

RECURSOS LOCAIS PARA APLICAÇÕES MULTIFUNCIONAIS DE CAPTAÇÃO DE ENERGIA COM BASE EM TETRAEDRITE

Neves F.*, **Esperto L.***, **Figueira I.***, **Mascarenhas J.***, **Correia J.B.***, **Joyce A.***, **Guimarães F.****, **Salgueiro R.*****, **Silva T.P.*****, **Oliveira D.*****, **Lopes E.B.******, **Gonçalves A.P.******, **Centeno P.*******, **Mendes M.J.*******, **Águas H.*******, **Martins R.*******, **Gil L.*******, **Almeida P.*******

- * LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Unidade de Materiais para a Energia, Estrada do Paço do Lumiar, 22, 1649-038 Lisboa, Portugal
- ** LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Unidade de Ciência e Tecnologia Mineral, Rua da Amieira, 4465-021 S. Mamede de Infesta, Portugal
- *** LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Unidade de Recursos Minerais e Geofísica, Estrada da Portela, Bairro do Zambujal – Alfragide, Apartado 7586, 2610-999 Amadora, Portugal
- **** C2TN, DECN, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Estrada Nacional 10, 2695-066 Bobadela LRS, Portugal
- ***** CENIMAT/I3N, Departamento de Ciência dos Materiais, Faculdade de Ciências e Tecnologia, FCT, Universidade Nova de Lisboa and CEMOP/UNINOVA, 2829-516 Caparica, Portugal
- ***** Direção Geral de Energia e Geologia, Divisão de Estudos, Investigação e Renováveis, Av. 5 de Outubro, 208, 1069-203 Lisboa, Portugal
- ***** SINTEF Materials Physics, Forskningsveien 1 NO-0373 Oslo, Norway

<https://doi.org/10.34637/cies2020.1.5096>

RESUMO

Este trabalho descreve as principais linhas de investigação que estão em curso no âmbito do projeto LocalEnergy (<http://localenergy.lneg.pt>). LocalEnergy é um projeto multidisciplinar de Investigação, Desenvolvimento e Inovação (I&D&I), envolvendo atividades no domínio da ciência dos materiais, da geologia e das energias renováveis. Essas atividades estão orientadas para a indústria e assentam numa abordagem disruptiva visando o desenvolvimento de materiais termoelétricos, através da utilização de materiais à base de tetraedrites naturais e sintéticas, e o desenvolvimento de novos absorvedores para células solares de filmes finos, usando materiais à base de tetraedrites sintéticas. Considerando que Portugal é um dos países europeus com maior nível de irradiação de energia solar e que a tetraedrite é um recurso mineral local, presente na Zona Sul Portuguesa da Faixa Piritosa Ibérica, o projeto LocalEnergy representa uma oportunidade para o desenvolvimento de sistemas energéticos sustentáveis baseados na maximização e exploração de dois importantes recursos endógenos (energia solar e recursos minerais).

PALAVRAS-CHAVE: Tetraedrite, Termoelétrico, Energia Solar, Fotovoltaico

ABSTRACT

This work describes the main lines of investigation that are underway within LocalEnergy project (<http://localenergy.lneg.pt>). LocalEnergy is a multidisciplinary Research, Development and Innovation project, involving activities in the field of materials science, geology and renewable energies. These activities are oriented towards the industry and are based on a disruptive approach aimed at the development of thermoelectric materials, through the use of materials based on natural and synthetic tetrahedrites, and the development of new absorbers for thin film solar cells, using materials based on synthetic tetrahedrites. Considering that Portugal is one of the European countries with the highest level of irradiation of solar energy and that tetrahedrite is a local mineral resource, present in the Portuguese zone of the Iberian Pyrite Belt, LocalEnergy project represents an opportunity for the development of sustainable energy systems based on the maximization and exploration of two important endogenous resources (solar energy and mineral resources).

KEYWORDS: Tetrahedrite, Thermoelectric, Solar Energy, Photovoltaic

INTRODUÇÃO

As fontes de energia renováveis desempenham um papel importante na transição energética e, por conseguinte, no “mix” energético do futuro. Esta transição energética requer mais progressos e desenvolvimentos em todos os aspetos relacionados com as tecnologias renováveis. É aqui incluída a investigação e inovação de novos materiais, com melhor desempenho, por exemplo, para a captação de energia a partir de fontes renováveis ou para a conversão de energia térmica desperdiçada em eletricidade (aplicações termoelétricas) (Fig. 1) (Gonçalves *et al.*, 2017; Neves *et al.*, 2016, 2018).



Fig. 1. Enquadramento da importância da investigação em fontes de energia renováveis para a transição energética onde a I&D&I na área dos materiais desempenha um importante papel

Apesar do grande desenvolvimento na área dos materiais que tem permitido melhorias significativas em termos da eficiência dos atuais principais constituintes dos sistemas termoelétricos e fotovoltaicos, estes continuam a apresentar diversas limitações tendo em conta os objetivos traçados para a transição energética e para o desenvolvimento sustentável. Essas limitações estão essencialmente relacionadas com a incorporação de elementos raros e dispendiosos (e.g., Pb e Te nos sistemas termoelétricos e Cd, In, Ga e Te nos sistemas fotovoltaicos de filmes finos) e com a utilização de processos de síntese relativamente complexos e pouco económicos. Torna-se assim primordial identificar tecnologias de fabrico inovadoras e novos sistemas baseados em matérias primas que simultaneamente sejam abundantes, de baixo custo e de reduzido impacto ambiental.

A tetraedrite é um mineral de sulfureto de cobre e antimónio ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$) que pode ocorrer na natureza combinada com a tenantite ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$) formando a série tetraedrite-tenantite. No entanto, outros elementos, como os metais de transição Fe, Zn, Ag e Hg podem por vezes estar presentes pelo que a maioria das tetraedrites pode expressar-se genericamente pela fórmula química $\text{Cu}_{10}\text{MT}_2(\text{Sb,As})_4\text{S}_{13}$ (MT = metal de transição). A tetraedrite é um material com uma estrutura cristalina complexa, derivada da estrutura da blenda, que apresenta um comportamento típico de um semiconductor do tipo-p com excelentes propriedades óticas, com um hiato ótico variável entre 1.4 eV a 1.9 eV e um elevado coeficiente de absorção ($> 10^5 \text{ cm}^{-1}$), um elevado coeficiente de Seebeck e uma condutividade térmica extremamente baixa. Por outro lado, uma das características notáveis da utilização da tetraedrite como matéria-prima deriva de este ser um mineral muito abundante, ao contrário dos atuais principais constituintes dos sistemas TE e das células solares de filme finos (CSFF) que contêm elementos raros e dispendiosos. Deste modo, a utilização de compostos a base da tetraedrite como materiais termoelétricos e fotovoltaicos oferece um alto potencial de aplicação para o desenvolvimento de sistemas energéticos sustentáveis.

CARACTERÍSTICAS DO PROJETO LocalEnergy

O projeto LocalEnergy tem uma duração de 44 meses (de outubro de 2018 a maio de 2021) e um orçamento de 238 424.92 €, dos quais cerca de 65% está atribuído à componente de recursos humanos tendo em vista a integração e formação de jovens investigadores. LocalEnergy aborda o uso de tetraedrites naturais e sintéticas para aplicações termoelétricas e de materiais à base de tetraedrite sintética como novos absorvedores solares para aplicações fotovoltaicas como é esquematizado na Fig. 2.

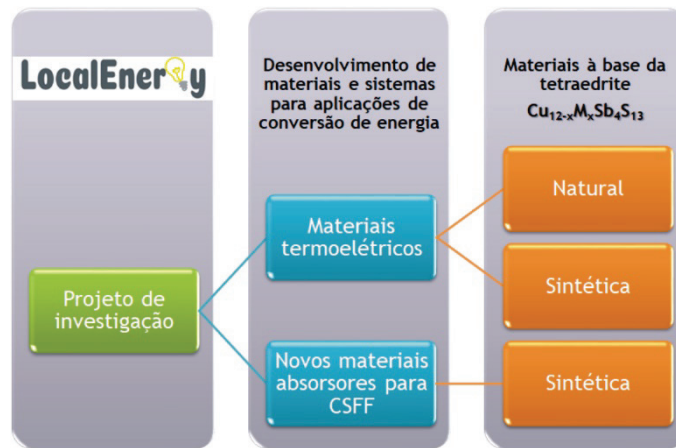


Fig. 2. Linhas de investigação do projeto LocalEnergy

As linhas de investigação do projeto LocalEnergy, com o foco no aproveitamento da tetraedrite natural para o desenvolvimento de sistemas energéticos sustentáveis, são relevantes e representam uma grande oportunidade por:

- Potenciar e valorizar dois importantes recursos endógenos, energia solar e minerais. Portugal é um dos países europeus com maior nível de irradiação de energia solar (Fig. 3) e a tetraedrite é um recurso mineral local, presente na Zona Sul Portuguesa da Faixa Piritosa Ibérica (FPI) (Fig. 4). A utilização destes dois recursos endógenos em aplicações inovadoras de captação de energia deverá ter um impacto positivo, social e económico, na indústria mineira e solar.
- Potenciar a utilização da tetraedrite, um mineral de sulfureto de cobre e antimónio constituído por elementos abundantes e de baixa toxicidade.

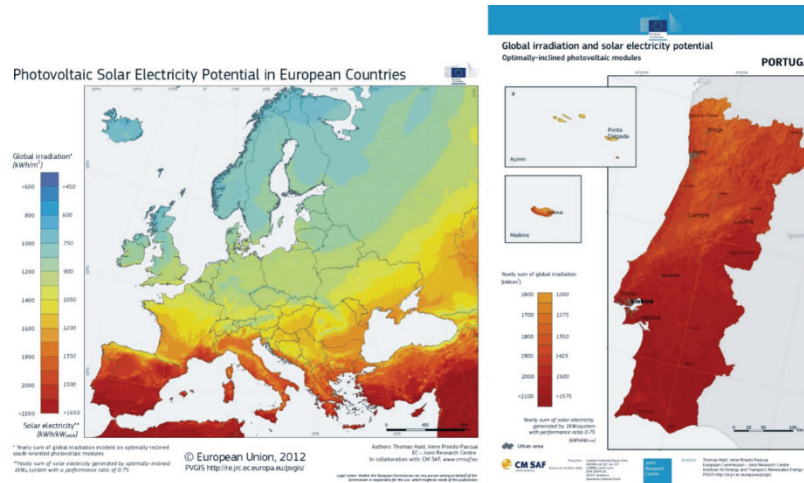


Fig. 3. Distribuição da radiação solar na Europa e em Portugal. Consta-se a maior densidade nos países do Sul, como é o caso de Portugal, onde o potencial é considerável (adaptado de “Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - The European Commission's science and knowledge service”)

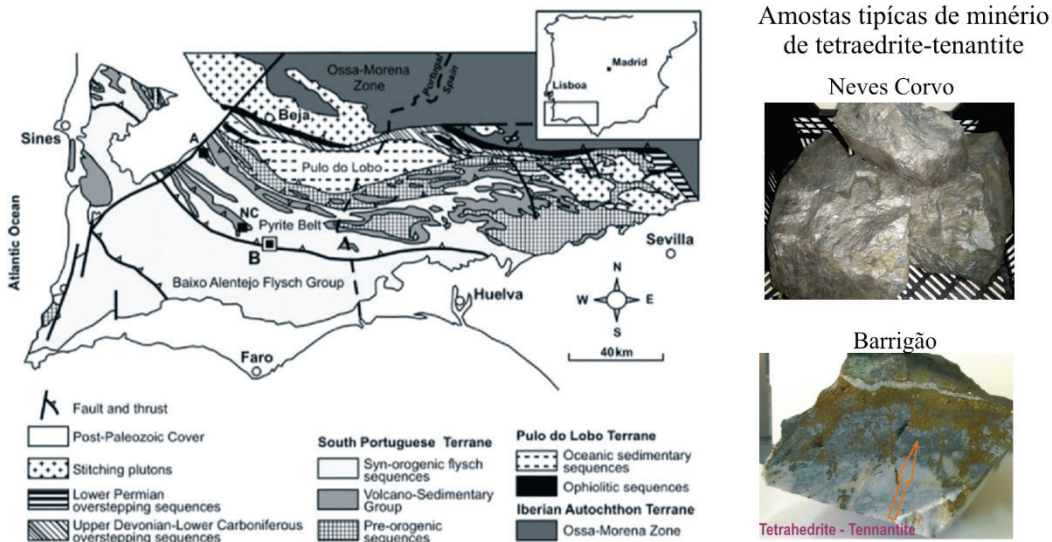


Fig. 4. Faixa Piritosa Ibérica (FPI). Amostras típicas de minério de tetraedrite-tenantite recolhidas na mina de Neves Corvo e na escombreira da mina do Barrigão. A – Aljustrel; NC – Neves Corvo; B – Barrigão (adaptado de Reiser et al. 2011)

As atividades do projeto estão organizadas em quatro work package (WP), cada uma subdividida em várias tarefas:

WP1 - Gestão do Projeto

WP2 - Tetraedrites para aplicações termoelétricas

Principais objetivos

- Demonstrar e validar o uso direto de minério de tetraedrite natural recolhido na FPI.
- Desenvolver um método de síntese no estado sólido da tetraedrite sintética baseado em tecnologias sustentáveis de baixo custo e de alto rendimento.

WP3 - Tetraedrites para aplicações fotovoltaicas








Principais objetivos

- Demonstrar novos conceitos relacionados com o processamento e eficiência de células solares de filmes finos utilizando na camada absorvora materiais à base de tetraedrite.
- Desenvolver e demonstrar a viabilidade de processos de fabrico alternativos para a obtenção da camada absorvora que sejam sustentáveis, de baixo impacto ambiental, de baixo custo e adequados ao fabrico em larga escala (síntese de materiais à base de tetraedrite na forma de pó seguido da deposição de uma tinta constituída por partículas submicrométricas e quimicamente homogéneas).

WP4 - Disseminação e Exploração

Como é evidenciado na Tabela 1, o consórcio do projeto LocalEnergy é constituído por uma equipa de investigação multidisciplinar pertencente a instituições de referência na área da geologia, da ciência dos materiais e das energias renováveis.

Tabela 1. Consórcio do projeto LocalEnergy

	Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.	Instituição coordenadora
 	Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares	Instituição participante
  	Centro de Investigação de Materiais/i3N	Instituição participante
	Direção Geral de Energia e Geologia	Instituição colaboradora

COMENTÁRIOS FINAIS

O projeto LocalEnergy explora atividades científicas orientadas para a indústria e assenta nos seguintes pilares:

Inovação

Incorporação de tetraedrite mineral nacional, recolhida na Zona Sul Portuguesa da Faixa Piritosa Ibérica, na produção de materiais termoelétricos. Uso da tecnologia de pós para processar materiais à base de tetraedrite sintética para a camada absorvedora de células solares de filme finos, tecnologia esta adequada para fabricação em grande escala a baixo custo.

Visão de longo prazo

Oportunidade para o desenvolvimento de sistemas energéticos sustentáveis baseados na maximização e exploração dos recursos naturais portugueses, nomeadamente, energia solar e recursos minerais. Utilização de pequenas instalações locais de concentração solar para produção direta de energia elétrica.

Excelência Científica

Investigação em vários domínios científicos com múltiplos níveis de aplicação sendo constituído por uma equipa de investigação multidisciplinar que envolve investigadores e instituições com um historial de Excelência Científica no domínio da ciência dos materiais, da geologia e das energias renováveis.

Disseminação e formação de jovens investigadores:

Todos os parceiros estão firmemente determinados em promover o desenvolvimento tecnológico, gerar a sua transferência e disseminação e em promover a formação e integração de jovens investigadores no sistema científico e tecnológico nacional.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto PTDC/EAM-PEC/29905/2017. A Direção Geral de Energia e Geologia participa como “External Advisor” no projeto LocalEnergy em que integra este trabalho. A Doutora Patrícia Carvalho, do SINTEF, participa no projeto LocalEnergy como consultora. Agradece-se à Somincor-Sociedade Mineira de Neves Corvo SA, o apoio e fornecimento de amostras.

REFERÊNCIAS

Gonçalves A.P., Lopes E.B., Monnier J., Alleno E., Godart C., Montemor M.F., Vaney J.B., Lenoir B. (2017). Tetrahedrites for low cost and sustainable thermoelectrics. *Solid State Phenom.* 257, 135-138.

JRC European Commission, Solar Radiation Map, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eur.htm>.

Neves F., Stark A., Schell N., Mendes M. J., Aguas H., Fortunato E., Martins R., Correia J. B., Joyce A. (2018). Investigation of single phase $\text{Cu}_2\text{ZnSn}_x\text{Sb}_{1-x}\text{S}_4$ compounds processed by mechanochemical synthesis. *Physical Review Materials* 2, 075404.

Neves F., Correia B., Hanada K., Santos L.F., Gunder R., Schorr S. (2016). Structural characterization of Cu_2SnS_3 and $\text{Cu}_2(\text{Sn,Ge})\text{S}_3$ compounds. *J. Alloys Comp.* 682, 489-494.

Reisera F.K.M, Rosa D.R.N, Pinto A.M.M, Carvalho J.R.S., Matos J.X., Guimarães F.M.G., Alves L.C., Oliveira D.P.S. (2011). Mineralogy and Geochemistry of Tin- and Germanium bearing Copper Ore from the Barrigão Remobilised Vein Deposit, Iberian Pyrite Belt, Portugal. *International Geology Review* 53, 1212-1238.