	3	6048
Assemblagem (Técnicos+Engenheiros+fluido de cloreto de magnésio)	100	40	4000
Patente	7394,5	1	7394,5
Comercial+ Equipa de controlo do projeto	980	10	9800
Total			49634,95

4. Referências

- [1] Dincer, I. (2000) Renewable Energy and sustainable development: a crucial review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. pp. 157-175
- [2] Panwar, N. L., Kaushik, S.C., Kothari, S. (2011). Role of Renewable energy sources in environmental protection: a review. *Renewable and Sustainable Reviews*. pp. 1513-1524 DOI: 10.1016/j.rser.2010.11.037
- [3] Ellabban, O., Abu-Rub, H., Blaabjerg, F. (2013). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.113>
- [4] Chandrasekaran, S., Bowen, C., Roscow, J., Zhang, Y., Dang, D.K., Kim, E.J., Misra, R.D.K., Deng, L., Chung, J.S., Hur, S.H. (2019). Micro-scale to nano-scale generators for energy harvesting: Self powered piezoelectric, triboelectric and hybrid devices. *Physics Reports*. Volume 792, pp. 1-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2018.11.001>
- [5] Ma, M., Kang, Z., Liao, Q., Zhang, Q., Gao, F., Zhao, X., Zhang, Z., Zhang, Y. (2018). Development, applications, and future directions of triboelectric nanogenerators. *Nano Research*, Volume 11 (6), pp. 2951-2969. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12274-018-1997-9>
- [6] Hu, F., Cai, Q., Liao, F., Shao, M., Lee, S-T (2015). Recent Advancements in Nanogenerators for Energy Harvesting. *Small*, Volume 11 (42), pp. 5611-5628. DOI: 10.1002/smll.201501011
- [7] Wang, Z. L., Song, J. (2006). Piezoelectric nanogenerators based on zinc oxide nanowire arrays. *Science*, Vol. 312, Issue 5771, pp. 242-246. DOI: 10.1126/science.1124005
- [8] Wang, Z. L., Zhu, G., Yang, Y., Wang, S., Pan, C. (2012). Progress in nanogenerators for portable electronics. *Materials Today*, Volume 15, Issue 12, pp. 532-543, ISSN 1369-7021. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(13\)70011-7](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(13)70011-7).
- [9] Zhu, G., Wang, A.C., Liu, Y., Zhou Y., Wang, Z.L. (2012). Functional electrical stimulation by nanogenerator with 58 V output voltage. *Nano Lett.* 12, pp. 3086-3090.
- [10] Bai, S., Zhang, L., Xu, Q., Zheng, Y., Qin, Y., Wang, Z. L. (2013). Two dimensional woven nanogenerator. *Nano Energy*, Volume 2, Issue 5, pp. 749-753, ISSN 2211-2855. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2013.01.001>.
- [11] Opoku, C., Dahiya, A. S., Oshman, C., Cayrel, F., Poulin-Vittrant, G., Alquier, D., Camara, N. (2015). Fabrication of ZnO Nanowire Based Piezoelectric Generators and Related Structures. *Physics Procedia*, Volume 70, pp. 858-862. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2015.08.176>.
- [12] Lee, M., Chen, C.Y., Wang, S., Cha, S.N., Park, Y.J., Kim, J.M., Chou, L.J. Wang, Z.L. (2012). A hybrid piezoelectric structure for wearable nanogenerators, *Adv. Mater.* Volume 24, pp.1759-1764.
- [13] Que, R., Shao, M., Wang, S., Ma, D. D., Lee S-T. (2011). Silicon Nanowires with Permanent Electrostatic Charges for Nanogenerators. *Nano Letters*, Volume 11 (11), pp. 4870-4873, DOI: 10.1021/nl2027266

- [14] Yin, K., Lin, H., Cai, Q., Zhao, Y., Lee, S.T., Hu, F., Shao, M. (2013). Silicon nanowires nanogenerator based on the piezoelectricity of alpha-quartz. *Nanoscale*. Volume 5 (24), pp.12330-12334. DOI: 10.1039/c3nr03838f.
- [15] Liu, L., Lu, K., Wang, T., Liao, F., Peng, M., Shao, M. (2015). Flexible piezoelectric nanogenerators based on silicon nanowire/ α -quartz composites for mechanical energy harvesting. *Materials Letters*, Volume 160, pp. 222-226.
- DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.07.141>.
- [16] Park, K.I., Xu, S., Liu, Y., Hwang, G.T., Kang, S.J.L., Wang, Z.L., Lee, K.J. (2010). Piezoelectric BaTiO₃ thin film nanogenerator on plastic substrates, *Nano Lett.* Volume 10, pp. 4939-4943.
- [17] K. Park, M. Lee, Liu Y., Moon, S., Hwang, G. T., Zhu, G., Kim, J. E. Kim, S.O., Kim, D. K., Wang, Z. L., Lee, K. J. (2012). Flexible Nanocomposite Generator Made of BaTiO₃ Nanoparticles and Graphitic Carbons. *Adv. Mater.* Volume 24, pp. 2999-3004.
- [18] Koka, A., Sodano, H.A. (2014). A low-frequency energy harvester from ultralong, vertically aligned BaTiO₃ nanowire arrays, *Adv. Energy Mater.* 4.
- [19] Cha, S., Kim, S.M., Kim, H., Ku, J., Sohn, J.I., Park, Y.J., Song, B.G., Jung, M.H., Lee, E.K., Choi, B.L., Park, J.J., Wang, Z.L., Kim, J.M., Kim, K. (2011). Porous PVDF as effective sonic wave driven nanogenerators. *Nano Lett.* Volume 11 (12), pp. 5142-5147. DOI: 10.1021/nl202208n.
- [20] Fan, F.R., Lin, L., Zhu, G., Wu, W., Zhang, R., Wang, Z.L. (2012). Transparent triboelectric nanogenerators and self-powered pressure sensors based on micropatterned plastic films. *Nano Lett.*, Volume 12 (6), pp. 3109-3114. DOI: 10.1021/nl300988z
- [21] Zhu, G., Su, Y., Bai, P., Chen, J., Jing, Q., Yang, W., Wang, Z.L. (2014). Harvesting water wave energy by asymmetric screening of electrostatic charges on a nanostructured hydrophobic thin-film surface. *ACS Nano*. Volume 8(6), pp. 6031-6037. DOI: 10.1021/nn5012732.
- [22] Cha, S., Kim, S.M., Kim, H., Ku, J., Sohn, J.I., Park, Y.J., Song, B.G., Jung, M.H., Lee, E.K., Choi, B.L. (2011). Porous PVDF as effective sonic wave driven nanogenerators. *Nano Lett.* Volume 11, pp. 5142-5147.
- [23] Khan, S.A., Zhang, H.L., Xie, Y., Gao, M., Shah, M.A., Qadir, A., Lin, Y. (2017). Flexible triboelectric nanogenerator based on carbon nanotubes for self-powered weighing. *Adv. Energy Materials*, Volume 19 (Issue 3), 1600710. DOI: 10.1002/adem.201600710
- [24] Kim, S., Gupta, M.K., Lee, K.Y., Sohn, A., Kim, T.Y., Shin, K.S., Kim, D., Kim, S.K., Lee, K.H., Shin, H.J. (2014). Transparent Flexible Graphene Triboelectric Nanogenerators. *Adv. Materials*, Volume 26 (Issue 23), pp. 3918-3925. DOI: 10.1002/adma.201400172
- [25] Que, R. H., Shao, Q., Li, Q. L., Shao, M. W., Cai, S., Wang, S. D., Lee, S. T. (2012). Flexible Nanogenerators Based on Graphene Oxide Films for Acoustic Energy Harvesting. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2012, 51, pp. 5418-5422.
- [26] Zhang, S.L., Lai, Y.C., He, X., Liu, R., Zi, Y., Wang, Z.L. (2017). Auxetic foam-based contact-mode triboelectric nanogenerator with highly sensitive self-powered strain sensing capabilities to monitor human body movement. *Adv. Functional Materials*, Volume 27 (Issue 25), 1606695. DOI: 10.1002/adfm.201606695

- [27] Zhu, Y., Yang, B., Liu, J., Wang, X., Wang, L., Chen, X., Yang, C. (2016). A flexible and biocompatible triboelectric nanogenerator with tunable internal resistance for powering wearable devices. *Scientific Reports*, Volume 6, Article number: 22233.
- [28] He, C., Han, C.B., Gu, G.Q., Jiang, T., Chen, B.D., Gao, Z.L., Wang, Z.L. (2017). Hourglass triboelectric nanogenerator as a direct current power source. *Adv. Energy Materials*, Volume 7 (Issue 19), 1700644. DOI: <https://doi.org/10.1002/aenm.201700644>
- [29] Khan, U., Kim, S-W (2016). Triboelectric Nanogenerators for Blue Energy Harvesting. *ACS Nano*. Volume 10 (7), pp. 6429-6432. DOI: 10.1021/acsnano.6b04213
- [30] Segundo Vieira, J.E.D., Vilar, E.O. (2016) Grafeno: Uma revisão sobre propriedades, mecanismos de produção e potenciais aplicações em sistemas energéticos. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*. Vol 11(2) pp.54-57
- [31] Dartora, C.A., Jimenez, M.J.S., Zanella, F. (2015). Os fundamentos da física dos férmions de Dirac sem massa em (1+2)-D e o grafeno. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Vol.37 (3) DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11173731713>
- [32] Tarelho, J.P.G., Santos, M.P.S., Ferreira, J. A.F., Ramos, A., Kopyl, S., Kim, S., Hong, S., Kholkin, A. (2018). *Materials Today*. Vol.21 (10)
- [33] Zhang, Z., Li, X., Yin, J., Xu, Y. , Fei, W. Xue, M., Wang, Q. Zhou, J., Guo, W. (2018). Emerging Hydrovoltaic Technology. *Nature Technology*. Vol.13 pp. 1109-1119 Retrieved from: <https://doi.org/10.1038/s41565-018-0228-6>
- [34] Dhiman, P., Yavari, F., Mi, X., Gullapalli, H., Shi, Y., Ajayan, P.M, Koratkar, N.(2011). Harvesting Energy from water flow over graphene. *Nano Letters*. Vol.11 pp. 3123-3127 DOI: 10.1021/nl2011559
- [35] Arun, R., Singh, P., Biswas, G., Chanda, N., Chakraborty, S. (2016). Energy generation from water flow over a reduced graphene oxide surface in a paper pencil device. *Lab Chip*. DOI: 10.1039/c6lc00820h
- [36] Andrew T. Smith, Anna Marie LaChance, Songshan Zeng, Bin Liu, Luyi Sun. Synthesis, properties, and applications of graphene oxide/reduced graphene oxide and their nanocomposites. *Nano Materials Science Article in Press*.
- [37] Siegfried Eigler, Stefan Grimm, Michael Enzelberger-Heim, Paul Muller, Andreas Hirsch (2013). Graphene oxide: efficiency of reducing agents. *Chem. Commun.*, 49, 7391.
- [38] Papageorgiou, Dimitrios & Kinloch, Ian & J. Young, Robert. (2017). Mechanical Properties of Graphene and Graphene-based Nanocomposites. *Progress in Materials Science*, 90, 10.1016.
- [39] Velram Balaji Mohan, Kin-tak Lau, David Hui, Debes Bhattacharyya (2018). Graphene-based materials and their composites: A review on production, applications and product limitations. *Composites Part B*, 142, 200-220.
- [40] Owen C. Compton and SonBinh T. Nguyen (2010). Graphene Oxide, Highly Reduced Graphene Oxide, and Graphene: Versatile Building Blocks for Carbon-Based Materials. *Small* 6, No. 6, 711–723.
- [41] Songfeng Pei, Hui-Ming Cheng (2012). The reduction of graphene oxide. *Carbon*, 50, 3210-3228.
- [42] Khoei, A.R. & Sarkari Khorrami, Mohammad. (2016). Mechanical properties of graphene oxide; A molecular dynamics study. *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 24, 00-00.

- [43] – Chao Wang, Xijiang Han, Ping Xu, Xiaolin Zhang, Yunchen Du, Surong Hu, Jingyu Wang, Xiaohong Wang (2011). The electromagnetic property of chemically reduced graphene oxide and its application as microwave absorbing material. *Applied Physics Letters*, 98, 072906.
- [44] – Min Yi, Zhigang Shen (2015). A review on mechanical exfoliation for the scalable production of graphene. *Journal of Materials Chemistry A*, 3, 11700.
- [45] Pei, S., & Cheng, H. (2012). The reduction of graphene oxide. *Carbon*, 50, 3210-3228.
- [46] – Roberto Muñoz and Cristina Gómez-Aleixandre (2013). Review of CVD Synthesis of Graphene. *Chemical Vapor Deposition*, 19, 297-322.
- [47] Deepak, B. (2015) Lyophilization- Process and optimization for pharmaceuticals. *International Journal of Drug Regulatory Affairs*. Vol. 3(1) pp.30-40
- [48] Lu, X., Wei, A., Fan, Q., Wang, L., Chen, P., Dong, X., Huang, W. (2012). Macroporous foam of reduced graphene oxides prepared by lyophilization. *Material Research Bulletin*. Pp.4335-4339. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.materresbull.2012.09.008>
- [49] Wicklein, B., Kocjan, A., Salazar-Alvarez, G., Carosio, F., Camino, G., Antonietti, M., Bergstrom, L. (2014). Thermally insulating and fire-retardant lightweight anisotropic foams based on nanocellulose and graphene oxide. *Nature Technology*. Vol. 10 DOI: 10.1038/NNANO.2014.248
- [50] Chen, H., Li, Z. Liu, X., Ren, H., Tang, X., Zhang P., Ding, Y. (2017). Compressive mechanical properties of porous GO materials prepared from freeze-drying method. *Materials Research Express*. Retrieved from: <https://doi.org/10.1088/2053-1591/4/2/025601>
- [51] CPLabSafety. PTFE and Teflon Chemical Compatibility Chart. Retrieved from <https://www.calpaclab.com/teflon-ptfe-compatibility/>
- [52] Winter, M., Brodd, R.J. (2004). What are batteries, fuel cells and supercapacitors? *Chemical Reviews*. Vol 104 (10). DOI: 10.1021/cr020730k
- [53] Wang Y., Shi, Z., Huang, Y., Ma Y., Wang, C., Chen, M., Chen Y. (2009). Supercapacitor Devices Based on Graphene Materials. *The Journal of Physical Chemistry*. Vol 113. pp.13103–13107. DOI: 10.1021/jp902214f
- [54] Das, M., & Mandal, R. (2018). A comparative performance analysis of direct, with battery, supercapacitor, and battery-supercapacitor enabled photovoltaic water pumping systems using centrifugal pump. *Solar Energy*, 171, 302-309.
- [55] Portal da Juventude. Emprego e Empreendedorismo. Retrieved from: <https://juventude.gov.pt/Emprego/Empreendedorismo/Apoios%20ao%20Empreendedorismo/Paginas/ApoiosaoEmpreendedorismo.aspx>
- [56] Justiça.Gov.pt. (2018) Quanto custa registar uma patente. Retrieved from : <https://justica.gov.pt/Registos/Propriedade-Industrial/Patente/Quanto-custa-registar-uma-patente>

Fios de silicone

<https://www.codistec.com/pt/cabo-electrico/64-cabo-silicone-2-x-025mm2.html>

Eléctrodos de cobre

<https://www.amazon.com/The-Science-Shop%C2%AE-COPPER-ELECTRODE/dp/B001D6HW5Q>

Stand de vendas

<https://www.posterdigital.pt/pt/product/stand-tex-wave-havana>

Teflon

https://pt.grandado.com/products/10-m-2-3-tubo-de-ptfe-teflon-tubulacao-para-j-cabeca-da-impressora-3d-reprap-rostock-hotend-bowden-v5-extrusora-para-1-75mm-filamento-e502?fbclid=IwAR30Wmywt0pwK1EpNRlojtyg2ubNh_qYu8AgiMK-AYN9VgbOkvY1uLD_KK4

Óxido grafeno em pó

<https://graphene-supermarket.com/Single-Layer-Graphene-Oxide-small-flakes-1g.html>

Arduino

<https://www.electrofun.pt/arduino/placa-arduino-com-nfc-integrado?fbclid=IwAR3RSLiwOEPuJTOEnQwTw2vmyUDqIrwHmNtgkn7tN58sLmXWGW1aAwzwQA>

Investigador auxiliar

https://www.snesup.pt/htmls/_dlds/Vencimentos_e_quotas_irs_2018.pdf

Sonicador

<https://homogenizers.net/products/q2000-sonicator>

Laboratório

https://cdn.ymaws.com/www.aspenational.org/resource/resmgr/Techical_Papers/2014_June_Tp.pdf

Câmara de Vácuo

https://www.lesker.com/newweb/chambers/std_boxchamber.cfm?fbclid=IwAR0Zke2IQva6Y5IEhAH8Q8NLDtTBmoOswMh8Cdk49CuxPobAETVWFsChFIM

Aluguer Pavilhão

https://www.imovirtual.com/anuncio/pavilhao-industrial-oia-IDSJLI.html?utm_source=trovit&utm_medium=cpc&utm_campaign=premium&fbclid=IwAR1bVWtojxMNTtwTU_12q4P0bZpEnzaU00HliWUP61zdLDoqAamgJH8Mk34

Técnicos

https://www.indeed.pt/salaries/T%C3%A9cnico-Salaries?fbclid=IwAR1yWZwLd1KQRZBk7U1yfNTMf2_BtyIPqdMdw7Oa-HG-bCCymMOqfftdOzU

Pó Grafite

https://www.alfa.com/pt/catalog/014734/?fbclid=IwAR2zp8zpo0EB3f2hB1noEJpwT0benMiX4E_y6uefapF7iBHaunJWZe_SKww

Hidrazina

<https://www.alfa.com/pt/catalog/A14005/?fbclid=IwAR3wjjdKsZCJ27aD7PISp-xUnifkRk-8PdrRStnq9EohS67IBMVvfa1SYg>

Cloreto Magnésio

https://portuguese.alibaba.com/product-detail/magnesium-chloride-saturated-solution-mgcl2-l-32--1351718124.html?fbclid=IwAR1_BMCOB2CsF3gGbeZdx-Gl2Ykg6sJT5nfAa2c7hT1f9KWwfCfTdxZVv0

Tubo Teflon

<https://rerom.pt/loja-online/510-tubos-pneumaacuteticos-e-mangueiras-de-aacutegua/8387-mangueira-ptfe-amp-pfa-induacutestria-alimentar/?fbclid=IwAR3HnU3ukahjw3M7yHAKtezF3La5ST1AY23UvvgbGanbndbMMdLC775KgZo>

Liofilizador

https://www.alibaba.com/product-detail/high-quality-drying-equipment-medical-pharmaceutical_60451135983.html?spm=a2700.7724857.normalList.64.14d73c5cHSY YGB

Licenciamento

https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/179275/details/normal?p_p_auth=55oxfUdH&fbclid=IwAR1wlsFWTpIpBoSIVC-ydiqdr4iMdeWx5a5fuL5CyUvfXTk6ldk3rQxphJE

Web Design e ECommerce

<https://mdigital.pt/precos/?fbclid=IwAR36acg5kGcyK0eVCqS3SjH87L320rBLpeY7F00S6fdOt5h5nIplMzVsmMk>

Marketing Digital

<https://www.zaask.pt/quanto-custa/marketing-digital?fbclid=IwAR3XALyKC5oTkBlg0zWk42UDUYC9VJZp9Y3CrKOIHOq-URc0dvGmHWTmWnM>

Publicidade no Expresso

<http://binaries.cdn.imprensa.pt/84b/92e/10103053/Tabela-Publicidade-Expresso-2017.pdf>

Feiras

<https://10times.com/ifa-berlin>
https://www.edreams.pt/travel/?locale=pt_PT#/results/type=R;buyPath=1003;from=OP O;to=BER;dep=2019-09-10;adults=1;children=0;infants=0;internalSearch=false;collectionmethod=false;ret=2019-09-12;
<https://www.fair-point.com/event/ifa-berlin/>

Anexos

Tabela 4 – Propriedades mecânicas, elétricas e térmicas do grafeno, óxido de grafeno e óxido de reduzido [2]

Propriedades	Grafeno (monolayer)	Óxido de grafeno (paper)	Óxido de grafeno reduzido
Mecânicas	Break Strength – $42 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ Young Modulus – 1,0 TPa Tensile Strength – 130,5 GPa Fracture Toughness – $4,0 \pm 0,6 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{\frac{1}{2}}$	Young Modulus – $207,6 \pm 23,4 \text{ GPa}$ Tensile Strength – 15-193 MPa	Young Modulus – $250 \pm 150 \text{ GPa}$
Elétricas E Térmicas	Charge-carrier mobility – $25 \text{ m}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ Electric conductivity – $6500 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ Thermal conductivity – $5000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	Non-conductive Electrical resistance – $1,64 \times 10^4 \Omega \cdot \text{m}$	Electric conductivity – $0,1 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ to $2,98 \times 10^4 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$

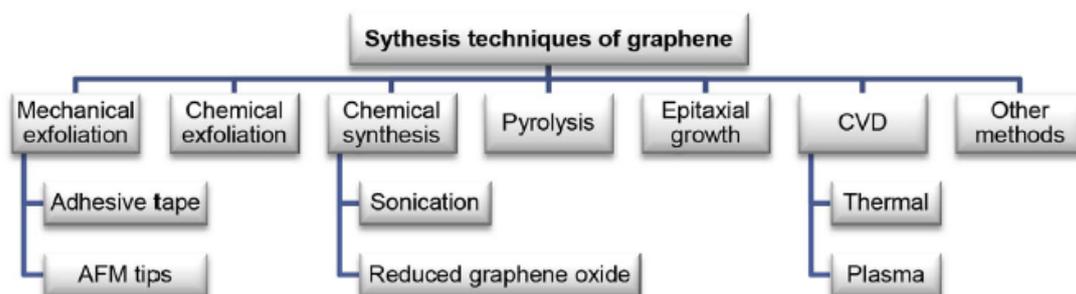


Figura 5- Processos de sinterização de grafeno e seus derivados [7]

Patente			
	Procedimentos	On-line	Papel
Processo inicial	Pedido	106,61	213,21
	Resposta a notificação	26,66	53,3
	Alteração por iniciativa do requerente	26,66	53,3
	Antecipação da publicação do pedido	5,32	10,67
	Pedido de licença de expl. Obrigatória	10,67	21,33
	Manutenção (do ano 5 ao ano 20)	6386,99	6386,99
Contencioso	Reclamação	53,3	106,61
	Suspensão	26,66	53,3
	Pedido modificação da decisão	159,91	319,83
	restabelecimento dos direitos	159,91	319,83
	Junção de documentos	0	5,32
Gestão de direitos	Transmissão	106,61	133,26
	Licença de exploração	90,61	106,61
	Outros averbamentos	0	5,32
Meios de prova	Titulos certificados	16	16
	Certidão simples em papel	21,33	21,33
	Certidão simples digital	10,67	10,67
	Certidão integral em papel	53,3	53,3
	Certidão integral digital	26,66	26,66
Pedido provisório da	Pedido	10,67	21,33
	Pesquisa	21,33	42,64
	Conversão em pedido definitivo	74,63	149,23
TOTAL		7 394,50 €	8 130,04 €

Figura 6- Custos de Patente

Escalão Fator dimensão	7
Fator de Serviço	10
Taxa Base	94,92 €
Taxa Final	6 644,40 €

Figura 7-Custo de Licenciamento

	Constituintes	Unidades	Valor	Taxa	Total
Investimento Inicial	Estudo viabilidade	1	49 634,95 €	0%	49 634,95 €
	Liofilizador	1	150 000,00 €	0%	150 000,00 €
	Construção de Laboratório	1	323 000,00 €	0%	323 000,00 €
	Sonicador	1	14 600,00 €	0%	14 600,00 €
	Câmara de vácuo	2	15 466,00 €	0%	30 932,00 €
	Custo Licenciamento	1	6 644,40 €	0%	6 644,40 €
	Contratação de Pessoal	1	2 227,27 €	0%	2 227,27 €
	Total Investimento Inicial				
Custos Mensais	Total com Custos Pessoal				15 692,30 €
	Técnicos Liofilização	2	897,00 €	24,75%	2 238,02 €
	Técnicos Montagem	4	897,00 €	24,75%	4 476,03 €
	Comercial/Administração/Recursos Humanos/Financeiro	5	980,00 €	24,75%	6 112,75 €
	Técnico Químico	1	897,00 €	24,75%	1 119,01 €
	Engenheiros Químicos	1	1 400,00 €	24,75%	1 746,50 €
	Total Consumíveis por mês				174 261,50 €
	Grafite (preço grama)	52800	3,20 €	0	168 960,00 €
	Hidrazina (preço por 50 gramas)	20	15,40 €		308,00 €
	Cloreto Magnésio (preço por litro)	200	0,40 €		80,00 €
	Tubo Teflon (preço por 50 metros)	10	491,35 €		4 913,50 €
	Aluguer Pavilhão	1	3 000,00 €		3 000,00 €
	Subcontratação dispositivos eletrónicos				87 130,75 €
	Web Design e Ecommerce	1	799,00 €		799,00 €
	Publicidade em Jornais e revistas	1	1 860,00 €		1 860,00 €
	Eletricidade e água	1	2 000,00 €		2 000,00 €
	Marketing Digital	1	400,00 €		400,00 €
	Total Custos Mensais				282 084,55 €
	Feiras (viagem+espaço+alojamento) por ano				8 830,97 €
	Web Design+Publicidade+Marketing Digital por ano				36 708,00 €
Total Anual para Divulgação da Empresa				45 538,97 €	
Custos anuais correntes				3 155 006,99 €	
Custos anuais total				3 200 545,96 €	

Figura 8- Estrutura de Custos Globais

Número de dispositivos a produzir /dia	80
Número de dispositivos a produzir anualmente	19360
Venda	13552
Contrato de utilização	5808

Preço Venda	175,00 €
Preço Contrato Utilização/KW	0,05 €
Preço por dia considerando 100 KW/g	5,00 €
Preço mensal Contrato Utilização	155,00 €

Totais Vendas e Contratos	
Venda	2 371 600,00 €
Contrato Utilização	900 240,00 €
Totais	3 271 840,00 €
Margem Lucro	71 294,04 €
	2%

Figura 9- Receitas

Internationale Funkausstellung berlin (Setembro 2019)		
Descrição do custo	Valor	Notas
custo de aluguer do espaço	2 868 €	por 12m2 (Raw Stand)
custo de deslocações	191,99 €	por pessoa (ida e volta)
custo de estadia	94 €	por pessoa / noite

Mobile World Congress (Barcelona)		
Descrição do custo	Valor	Notas
custo de aluguer do espaço	3 500 €	
custo de deslocações e estadia	535,00 €	por pessoa por 3 dias

TOTAL 8 830,97 €

Figura 10- Estrutura de Custos para idas a feiras