



DURABILIDADE DE COLETORES SOLARES TÉRMICOS: INSPEÇÃO E ANÁLISE DE FALHA EM FUNÇÃO DA CORROSIVIDADE AMBIENTAL

<http://dx.medra.org/10.19228/j.cpm.2016.35.02>

Teresa C. Diamantino^{1*}, Maria João Carvalho¹, Ana Nunes¹ e Cristina Ferreira¹

¹ Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I. P., Estrada do Paço do Lumiar, 1649-038 Lisboa, Portugal
mjoao.carvalho@lneg.pt, cristina.ferreira@lneg.pt

* A quem a correspondência deve ser dirigida, teresa.diamantino@lneg.pt

RESUMO

Portugal é um país com grande potencial de aproveitamento da energia solar térmica, devido ao elevado recurso solar. No entanto, este facto, aliado a uma extensa linha de costa, tem um forte impacto na durabilidade dos materiais utilizados nos coletores, quer sejam metálicos ou poliméricos, resultando na diminuição do seu tempo de vida útil.

Com base num inquérito e em visitas de inspeção realizados a nove instalações existentes em Portugal de média e grande dimensão, pretendeu-se identificar os danos existentes nos coletores solares térmicos, quais os componentes com maiores danos e verificar se existe correlação entre o nível de degradação observado nos materiais metálicos, a proximidade da orla marítima e a corrosividade ambiental.

Muitos dos problemas encontrados não se deveram apenas a inadequadas especificações dos materiais mas também se deveram a deficiente projeto e/ou fabrico dos coletores, assim como da própria montagem das instalações. No entanto, os resultados obtidos apontam para a existência de uma correlação entre a proximidade do mar/categoria de corrosividade e o grau de degradação observado nos diferentes componentes metálicos. Este trabalho permitiu também concluir que é fundamental integrar ensaios adequados de qualificação dos materiais nos esquemas de certificação de coletores, nomeadamente ao nível da superfície absorvedora e dos materiais elastoméricos, assim como um sistema de avaliação da ventilação do coletor.

Palavras-Chave: Coletor Solar Térmico, Desempenho, Componentes, Durabilidade, Corrosão Atmosférica

DURABILITY OF SOLAR THERMAL COLLECTORS IN ENVIRONMENTS WITH DIFFERENT CORROSIVITY: INSPECTION AND FAULT ANALYSIS

ABSTRACT

Portugal is a country with great potential for the use of solar thermal energy due to the high solar resource. However, this fact, combined with an extensive coastline, has a strong impact on the durability of the materials used in the collectors, whether metallic or polymeric, resulting in the reduction of their lifetime.

Based on a survey and on inspection visits made to nine medium and large dimension installations existing in Portugal it was intended to identify the damages in the solar thermal collectors and the components with greater damages and also to verify if a correlation exists between the degradation level observed in the metallic materials, the proximity to the coast and the environmental corrosivity.

Many of the problems found were due not only to inappropriate specification of the materials but also to deficient design and/or manufacture of the collectors as well as assembly of the installations. However, the results obtained point to the existence of a correlation between the proximity of the sea/corrosivity category and the level of degradation observed in the different metallic components. This work allowed also to conclude that is fundamental to integrate adequate qualification tests of the materials in collectors certification schemes particularly regarding the absorber and elastomeric materials, as well as a procedure to evaluate collector ventilation.

Keywords: Solar Thermal Collector, Performance, Components, Durability, Atmospheric Corrosion

1. INTRODUÇÃO

No início do século XXI verificou-se uma grande expansão do mercado dos coletores solares térmicos (CST) a qual sofreu algum abrandamento a partir de 2011/2012 devido à crise económica observada em Portugal e também na Europa. Apesar de atualmente ser comercializada uma grande variedade de produtos, a área do solar térmico está ainda numa fase tecnológica expansiva, procurando-se produzir novos coletores com melhor desempenho e de menor custo, tanto para baixas temperaturas (80 °C) como para a gama de médias temperaturas (80-250 °C) [1-3]. Sendo equipamentos de custo relativamente elevado, espera-se que tenham elevada durabilidade, rendimento e fiabilidade.

Nos últimos anos as políticas públicas deram incentivos à instalação de CST, quer através de apoios financeiros diretos, quer através de legislação que impõem a sua utilização para obtenção de água quente em novos edifícios. A estimativa de CST instalados e em funcionamento correspondia, no final de 2013, a uma área de cerca de 905000 m² e a uma potência de pico de 633 MWt [4]. Este valor está longe ainda do que foi considerado o potencial exequível de instalação de CST em Portugal, 2800000 m², tendo as aplicações industriais um grande potencial ainda não explorado [5].

Um coletor deve cumprir 3 funções distintas: captação de energia pelo absorvedor, transferência de energia do absorvedor para o fluido circulante e transporte de energia pelo fluido circulante através das tubagens. Além destas, podem ainda considerar-se outras duas secundárias: confinamento e resistência estrutural (degradação física, química, mecânica e dinâmica) [6].

É neste contexto que se enquadra a corrosão, com um elevado impacto económico, ambiental e de segurança na sociedade, que pode ser quantificado através da análise dos seus custos diretos e indiretos. Um estudo encomendado pelo Congresso Americano, realizado de 1999 a 2001 nos EUA, estimou que os custos diretos da corrosão são 3,1 % do PIB americano e que 20 % a 30 % desses custos são evitáveis [7]. Em Portugal, tendo em conta este estudo e o nosso grau de industrialização os custos da corrosão podem ser estimados entre 3-4 % do PIB. Considerando que 20 % são custos evitáveis, estes traduzem-se em valores, de acordo com o PIB de 2014, entre 1040-2000 milhões de euros, onde a corrosão atmosférica é a que mais contribui para os custos da corrosão [8].

Portugal é um país com grande potencial de aproveitamento da energia solar térmica, devido ao elevado recurso solar. Este facto, aliado a uma extensa linha de costa, tem um forte impacto na durabilidade dos materiais utilizados nos coletores, quer sejam metálicos ou poliméricos e, conseqüentemente, uma diminuição do seu tempo de vida útil.

Existem várias metodologias de ensaio para a qualificação e certificação de coletores solares térmicos [9]. No entanto, não estão integradas neste processo as metodologias de ensaio dos diferentes materiais/componentes desses sistemas, embora existam referenciais normativos para os componentes elastoméricos, comumente utilizados como vedantes, ISO 9808:1990 [10] e ISO 9553:1997 [11], assim como a norma ISO 22975-3: 2014 [12] para a qualificação de superfícies absorvedoras solares em termos de durabilidade. Nas duas primeiras assume-se que os principais factores ambientais que contribuem para a degradação dos componentes elastoméricos são a temperatura e o ozono. No entanto, é também largamente conhecida a importância da radiação UV como uma das causas de degradação destes materiais. Na norma ISO 22975-3:2014 [12] assume-se que os principais

factores ambientais que afetam a durabilidade de uma superfície absorvedora solar são: temperatura, humidade relativa e a contaminação por dióxido de enxofre.

Encontra-se descrito e internacionalmente normalizado que os factores responsáveis por uma maior corrosividade ambiental são: a temperatura, a humidade relativa, a poluição por dióxido de enxofre e a salinidade [13, 14]. No entanto, para a qualificação de superfícies absorvedoras solares apenas o dióxido de enxofre é considerado como o contaminante principal. Esta consideração é discutível quando se trata de ambientes com uma forte influência marítima como acontece em Portugal e muitos Países do Sul e do Norte da Europa [15, 16]. No entanto, são estas zonas costeiras as mais adequadas para a implantação dos sistemas de energia solar atendendo à maior densidade populacional [17] e aos níveis de radiação aí existentes, especialmente nas regiões de baixas latitudes [18].

Portugal, tendo em conta a sua extensa linha de costa tem ambientes de alta (categoria de corrosividade C4), muito alta (C5) e de extrema corrosividade (CX) devido principalmente à temperatura, humidade relativa, ao dióxido de enxofre mas fundamentalmente devido ao elevado teor de cloretos [14, 15].

Assim, urge a necessidade de quantificar o impacto das atmosferas salinas em coletores solares térmicos por forma a melhorar as especificações dos materiais e a se reduzirem os riscos dos investimentos e os custos de manutenção destes sistemas.

Os objetivos deste trabalho são identificar os danos existentes nos diferentes componentes dos coletores solares térmicos e verificar se existe correlação entre o nível de degradação observado e a corrosividade ambiental de Portugal tendo por base um inquérito e visitas de inspeção realizados às instalações existentes em Portugal de média e grande dimensão, com tempos similares de funcionamento (13-17 anos).

2. METODOLOGIAS

A partir da década de 80 existiram programas financiados pelo Governo Português para a instalação deste tipo de sistemas. Tendo por base a informação da localização e a descrição das características destas instalações, foi preparado e enviado um inquérito para os proprietários destas instalações para caracterizar as suas condições de funcionamento. O inquérito era composto por duas partes, a primeira sobre a caracterização da instalação e a segunda sobre os dados cronológicos. Na tabela 1 estão indicadas as principais questões colocadas no inquérito relativamente à caracterização da instalação. Após a recolha das respostas aos inquéritos, foram planeadas as visitas aos locais tendo sido considerados 3 grupos definidos pela distância à orla marítima, a ausência de fontes de poluição industrial/microclimas e o tempo de funcionamento (Figura 1).

Tabela 1 - Questões colocadas no inquérito para a caracterização das instalações.**QUESTÕES COLOCADAS****Tipo de Coletor**

- ☐ Plano
- ☐ CPC
- ☐ Tubos de Vácuo
- ☐ Outro

Fabricante**Nº de Coletores instalados****Finalidade da Instalação**

- ☐ Balneários
- ☐ Cozinha
- ☐ Lavandaria
- ☐ Piscina
- ☐ Outro

Tipo de instalação solar

- ☐ Circulação forçada
- ☐ Termosifão

Sistema de apoio

- ☐ Eléctrico
- ☐ Gás
- ☐ Outro

Data de montagem da instalação**Periodicidade da manutenção****Tabela 2** - Principais características das instalações visitadas.

Referência	Local	Distância aproximada da Linha de Costa (km)	Nº Colectores instalados	Data instalação/anos em funcionamento	Tipo de coletor	Manutenção	Categoria Corrosividade estimada [14, 15]
A	Tábua	69	30	1997 / 16	CPC (s.)	2x por ano	C2-C3
B	Seia	93	27	1996 / 17	CPC (s.)	2x por ano	C2-C3
C	Alcains	127	18	1999 / 14	Flat Plate (n. s.)	1x por ano	C2-C3
D	Olivais-Lisboa	31	10	2000 e 2008 / 13 e 5	Flat Plate (s.)	2x por ano	C3
E	Alcochete	44	39	2000 / 13	Flat Plate (s.)	2x por ano	C3
F	Alcácel do Sal	25	60	1998 / 15	CPC (s.)	1x por ano	C3
G	Albufeira	0	110	2000 / 13	Flat Plate (n.s.)	1x por ano	C4
H	Albufeira	0	200	1998 / 15	Flat Plate (s.)	1x por ano	C4
I	Albufeira	0	4	1999 / 14	Flat Plate (s.)	1x por ano	C4

Nota: n.s - absorção não seletivo; s. - absorção seletivo

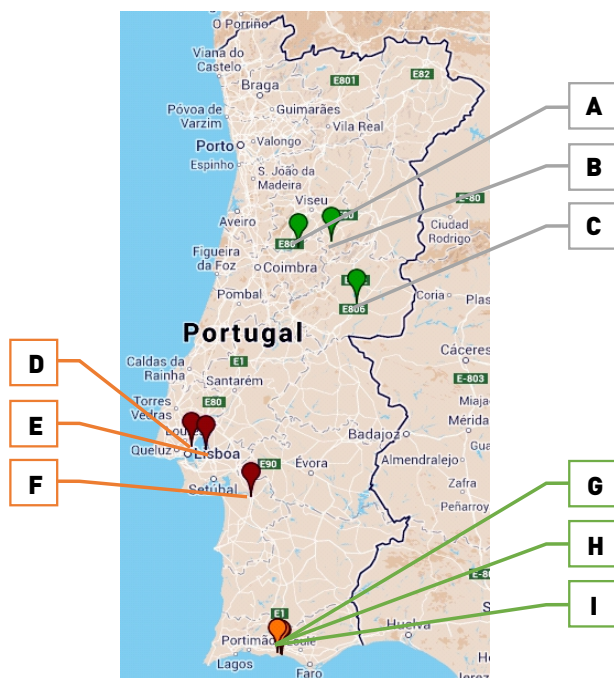
As inspeções foram realizadas de modo a obter informação sobre o estado geral do sistema e sobre o estado dos componentes metálicos e elastoméricos. Na tabela 3 estão indicados os parâmetros que foram avaliados durante as visitas, sempre que possível. A avaliação dos componentes foi também efectuada tendo por base o Grau de Severidade descrito e adotado pela IEA-SHC Task 27 [1] (tabela 4).

Tabela 3 - Avaliações efetuadas durante as visitas realizadas às instalações.

AValiação GERAL	COMPONENTES
Correta posição da sonda de comando	Caixa do coletor
Existência de proteção mecânica do isolamento	1.Fissuração
Existência de isolamento nas tubagens	2.Empenamento
Ligação permanente do circuito primário à rede	3.Corrosão
Circuito equilibrado	4.Penetração de chuva
Disfunção do sistema de comando	Acessórios de montagem/estrutura de suporte
Purgador de ar mal colocado/inexistente	1.Falta de resistência
Vaso de expansão corretamente colocado	2.Falta de segurança
Fugas no circuito primário	Revestimento do absorsor
Manutenção periódica	1.Delaminação
Estabelecimento de prioridade ao sistema solar em relação ao apoio	2.Fissuração
Correta impermeabilização nos locais onde a canalização atravessa a placa	3.Empolamentos
Boa integração arquitetónica, se aplicável	4.Corrosão/Degradação
Edifícios próximos com efeito de proteção	5.Alteração de cor
Orientação e Inclinação	Tubagens, suportes do absorsor e adutores
Área instalada e Capacidade	1.Corrosão
Ventos dominantes	2.Deformação
Barreiras naturais aos ventos dominantes	3.Fugas
Indústrias nas imediações	4.Perdas de ligação
Microclima	Vedantes / Juntas
Elevadas temperaturas de funcionamento do sistema	1.Fissuração
	2.Falta de aderência
	3.Falta de elasticidade
	Cobertura / Refletor
	1.Fissuração
	2.Fendilhação
	3.Encurvamento
	4.Laminação
	5.Empenamento
	6.Desgaseificação
	Isolamento
	1.Retenção da água
	2.Desgaseificação
	3.Degradação

Tabela 4 - Critério de avaliação do modo de falha/processo de degradação dos componentes.

Severidade(S)	Grau
Nenhum efeito no componente	1
Efeito menor no produto mas nenhum efeito no funcionamento no sistema	2-3
Risco de falha de funcionamento	4-6
Certeza de falha no funcionamento do produto	7-9
Falha que pode afetar a segurança	10

**Fig. 1** - Localização geográfica das instalações visitadas

No contexto de uma iniciativa pública denominada "Água Quente Solar para Portugal", havia já sido realizado um inquérito às diferentes instalações de CST em 2003-2004. Os autores tiveram acesso a estes dados que contêm informação muito relevante sobre os modos de falha mais comuns nas instalações de coletores solares térmicos [6]. As principais características das instalações visitadas estão indicadas na tabela 2, sendo coincidentes com as inspeccionadas em 2003-2004, permitindo perceber a evolução da degradação dos sistemas nos últimos 10 anos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas figuras 2-5 são apresentados os registos fotográficos que ilustram as instalações globalmente, assim como os diferentes componentes observados. Tendo em conta o objetivo deste trabalho, os resultados apresentados incidem na degradação dos materiais metálicos e elastoméricos.

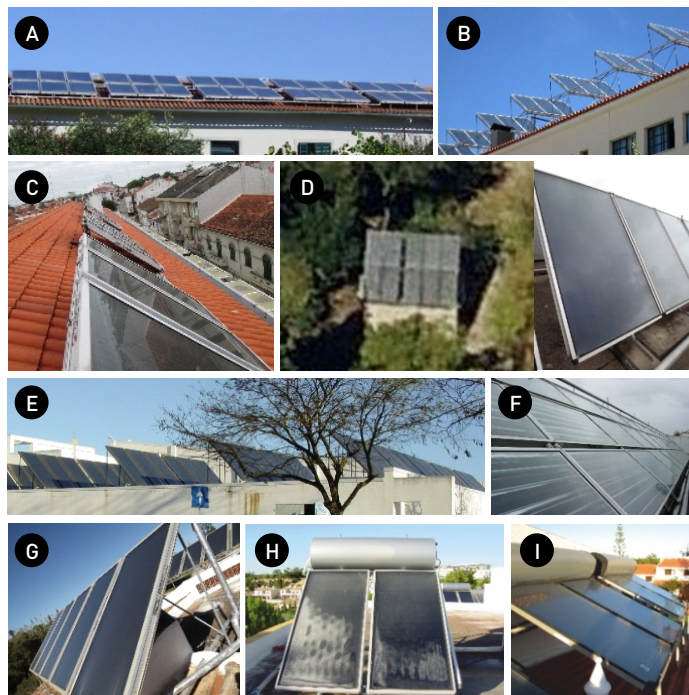


Fig. 2 - Visão global das instalações visitadas.



Fig. 3 - Registos da degradação observada nos componentes elastoméricos (vedantes, juntas e passa-tubos).

A tabela 5 sintetiza o grau de severidade atribuído aos componentes observados.

As avaliações da degradação dos componentes foi dificultada por não se dispor de informação sobre os materiais/revestimentos colocados. No que respeita aos componentes metálicos das estruturas de suporte, as estruturas electrozincadas / galvanizadas apresentavam-se muito mais corroídas nas instalações mais próximas da costa. Relativamente às caixas dos colectores o facto de a grande maioria serem de alumínio anodizado tornou difícil de quantificar a corrosão por picadas. As superfícies absorvedoras observadas do Sul do País (H-I) apresentavam claramente um elevado grau de degradação relativamente aos absorvedores seletivos das outras instalações, o que não se verificou com as superfícies absorvedoras não seletivas. No que diz respeito às tubagens, suporte do absorvedor e adutores observaram-se problemas que podem estar associadas a uma incorreta especificação dos materiais, uma vez que são observados problemas de corrosão galvânica. Relativamente aos componentes elastoméricos, destaca-se a retração dos vedantes, observada frequentemente. Foi também observada fissuração em passa-tubos. Observou-se também em muitos sistemas um embaciamento acentuado devido, em alguns casos à deficiente conceção do sistema de ventilação do coletor (orifícios de respiro de grande dimensão permitindo fácil entrada de água ou contaminantes), mas também derivado de alterações físicas na caixa do coletor (surgimento de frestas nos cantos da caixa do coletor), assim como da redução dimensional dos vedantes com consequente redução da estanquicidade dos mesmos e aumento da corrosão/degradação do absorvedor.

Globalmente, as superfícies absorvedoras e os vedantes foram os que apresentaram maior degradação.

Tabela 5 - Grau de severidade estimado para os componentes metálicos e elastoméricos nas diferentes instalações de CST.

Instalação	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
Anos de funcionamento	16	17	14	13	13	15	13	15	14	
Distância da orla marítima (Km)	69	93	127	31	44	25	0	0	0	
Distância média da orla marítima(Km)	96			33			0			
Categoria de corrosividade (estimada)	C2-C3			C3			C4			
Componentes Metálicos										
Grau de Severidade (S)										
Média componentes (S)										
Caixa do coletor	4,0	1,7	3,0	3,7	4,0	5,0	4,0	4,3	3,7	3,7
Estrutura de suporte do coletor	2,7	3,0	2,3	2,7	2,3	4,0	3,0	4,3	3,7	3,1
Absorser	3,0	X	1,0	5,0	4,0	3,3	4,7	7,0	5,3	4,2
Tubagens, suporte do absorser e adutores	2,3	X	1,7	2,7	5,0	5,0	3,7	4,7	3,0	3,5
Média/Grau de Severidade	3,0	2,3	2,0	3,5	3,8	4,3	3,8	5,1	3,9	3,5
Materiais elastométricos										
Vedantes/Juntas	4,3	X	3,7	4,3	4,3	4,7	4,0	4,3	2,3	4,0

SEVERIDADE(S)

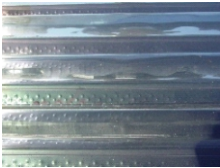
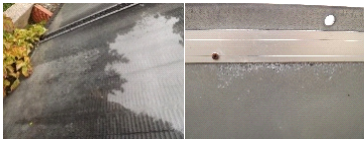
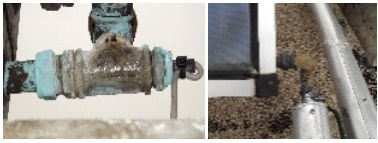
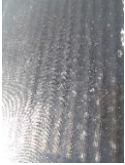
Ref ^a	Estrutura de suporte	Caixa Coletor	AbsorSOR	Tubagens, suporte do absorSOR e adutores
A				
B			Não há registo fotográfico	
C				
D				
E				
F				
G				
H				
I				

Fig. 4 - Registos da degradação observada nos diferentes componentes metálicos.

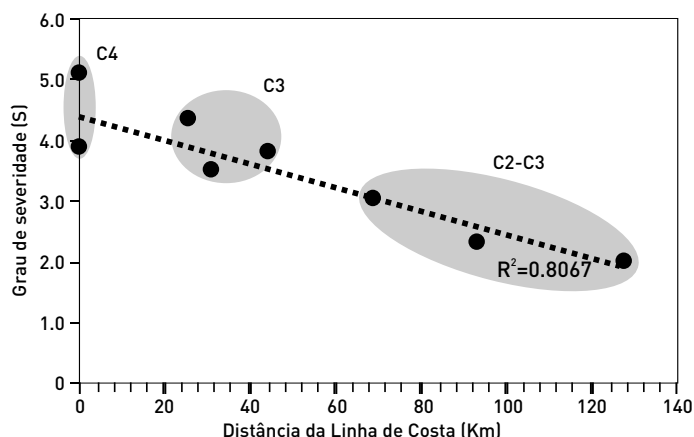


Fig. 5 - Correlação entre o grau de severidade e a distância da costa para as 9 instalações.

4. CONCLUSÕES

Muitos dos problemas encontrados não se devem apenas a inadequadas especificações dos materiais mas também se devem a deficiente projeto e/ou fabrico dos coletores, assim como da própria montagem das instalações. Contudo, a separação das causas da degradação observada nem sempre é fácil porque muitas vezes existem sinergias entre as mesmas. Um deficiente funcionamento por incorreções na instalação dos sistemas pode conduzir à rápida perda de desempenho dos coletores.

No entanto, os resultados obtidos sugerem existir uma correlação entre a proximidade do mar/categoria de corrosividade e o grau de degradação observado nos diferentes componentes metálicos. Algumas instalações com 15 anos apresentavam risco de falha do sistema, nomeadamente as localizadas no Sul do País. Também nas instalações mais próximas da orla marítima foi constatado o maior grau de insatisfação dos proprietários, assim como de componentes inoperacionais. Estes resultados corroboram os resultados recentemente publicados [16, 19].

Relativamente aos componentes elastoméricos, verificou-se, em particular no caso dos vedantes, a inadequação frequente do material à aplicação, concluindo-se ser fundamental a qualificação destes componentes e que esta inclua a avaliação do efeito da radiação UV [20] além dos efeitos da temperatura e do ozono.

Este trabalho evidencia como o desempenho dos coletores solares térmicos depende da durabilidade dos seus componentes, em particular da superfície absorvedora e dos componentes elastoméricos, bem como do sistema de ventilação do coletor. Conclui-se assim que é fundamental integrar ensaios de qualificação dos materiais daqueles componentes nos sistemas de certificação de coletores, assim como um sistema de avaliação da ventilação do coletor. É ainda fundamental que todos os materiais metálicos dos restantes componentes sejam especificados em função da corrosividade ambiental dos locais onde vão ser instalados.

Agradecimentos:

Agradece-se à Fundação da Ciência e Tecnologia pelo Financiamento concedido através do Projeto DURASOL - Durabilidade de Coletores Solares Térmicos (FCOMP-01-0124-FEDER-027507 (Ref. FCT RECI/EMS-ENE/0170/2012)). Agradece-se também aos proprietários das instalações visitadas todo o apoio prestado, receptividade e acolhimento.

Referências

- 1 Performance and Durability Assessment. Optical Materials for Solar Thermal Systems. (M. Köhl, B. Carlsson, G. J. Jorgensen and A. W. Czanderna, Editors), Elsevier (2004) (ISBN 0-08-044401-6).
- 2 B. Carlsson, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 91, 1338-1349 (2007). (<http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2007.05.011>).
- 3 IEA SHC - task 33 and Solar PACES - Task IV, subtask C: Solar Heat for industrial processes - Medium temperature collectors, Eds. W. Wei, M. Rommel, AEE Intec, Austria (2005). (http://www.iea-shc.org/documents/Medium_Temperature_Collectors_Task33-IV_email.pdf).
- 4 Franz Mauthner, Werner Weiss, Monika Spörk-Dür, 2015, "Solar Heat Worldwide - Markets and Contribution to the Energy Supply 2013" IEA Solar Heating & Cooling Programme (<http://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2015.pdf>).
- 5 Forum das energias renováveis em Portugal, Uma contribuição para os objetivos de política energética e ambiental. (H. Gonçalves, A. Joyce, L. Silva, Ed.) (2002). (<http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2008.08.010>).
- 6 M. Lopes Prates, A. Neves, M. J. Carvalho, J. Farinha Mendes e S. Spencer, (Análise dos resultados da inspeção visual de instalações solares em operação, da inspeção final no processo de qualificação de coletores e da avaliação do risco dos seus potenciais modos de falha), *Procedimentos CIES 2006 - XIII Congresso Ibérico e VIII Congresso Ibero-Americano de Energia Solar*, 9-10 de Novembro, Lisboa (2006).
- 7 <https://www.nace.org/uploadedFiles/Publications/ccsupp.pdf> (15/12/2015).
- 8 C. Guedes Soares, Y. Garbatov, A. Zayed and G. Wang, *Corros. Sci.*, 51, 2014-2026 (2009). (<http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2009.05.028>).
- 9 ISO 9806:2013. (Solar energy - Solar thermal collectors -- Test methods), ISO, Geneve, Switzerland (2013).
- 10 ISO 9808:1990. (Solar water heaters - Elastomeric materials for absorbers, connecting pipes and fittings - Method of assessment), ISO, Geneve, Switzerland (1990).
- 11 ISO 9553:1997. (Solar energy - Methods of testing preformed rubber seals and sealing compounds used in collectors), ISO, Geneve, Switzerland (1997).
- 12 ISO 22975-3:2013. (Solar energy -- Collector components and materials -- Part 3: Absorber surface durability), ISO, Geneve, Switzerland (2013).
- 13 ISO 9223:2012. (Corrosion of metals and alloys -- Corrosivity of atmospheres - Classification, determination and estimation), ISO, Geneve, Switzerland (2012).
- 14 Corrosão Atmosférica. Mapas de Portugal. (M. Elisabete M. Almeida e M. G. S. Ferreira, Ed.), INETI, Lisboa, 438pp, (1997). (ISBN: 972-676-161-1).
- 15 Karolina Slamova, Rüdiger Glaser, Christian Schill, Stefan Wiesmeier and Michael Köhl. *J. Phot. Energy*. 2(1), 022003, (2012). (<http://dx.doi.org/10.1117/1.JPE.2.022003>).
- 16 Karolina Slamova, Ines Duerr, Thomas Kaltenbach and Michael Koehl, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 147, 246-254 (2016).
- 17 Eurostat Regional Yearbook 2011. Publication of the European Union, Luxembourg (2011).
- 18 http://energiasrenovaveis.com/DetailConceitos.asp?ID_conteudo=47&ID_area=8&ID_sub_area=27 (3/12/2015).
- 19 T. Kaltenbach, E. Klimm, T. Meier, M. Köhl and K.-A. Weiß, *Energy Procedia*, 48, 731 - 738 (2014).
- 20 A. R. I. G. Rosado, "Avaliação do envelhecimento de componentes elastoméricos de EPDM de um coletor solar térmico plano", Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Química Tecnológica, FCT/UNL, Caparica, Portugal (2015).