

Geradores Termoelétricos: uma Tecnologia Sustentável com Impacto no Futuro Próximo

A. L. Pires^{1*}, M. M. Maia¹, M. Rocha¹, R. S. Costa¹, A. M. Pereira^{1**}

¹ IFIMUP- Instituto de Física de Materiais Avançados, Nanotecnologias e Fotónica, Departamento de Física e Astronomia, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

* ana.pires@fc.up.pt ** ampereira@fc.up.pt

A busca incessante por sistemas inovadores e sustentáveis de captação/geração/transformação de energia, tornou-se, na última década, um forte impulsionador do avanço tecnológico. Neste contexto, e devido ao seu potencial de aplicação, micro e nano geradores flexíveis estão a ser utilizados como soluções alternativas de conversão de energia térmica em energia elétrica, através do fenómeno de termoelectricidade. Esses dispositivos visam oferecer soluções energéticas mais sustentáveis, eficientes e limpas, contribuindo assim para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e para o desenvolvimento de sistemas autónomos e portáteis. A aplicação desses dispositivos em áreas como a saúde, a monitorização ambiental e industrial podem ter impacto benéfico na qualidade de vida das pessoas e no desenvolvimento sustentável da sociedade. Do ponto de vista científico, é uma área altamente multidisciplinar abrangendo diversos campos tais como a física, a química, a engenharia de materiais e a eletrónica. A respetiva interdisciplinaridade torna a investigação nessa área desafiadora, mas também promissora para avanços tecnológicos significativos. Neste artigo científico pretende-se fornecer uma breve revisão dos principais conceitos teóricos, bem como do estado de arte referente aos dispositivos termoelétricos. Por fim, serão discutidas algumas aplicações resultantes dessa tecnologia promissora.

1. Introdução

Atualmente, o consumo de energia está a aumentar a um ritmo sem precedentes, impulsionado principalmente pelo crescimento populacional. Estima-se que a população mundial atinja 9,6 mil milhões de pessoas até 2050, nas quais cerca de 90 % irão viver em áreas urbanas [1]. Nesse contexto, torna-se vital investir em soluções energéticas mais inteligentes, eficientes e sustentáveis, a fim de mitigar o impacto económico, atender aos requisitos dos consumidores e desenvolver soluções ambientalmente mais limpas. A Era da "Internet das Coisas" (IoT) é, atualmente, uma realidade que está a ser desenvolvida a uma velocidade sem precedentes. Casas inteligentes estão a

ser projetadas e equipadas com centenas de sensores. Evitar a substituição de baterias e reduzir o consumo de energia da rede elétrica é um marco a ser alcançado num futuro próximo, sendo este o foco de muitos grupos de investigação a nível mundial. Esta necessidade impulsionou o desenvolvimento de diversas tecnologias inovadoras, como as energias renováveis (solar, eólica, das marés e fusão nuclear) [1,2]. Nos últimos anos, uma ampla gama de áreas tem sido objeto de investigação, incluindo os sistemas de colheita de energia (denominado de *Energy harvesting*) enquadrando dispositivos piezoelétricos, triboelétricos e termoelétricos, entre outras tecnologias.

A *colheita de energia* ou também denominada de *captação de energia* refere-se ao processo de captação, transformação e/ou armazenamento de energia disponível no ambiente para ser posteriormente utilizada. Este tipo de energia pode ser obtido a partir de diferentes fontes, como vibrações mecânicas, sistemas eletromagnéticos, luz, ondas acústicas, fluxo de ar, fluxo de calor ou variações de temperatura, representando uma fonte infinita de energia limpa disponível. Neste contexto, a captação de energia térmica recorrendo a materiais e dispositivos termoelétricos é de extrema importância. Esta tecnologia possui a capacidade de converter eficientemente a energia térmica desperdiçada em eletricidade. A União Europeia, estima que aproximadamente 800 TWh de energia térmica são anualmente dissipados para o ambiente como calor residual resultante dos processos industriais, o que cria uma significativa oportunidade para a aplicação deste tipo de dispositivos [1].

2. Termoelectricidade

A dissipação térmica é uma presença constante no nosso dia a dia e pode ser obtida a partir de uma ampla variedade de fontes. Essas fontes incluem seres humanos e animais, máquinas e dispositivos eletrónicos, bem como fontes naturais. Nos materiais, quando é estabelecido um gradiente térmico (ΔT) entre as extremidades ocorre a difusão dos portadores de carga, nomeadamente as cargas móveis presentes no lado quente, com maior energia

térmica, difundindo-se naturalmente em direção ao lado frio, onde a energia é menor. Devido a esta difusão, é gerada uma força eletromotriz que corresponderá a um surgimento de um potencial elétrico (ΔV). Este fenômeno é conhecido como efeito termoelétrico, sendo definido da seguinte forma [2]:

$$S = - \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (1)$$

onde S corresponde ao coeficiente de Seebeck, expresso em volts por Kelvin ($V K^{-1}$, unidade SI) [2]. Na prática, esta equação é simplificada da seguinte forma:

$$\Delta V = -S \Delta T \quad (2)$$

O S pode variar entre positivo e negativo, dependendo do tipo de material. No caso de materiais do tipo p (lacunas como portadores de carga), S é positivo, indicando que a força eletromotriz gerada e o gradiente de temperatura têm sentidos opostos. Em materiais do tipo n (elétrões como portadores de carga), o S é negativo, indicando que a força eletromotriz gerada e o gradiente de temperatura têm a mesma direção. Uma representação visual deste fenômeno pode ser observada na Figura 1A.

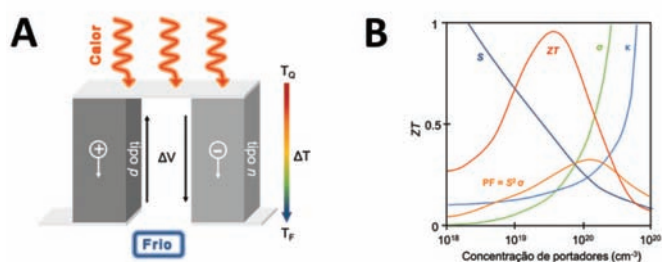


Figura 1 - A. Esquema ilustrativo do efeito de Seebeck em materiais do tipo n e p . De acordo com a segunda lei da termodinâmica, quando um gradiente de temperatura é estabelecido entre as extremidades do material termoelétrico, ocorre a difusão da maioria dos portadores de carga na direção do fluxo de calor. Esse processo resulta na geração de um fluxo de corrente elétrica. B. Compromisso entre os parâmetros: S , σ e κ , consoante o número de portadores (isoladores, semicondutores e metais).

No entanto, a eficiência de conversão de energia não depende apenas do efeito de Seebeck, mas da sua figura de mérito, zT . Essa grandeza é adimensional e desempenha um papel crucial na determinação das propriedades termoelétricas deste tipo de materiais, podendo ser determinada através da seguinte equação [1,2]:

$$zT = \frac{S^2 \sigma}{\kappa} T \quad (3)$$

onde σ e κ são referentes às condutividades elétrica e térmica, respetivamente, e T a temperatura absoluta. De ressaltar que o numerador $S^2 \sigma$ também é conhecido como fator de potência (PF) que correlaciona as propriedades eletrônicas do material. Assim, um material termoelétrico de alta eficiência deverá apresentar elevados valores de S e σ e baixo valor de κ . Curiosamente, um material termoelétrico de excelência poderá ser chamado de “*phonon-glass electron-crystal*” pois, idealmente, o material deve-se comportar termicamente como um vidro, tendo baixa condutividade e, simultaneamente, exibir proprieda-

des eletrônicas de uma rede cristalina [2]. Os materiais podem ser agrupados como metais, semicondutores e isoladores. Na Figura 1B, é possível analisar a tendência referente aos três principais parâmetros termoelétricos para os três tipos de materiais. O gráfico mostra que materiais semicondutores apresentam o melhor valor de zT em comparação com os demais materiais. Além disso, observa-se que o valor máximo de zT é alcançado com uma concentração de portadores em torno de $\sim 10^{19} - 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ (semicondutores). Na prática, é desafiador obter valores elevados de zT , uma vez que esses três parâmetros estão interligados e afetam-se mutuamente.

Desde a descoberta do efeito Seebeck, em 1821, a investigação contínua na área da termoeletricidade foi marcada por avanços significativos, como ilustrado na Figura 2 [2].

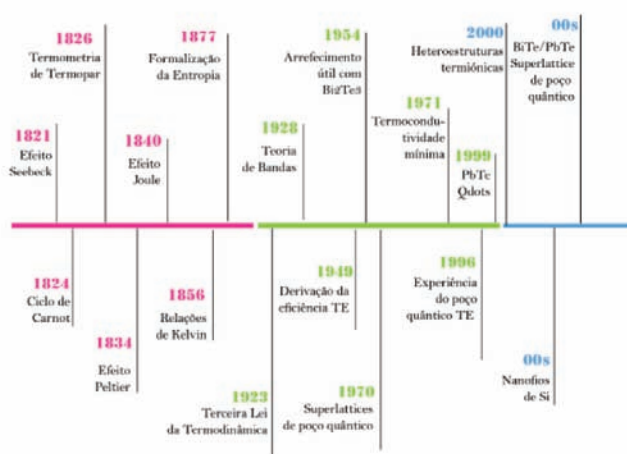


Figura 2 - Termoeletricidade e a sua evolução histórica.

Na verdade, a investigação de materiais termoelétricos semicondutores teve início na década de 1950 com o objetivo primordial de desenvolver sistemas de refrigeração para aplicações domésticas. No entanto, em termos práticos, apenas se tornou possível com o aparecimento de materiais mais eficientes. A descoberta do bismuto de telúrio e as suas ligas na década de 1960 foi um marco importante neste avanço. Estas ligas, para aplicações à temperatura ambiente, permitiram alcançar valores de zT próximos da unidade. Apenas anos depois, e com os avanços na nanotecnologia, este limite foi superado e um novo leque de possibilidades foi alcançado. A nano-estruturação permitiu aprimorar o desempenho dos materiais termoelétricos devido à presença de efeitos quânticos como é o caso do confinamento quântico. Esta abordagem pode levar ao aumento da densidade de estados perto do nível de Fermi e, por consequente, aumentar o coeficiente de Seebeck.

A nanoestruturação também tem um papel preponderante na redução da condutividade térmica mantendo o seu desempenho de condutor elétrico. O κ da equação 3 resulta da soma de duas contribuições: condutividade térmica da componente eletrônica (κ_{el}) e fonônica (κ_{ph}). O κ_{el} representa a propagação de calor com portadores

de carga carregados sendo correlacionado pela lei de Wiedemann–Franz Law dada por [1]:

$$\frac{\sigma}{k_{el}} = LT \quad (4)$$

onde L é o número de Lorentz expresso por [1]:

$$L = \frac{\pi^2}{3} \left(\frac{k_B}{e} \right)^2 = 2,44 \times 10^{-8} \text{ V}^2\text{K}^{-2} \quad (5)$$

κ_{ph} representa a propagação de calor por meio de fonões e é expresso pela teoria cinética num regime difusivo da seguinte forma [1]:

$$k_{ph} = \frac{1}{3} C \lambda_{ph} v_s \quad (6)$$

onde C é a capacidade calorífica a volume constante, λ_{ph} livre percurso médio dos fonões e v_s é a velocidade do som. Tipicamente em semicondutores o λ_{ph} é da ordem das dezenas de nanômetros. Desta forma, as interfaces e os limites de grão introduzidos pela nanoestruturação, ou a própria nanoestruturação dos materiais termoeletrônicos causam um aumento significativo do espalhamento de fonões, que resulta na redução da κ_{ph} sem alterar a componente eletrônica, melhorando assim a eficiência do material como um conversor termoeletrônico.

Um exemplo notável desta nanoestruturação foi alcançado em 2019 por Hinterleitner e Bauer [3], que demonstraram a viabilidade de obter valores de zT próximos de 6 (temperatura de operação 400 K) em filmes finos de *Heusler* à base de $\text{Fe}_2\text{V}_{0,8}\text{W}_{0,2}\text{Al}$ produzidos por *magnetron sputtering*. O avanço tecnológico e a busca por materiais cada vez mais eficientes é essencial para futuras aplicações práticas deste tipo de tecnologia. A nanotecnologia também permitiu a possibilidade de criar materiais híbridos e compósitos com propriedades termoeletrônicas otimizadas, combinando diferentes materiais e estruturas à escala nanométrica.

3. Geradores Termoeletrônicos

Os geradores termoeletrônicos (TEG), dispositivos de estado sólido que funcionam de acordo com o efeito Seebeck, podem ser utilizados como fonte de energia elétrica para alimentar dispositivos eletrônicos num circuito externo usando o fluxo de calor residual através de um gradiente de temperatura, *i.e.*, são utilizados para converter a energia térmica em energia elétrica. Representam uma oportunidade promissora para alimentar certos dispositivos portáteis que requerem baixa potência. Estes dispositivos apresentam várias vantagens tais como a operação compacta, silenciosa e leve, além da inexistência de peças móveis e necessidade de manutenção. A Figura 3A ilustra esquematicamente a constituição de um TEG, sendo majoritariamente produzido por semicondutores do tipo *n* e *p* ligados eletricamente em série e termicamente em paralelo, entre duas placas de cerâmica. Quando é aplicada uma diferença de temperatura, a maioria dos portadores migra da extremidade quente para a fria, sendo gerada uma tensão termoeletrônica. O desempenho de um TEG depende da

diferença de temperatura entre as extremidades quente e frio, do desempenho dos materiais e da configuração e disposição dos pilares termoeletrônicos. Genericamente refere-se que a tensão de saída gerada (V_{out}) por um TEG segue a seguinte relação:

$$V_{out} = - \sum_{i=1}^n S_i (T_Q - T_f) \quad (7)$$

sendo S_i o coeficiente de Seebeck do material que constitui cada pilar do termoeletrônico e T_Q e T_f a temperatura na parte quente e fria respectivamente.

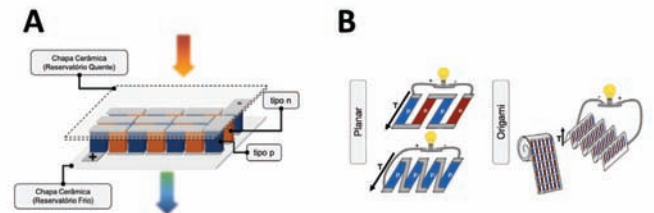


Figura 3 - A. Um módulo termoeletrônico é constituído por elementos termoeletrônicos positivos (tipo p, azul) e negativos (tipo n, laranja), ligados eletricamente em série e termicamente em paralelo, condutores elétricos (cinza, a ligarem os diferentes elementos) e placas termicamente condutoras e eletricamente isolantes (a servirem de base aos condutores elétricos). B. Diferentes rearranjos dos dispositivos termoeletrônicos encontrados na literatura.

Perdas devido à dissipação de calor são inevitáveis em diversas aplicações, aumentando assim a potencialidade de utilização destes micro-nano-geradores na redução do custo energético, por exemplo, em processos industriais. No entanto, a termoeletricidade enfrenta várias barreiras que precisam ser superadas para que estes dispositivos possam ser utilizados na captação de energia de forma eficiente, como por exemplo baixa abundância e toxicidade dos elementos químicos presentes nos materiais termoeletrônicos, além da necessidade de melhorar a sua eficiência na conversão de energia térmica em elétrica. A eficiência do gerador (η) é calculada através da razão entre a potência fornecida à carga e o fluxo de calor líquido. Como todos os motores térmicos, este deve obedecer às leis da termodinâmica e, por isso, é limitado pela eficiência de Carnot (η_C). Essa eficiência é determinada pela razão entre a diferença de temperatura (entre a fonte de calor e o dissipador de calor) e a temperatura da fonte de calor [2]:

$$\eta_C = \frac{\Delta T}{T_Q} = \frac{T_Q - T_f}{T_f} = 1 - \frac{T_f}{T_Q} \quad (8)$$

No caso do sistema termoeletrônico, a eficiência real de qualquer dispositivo é frequentemente dada como uma percentagem da eficiência de Carnot, de acordo com a seguinte equação contendo a figura de mérito zT :

$$\eta = \eta_C \frac{\sqrt{1+zT}-1}{\sqrt{1+zT}+\frac{T_f}{T_Q}} \quad (9)$$

Os dispositivos termoeletrônicos atualmente utilizados comercialmente em aplicações de baixa potência são baseados em materiais semicondutores termoeletrônicos e possuem uma eficiência de Carnot de cerca de 10 %, com um valor de zT em torno de 1 [1]. Para além da otimização

dos materiais termoelétricos (zT), a geometria do dispositivo também é uma questão importante. Nas Fig. 3A e 3B são apresentadas diferentes configurações/geometrias dos dispositivos termoelétricos, alterando a disposição dos pilares termoelétricos e a direção do fluxo de calor através do dispositivo. Configurações como vertical, planar, radial e origami podem ser observadas.

4. Aplicações

Atualmente, existem inúmeras aplicações para os geradores termoelétricos, desde a indústria automóvel, passando pela vigilância e segurança militar, biomedicina, agricultura e até mesmo para aplicações remotas como exploração espacial. Na verdade, estes dispositivos são bastante interessantes para aplicações em sítios remotos ou de difícil acesso devido à sua condição de operação quase perpétua. Historicamente, a utilização de geradores termoelétricos remete-nos para as décadas de 1960 e 1970. Os primeiros materiais termoelétricos foram inicialmente aplicados no setor militar, operando num regime de temperaturas próximas dos 190 K. Essas temperaturas eram necessárias para o funcionamento de sensores em sistemas de imagem infravermelho para mísseis guiados por calor e sistemas de visão noturna. Numa área diferente, termoelétricos à base de Ge-Si, também conhecidos como geradores termoelétricos de radioisótopos (RTG), foram incorporados em sondas espaciais com o objetivo de converter o calor proveniente da fissão nuclear em eletricidade utilizada para alimentar as sondas (Fig. 4). Estes RTG foram projetados para operar em altas temperaturas, permitindo uma conversão do calor em energia elétrica eficiente e garantindo assim, a autonomia energética das sondas em missões espaciais de longa duração.

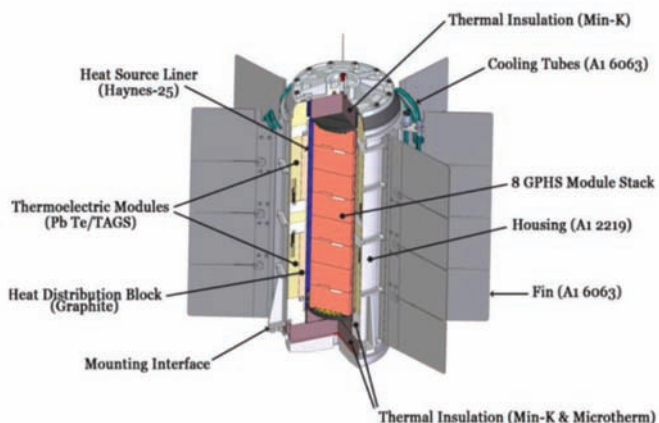


Figura 4 - Ilustração de um gerador termoelétrico de radioisótopo (RTG) [4].

Adicionalmente, diversas estações meteorológicas localizadas em ambientes remotos/extremos adotaram geradores termoelétricos para suprimir as suas necessidades energéticas, baseando-se no mesmo princípio utilizado nas sondas espaciais. A pioneira neste sentido foi a estação meteorológica da Ilha Axel Heiberg, no noroeste canadiano, em 1961 [1,4]. Este avanço marcou historicamente a conversão prática de energia termoelétrica, sendo considerado o primeiro dispositivo funcional neste campo. O material termoelétrico utilizado foi o telureto de chumbo alimentado

pelo calor gerado por uma fonte de estrôncio. O dispositivo fornecia uma potência constante de 5 W. Nos anos seguintes, outros dispositivos termoelétricos semelhantes foram instalados em estações meteorológicas localizadas no Ártico e na Antártida, permitindo a colheita contínua de informações meteorológicas. Outro exemplo bastante conhecido da aplicação de geradores termoelétricos é no setor automóvel. O grupo da BMW encontra-se envolvido em diversos projetos de investigação no sentido de recuperar a energia térmica dissipada de forma energeticamente mais eficiente. Como exemplo, aproveitar a energia libertada sob a forma de calor pelo sistema de exaustão de gases para gerar/converter em energia elétrica e, assim, reduzir o consumo de combustível e as emissões de gases do tubo de escape [4].

Graças aos avanços na nanotecnologia no desenvolvimento de novas técnicas de fabricação de materiais, como fotolitografia e deposição (como por exemplo pulverização catódica), é agora possível criar geradores termoelétricos em escala micro/nano, conhecidos como micro/nano-geradores. Esses dispositivos podem ser projetados com diversas geometrias e utilizam técnicas de fabricação inovadoras. Além das dimensões reduzidas, o avanço da tecnologia tem concentrado bastante atenção na escalabilidade e no baixo custo na produção de dispositivos termoelétricos. A capacidade de escalabilidade refere-se à capacidade de aumentar a produção dos dispositivos termoelétricos de forma eficiente, atendendo à crescente procura por estes dispositivos em diversas aplicações. Assim técnicas de impressão como a serigrafia têm atraído cada vez mais investidores no mundo empresarial. Essa técnica de impressão permite a deposição precisa de materiais termoelétricos em diferentes substratos, possibilitando a fabricação em massa e com baixo custo [5,6]. No nosso grupo de investigação, no Instituto de Física dos Materiais Avançados, Nanotecnologia e Fotónica da Universidade do Porto IFIMUP, estão a ser desenvolvidos dispositivos termoelétricos flexíveis a partir da mistura entre um polímero isolador e materiais inorgânicos termoelétricos [5,6]. Estes filmes impressos têm vindo a ser utilizados recentemente para aplicação aeroespacial através de um financiamento europeu [6]. Este projeto europeu, denominado *WiPTherm*, conta com uma equipa multidisciplinar com o objetivo predominante de desenvolver um sistema inovador de transferência de energia sem fio, através de um laser, e um gerador plasmónico foto-termoelétrico, denominado, HPTP. O estudo de caso neste projeto é integrar o HPTP em um CubeSat (nano satélite) de modo a fornecer energia para efetuar o carregamento das suas baterias a longas distâncias. Estes dispositivos são adequados para implantação espacial, operando em condições severas e extremas (ver Figura 5). Ao direcionar um laser com comprimento de onda em torno dos 1500 nm para o centro do dispositivo termoelétrico, é gerado um gradiente de temperatura do interior para o exterior, que possibilitará a geração de energia suficiente para suprimir as necessidades energéticas do nano satélite. Ao oferecer uma alternativa aos painéis fotovoltaicos, a tecnologia do dispositivo termoelétrico abre caminho para a exploração espacial em locais remotos. Isso representa

uma solução energética única e viabiliza o avanço nas missões espaciais para áreas de difícil acesso.

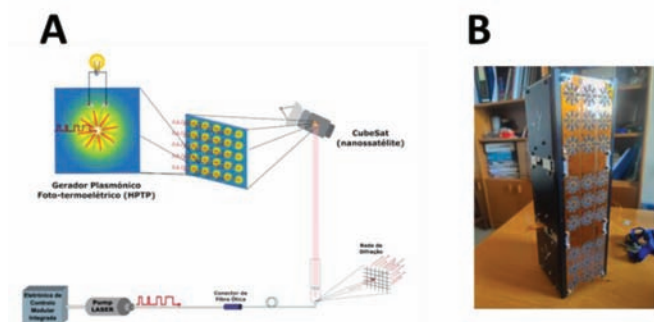


Figura 5 - A. Conceito do projeto europeu WiPTherm. B. Protótipo desenvolvido para o projeto WiPTherm, com vista a carregar um CubeSat de 3 unidades.

Considerações Finais

Atualmente, a União Europeia definiu como objetivo a redução das emissões de efeito de estufa em 80 % e 95 % até 2050. A necessidade de criar soluções energéticas mais eficientes nunca foi tão urgente e de extrema importância. Sistemas de colheita de energia entram nesta vanguarda devido à necessidade de alimentar ecossistemas de dispositivos em crescimento exponencial devido à era da “Internet das Coisas”. Casas inteligentes, Indústria 4.0, assistência médica inteligente nunca foi uma realidade tão próxima como atualmente. Materiais inovadores são necessários para converter eficientemente a energia ambiental em eletricidade através dos vários mecanismos físicos existentes. O grande desafio nestas áreas remete-nos para a sustentabilidade dos materiais utilizados em dispositivos de colheita de energia, nomeadamente para a dificuldade de sintetizar materiais de modo eficiente e com reduzido impacto para o ambiente.

Assim, atualmente, a principal missão na investigação em geradores termoelétricos encontra-se centrada na exploração de diferentes estratégias que englobam materiais avançados e metodologias inovadoras que permitirão a produção de dispositivos mais eficientes capazes de converter energia térmica em eletricidade, nunca esquecendo a sustentabilidade.

Agradecimentos

Gostaríamos de aproveitar esta oportunidade para expressar o nosso sincero agradecimento a todos aqueles que participaram direta ou indiretamente nos projetos relacionados a este tópico nomeadamente: Dra Clara Pereira (REQUIMTE-LAQV), Dra Armandina Lopes (IFIMUP), Dr Fernando Pereira (LSRE-LCM), Dra Joana Fonseca (CeNTi), Dr. Luís Goncalves (CMEMS-UMINHO), Dra Eliana Viera (CMEMS-UMINHO), e aos alunos Ana Rita Sousa, Inês Figueiredo, Inês Ornelas, Isabel Jordão, João Magalhães, Mariana Ramos, Miguel Almeida, Miguel Rosmaninho, Pedro Resende, Rui Carvalho e Sofia Ferreira Teixeira. Um agradecimento também ao programa FET-Open

do Horizonte 2020 da União Europeia pelo financiamento concedido ao projeto WiPTherm, conforme acordo de concessão n.º 863307 ([link: https://wip-therm.eu](https://wip-therm.eu)), à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) e ao Instituto de Física dos Materiais Avançados, Nanotecnologia e Fotónica da Universidade do Porto (IFIMUP) pelos projetos UIDB/04968/2020 e UIDP/04968/2020.

Referências

- [1] A.L. Pires, et al. “Recent Advances in Functional Thermoelectric Materials for Printed Electronics” in *Thin Film and Flexible Thermoelectric Generators, Devices and Sensors*, Book Chapter, Springer Nature, 2021, 79-122.
- [2] Ranjan Kumar and Ranber Singh, “*Thermoelectricity and Advanced Thermoelectric Materials*” Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, Elsevier, 2021.
- [3] B. Hinterleitner, et al. “Thermoelectric performance of a metastable thin-film Heusler alloy”, *Nature*, 2019, 576, 85-90.
- [4] Jaziri N., et al. “A comprehensive review of Thermoelectric Generators: Technologies and common applications” *Energy Reports*, 2020, 6, 7, 264-287.
- [5] A.L. Pires, et al. “Printed Flexible μ -Thermoelectric Device Based on Hybrid Bi₂Te₃/PVA composites” *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2019, 11, 9, 8969-8981.
- [6] M.M. Maia, et al. “A Photothermoelectric Twist to Wireless Energy Transfer: Radial Flexible Thermoelectric Device Powered by a High-Power Laser Beam” *Advanced Materials Technologies*, 2023. 2202104. 1015-1018 (2003).



Ana Pires, licenciada em Engenharia de Materiais pela Universidade de Aveiro, em 2012. Obteve o seu doutoramento em Física em 2019 no Instituto de Física dos Materiais Avançados, Nanotecnologia e Fotónica da Universidade do Porto (IFIMUP-FCUP). Atualmente é investigadora da Universidade do Porto sendo o seu trabalho centrado em materiais funcionais para aplicação energética.



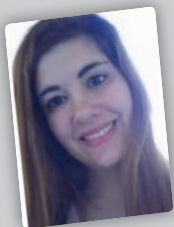
Rui Costa, mestre em Engenharia Física pela Universidade do Porto em 2016. Obteve o grau de doutor em Física no programa doutoral MAP-fis na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto em 2021. É atualmente investigador no Instituto de Física dos Materiais Avançados, Nanotecnologia e Fotónica da Universidade do Porto (IFIMUP) trabalhando no desenvolvimento de (nano)materiais e sistemas/dispositivos de produção/conversão/armazenamento de energia em diversos tipos de substratos flexíveis (têxteis, plásticos).



Margarida Maia, estudante de doutoramento em Física no programa MAP-fis na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, onde também concluiu o Mestrado Integrado em Engenharia Física em 2018. Desde que ingressou no Instituto de Física dos Materiais Avançados, Nanotecnologia e Fotónica da Universidade do Porto (IFIMUP) em 2016, o seu trabalho é focado no desenvolvimento de materiais e dispositivos para colheita de energia, e mais recentemente em sistemas de transferência de energia sem fios, baseados em dispositivos termoelétricos.



André Pereira, licenciado em Física pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP). Doutorou-se em 2010 pela mesma instituição (FCUP). Atualmente é professor auxiliar no departamento de Física e Astronomia da FCUP. As suas áreas principais de investigação estão correlacionadas com a produção de energia dissipada (térmica, mecânica ou magnética) e na área da acumulação de energia em sistemas de supercondensadores para os mais diversos sectores, têxtil, eletrónica plástica ou sistemas rígidos. Recorre à nanotecnologia para melhorar a eficiência quer em sistemas impressos quer por métodos mais avançados como vaporização física dos materiais. Tem participado em diversos projetos de investigação relacionados com energia, assim como em divulgação científica do mesmo tópico a nível mundial.



Mariana Rocha, licenciada e mestre em Química pela Universidade do Porto em 2010 e 2011 respetivamente. Obteve o grau de doutor em Química Sustentável na área de Nanomateriais em 2018. É atualmente investigadora no Instituto de Física dos Materiais Avançados, Nanotecnologia e Fotónica da Universidade do Porto (IFIMUP) estando focada no desenvolvimento de nanomateriais e sua aplicação em dispositivos/sensores.