

novos serviços laboratoriais de suporte na otimização de coletores solares térmicos

PROJETO LIFESOLAR – I.^a Parte

Soraia Páscoa¹, Teresa C. Diamantino², Maria João Carvalho³

¹soraia.pascoa@lneg.pt; ²teresa.diamantino@lneg.pt; ³mjoao.carvalho@lneg.pt

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, IP

1. Introdução

Portugal é um país com grande potencial de aproveitamento de energia solar térmica para aplicações domésticas e industriais. Estas aplicações podem ser utilizadas para produção de água quente, para aquecimento de piscinas, águas sanitárias ou para processos industriais a baixas (20-95°C) e médias temperaturas (95°C-250°C) de funcionamento, podendo assim abranger diferentes tecnologias, desde coletores estacionários a coletores concentradores com seguimento.

O território continental português é particularmente marcado pela extensa linha de costa que, juntamente com o elevado recurso solar, tem um forte impacto na durabilidade dos componentes dos coletores, quer sejam metálicos ou poliméricos, e no respetivo tempo de vida útil (T.C.Diamantino et al, 2016a).

Os coletores solares térmicos são submetidos a condições ambientais adversas, como temperatura, humidade, irradiância elevada ou cargas de vento e neve, e sujeitos a agentes atmosféricos como cloretos, dióxido de enxofre e óxidos de azoto, derivados de ambientes marítimos, industriais e/ou urbanos. Alguns dos materiais são particularmente suscetíveis à corrosão/degradação desencadeada pela conjugação dos diferentes parâmetros atmosféricos. O absorvedor é um dos principais componentes de um coletor e é habitualmente constituído por um substrato metálico onde é aplicado um revestimento (orgânico ou inorgânico), mas também pode ser inteiramente composto por materiais poliméricos. O tempo de vida dos componentes-chave é, portanto, especialmente relevante uma vez que condiciona a viabilidade económica destas aplicações.

As normas de ensaio para certificação de coletores, nomeadamente a ISO 9806:2017, não abordam os aspetos de durabilidade dos coletores a longo prazo. Existem normas de ensaio de componentes de coletores, como a ISO 22975:2014 para qualificação de absorvedores para um período de vida de 25 anos, mas não são obrigatórias na certificação de coletores.

Para uma avaliação da durabilidade dos coletores solares térmicos, é fundamental estudar o seu comportamento para diferentes condições ambientais, avaliando as condições ambientais exteriores e no interior do coletor; a evolução do estado dos componentes-chave e o respetivo impacto no comportamento térmico do coletor. Estes aspetos foram abordados no projeto LIFESOLAR de que fazemos uma pequena apresentação na secção 2 e dos novos serviços laboratoriais criados no âmbito deste projeto e de um anterior projeto denominado DURASOL. Na secção 3, apresenta-se a aplicação informática *CharaColl*, desenvolvida no âmbito das atividades do projeto LIFESOLAR e que permite determinar os parâmetros característicos do comportamento térmico de um coletor com base nas suas características dimensionais e de propriedades óticas e térmicas dos materiais construtivos, podendo servir de suporte à otimização do desenho de coletores solares térmicos.

2. Âmbito do projeto LIFESOLAR – “Tempo de vida dos principais componentes para aplicações de energia solar térmica”

Existe um histórico de estudos sobre a durabilidade de diferentes superfícies absorvedoras e refletoras, assim como de vedantes. Contudo, os mecanismos de degradação em diferentes atmosferas, a correlação destes mecanismos com os ensaios de envelhecimento acelerado, assim como a validação destas metodologias para avaliação do tempo de vida útil não estavam devidamente estudados quando o projeto DURASOL – “Durabilidade de coletores solares térmicos” (RECI/SEM-ENE/0170/2012), antecessor do projeto LIFESOLAR, teve início em 2013.

O projeto DURASOL, com financiamento FCT e em parceria com o IST-ID/ICEMS, teve como objetivo capacitar o LNEG em áreas de investigação interdisciplinares e melhorar as infraestruturas laboratoriais necessárias que possibilitassem a participação, num curto e médio prazo, em projetos de investigação europeus e internacionais no domínio da durabilidade de materiais para sistemas solares térmicos com particular enfoque nos absorvedores e na sua durabilidade em ambientes marítimos. O projeto contou com o apoio de fabricantes de coletores solares térmicos e de um fabricante de tintas.

Decorrido mais de metade do projeto DURASOL, as infraestruturas laboratoriais já se encontravam consolidadas e, atendendo os conhecimentos adquiridos sobre os mecanismos de degradação, desempenho térmico, fiabilidade e durabilidade dos materiais em atmosferas com diferentes categorias de corrosividade, a continuidade do mesmo tornou-se crucial, nomeadamente através do projeto LIFESOLAR – “Tempo de vida dos principais componentes para aplicações de energia solar térmica” (PTDC/EMS-ENE/0578/2014).

O projeto LIFESOLAR (Ref. POCI-01-0145-FEDER-016709 (Ref.^a FCT PTDC / EMS / ENE / 0578/2014)), teve início em 2016 apoiado pelo COMPETE 2020 e LISBOA 2020 no âmbito do Acordo de Parceria PORTUGAL 2020 através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) e apoiado pela FCT através dos Fundos Nacionais, foca-se em aspetos de avaliação do tempo de vida dos componentes-chave de coletores, mais precisamente os absorvedores, refletoras e vedantes, para baixas e médias temperaturas.

Este projeto foi desenvolvido com o intuito de responder a questões como a avaliação e validação de metodologias de ensaio de envelhecimento acelerado para a qualificação dos componentes (ver M.C. Ferreira et al, 2016; T.C. Diamantino et al, 2016b; T.C. Diamantino et al, 2018; S. Páscoa et al (2017)) e estabelecimento de correlações dos mecanismos de degradação dos componentes-chave dos coletores solares térmicos, ou seja, absorvedores, refletoras e vedantes, em exposição natural com os ensaios de

envelhecimento acelerado (J.C.S. Fernandes et al, 2017; T.C. Diamantino et al, 2021). Para poder responder a estas questões foram realizados ensaios em laboratório e ensaios de exposição em estações de ensaio atmosféricas que foram caracterizadas para determinação, nomeadamente da sua categoria de corrosividade (T.C. Diamantino et al., 2017). Foram analisados, não só o comportamento de amostras dos componentes chave referidos, mas também os coletores no seu todo tendo sido realizados ensaios de comportamento térmico após períodos de exposição nas estações de ensaio atmosféricas permitindo estudar o impacto da corrosividade atmosférica no comportamento térmico dos coletores (ver M.J. Carvalho et al, 2017; M.J. Carvalho et al, 2020).

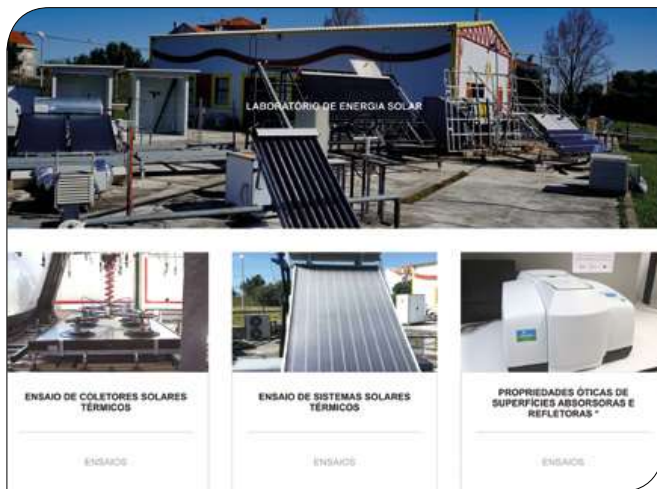


Figura 1

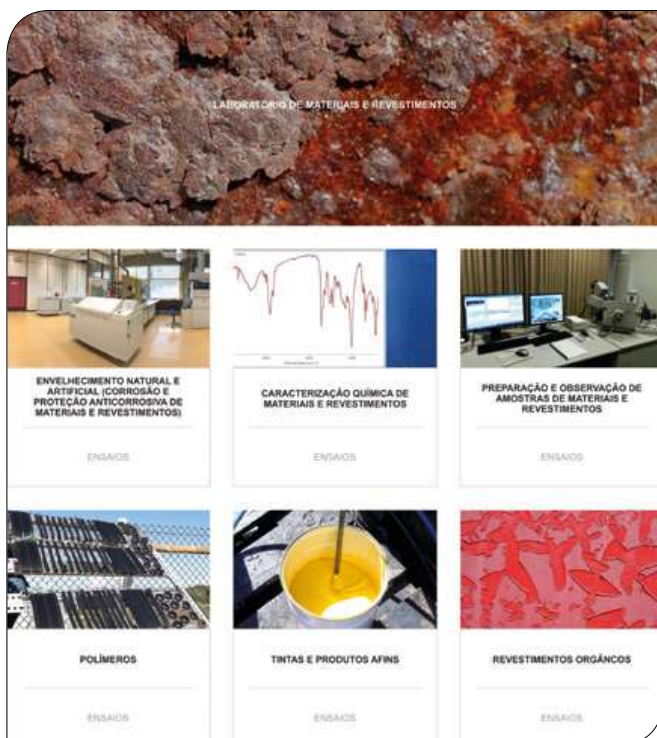


Figura 2

Este projeto tem também o objetivo de aumentar a oferta de serviços laboratoriais para as empresas que produzem os componentes e os coletores solares térmicos por forma a estimular a internacionalização e um mercado de energia solar térmica mais confiável. Estes serviços estão disponíveis no âmbito do Laboratório de Energia Solar e do Laboratório de Materiais e Revestimentos que integram a rede de Laboratórios Acreditados do LNEG (Figuras 1 e 2).

O Laboratório de Energia Solar (LES, LNEG) alargou a oferta de serviços à realização de ensaios de caracterização ótica de superfícies de componentes de coletores solares térmicos e de materiais de construção. Estes ensaios incluem a determinação da absorvidade, emissividade térmica, refletância solar e o índice SRI – *Solar Reflectance Index*, consoante o tipo de superfície em estudo. Mais informação encontra-se disponível em www.lneg.pt/lab/laboratorio-de-energia-solar/.

O Laboratório de Materiais e Revestimentos (LMR, LNEG) é um centro especializado em corrosão, proteção anticorrosiva e durabilidade de materiais e revestimentos. No âmbito do envelhecimento natural e artificial de materiais e revestimentos, o LMR disponibiliza uma série de ensaios de envelhecimento acelerado e de caracterização físico-química de materiais e revestimentos, e dispõe de duas estações de ensaio atmosféricas para exposição prolongada de coletores e de componentes em ambiente urbano (Lumiar; Lisboa) e em ambiente marítimo com influência industrial (Sines), permitindo o estudo do impacto de diferentes condições ambientais nos coletores e seus componentes. Mais informação encontra-se disponível em www.lneg.pt/lab/laboratorio-de-materiais-e-revestimentos/.

3. A aplicação CharaColl

3.1. Descrição geral

No âmbito do projeto LIFESOLAR, como forma de apoio aos trabalhos de análise do Critério de *Performance* para qualificação de absorsores (S. Pascoa et al, 2018), foi desenvolvida a aplicação *CharaColl* (de "*Characterization of a Collector*") que tem como objetivo a determinação dos parâmetros característicos de desempenho térmico de um coletor solar com base nas características dimensionais e das propriedades dos materiais construtivos. A presente versão aplica-se a coletores planos com absorsores seletivos e, com base num modelo de acordo com D.E. Roberts e A. Forbes (2012), permite estimar os efeitos da degradação dos componentes no desempenho térmico dos mesmos, podendo também servir de suporte na seleção de materiais a integrar em coletores solares planos.

A aplicação *CharaColl* foi desenvolvida em Excel® fazendo uso de programação em Visual Basic. A versão 1.1 disponibiliza cinco tabuladores, nomeadamente "*Cálculo Simples*", "*Análise Simples*", "*Cálculo Dinâmico*", "*Análise Dinâmica I*" e "*Análise Dinâmica II*" (ver Figura 3). Nos tabuladores "*Cálculo simples*" e "*Cálculo dinâmico*", o utilizador deve preencher os campos com base nas características dimensionais e propriedades dos materiais do coletor solar térmico que pretende estudar (ver Tabela 1).

Nos tabuladores "*Análise Simples*", "*Análise Dinâmica I*" e "*Análise Dinâmica II*", é apresentada uma tabela onde são apresentados os parâmetros calculados e respetivas curvas de potência resultantes das diferentes simulações. A opção "*simples*" devolve uma solução (ver Figura 2), enquanto que a opção "*dinâmica*" permite obter cinco soluções resultantes do intervalo dinâmico associado ao parâmetro selecionado para a respetiva simulação. Esta última opção é mais vantajosa quando se pretende estudar o impacto de cada componente – seja o absorsor, a cobertura, a tubagem, o isolamento ou outro – na determinação dos parâmetros característicos de desempenho térmico de um coletor solar. Esta aplicação permite, portanto, simular as melhores soluções do ponto de vista de conceção e desenvolvimento de coletores e os resultados associados à degradação dos seus componentes ao longo do seu tempo de vida útil.

Esta versão permite ainda guardar um histórico de todas as características dimensionais, propriedades dos materiais e resultados obtidos nas simulações.

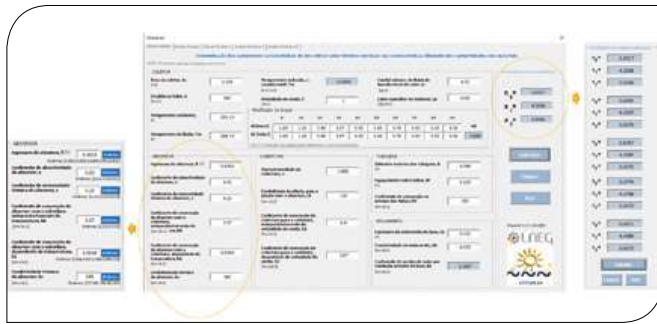


Figura 3 Tabulador Cálculo Simples (no centro) e opções do Tabulador Cálculo Dinâmico (à esquerda e direita) da aplicação CharaColl VI.1.1.

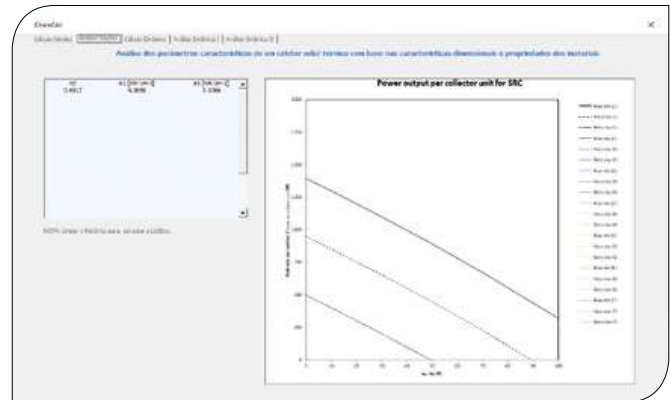


Figura 4 Tabulador Análise Simples da aplicação CharaColl VI.1.1.

A_c	Área do coletor	m^2
G	Irradiância Solar no plano do coletor	W/m^2
ϑ_{amb}	Temperatura ambiente	$^{\circ}C$
ϑ_{T_m}	Temperatura média do fluido	$^{\circ}C$
X	Temperatura reduzida considerando ϑ_m	$K/W.m^2$
m	Caudal mássico do fluido de transferência de calor	kg/s
V	Velocidade do vento	m/s
C_p	Calor específico do material	$J/kg.K$
δ	Espessura do absorsor	m
α	Coefficiente de absorvidade solar do absorsor	
ϵ	Coefficiente de emissividade térmica do absorsor	
h_0	Coefficiente de convecção do absorsor com a cobertura, independentemente da temperatura	$W/m^2.K$
h_1	Coefficiente de convecção do absorsor com a cobertura, dependente da temperatura	$W/m^2.K^2$
k_c	Condutividade térmica do absorsor	$W/m^2.K$
τ	Transmissividade da cobertura	
C_o	Condutância da alheta para a junção com o absorsor	$W/m.K$
h_2	Coefficiente de convecção da cobertura para o ambiente, independentemente da velocidade do vento	$W/m^2.K$
h_3	Coefficiente de convecção da cobertura para o ambiente, dependente da velocidade do vento	$W/m^2.s.K$
D	Diâmetro externo das tubagens	m
W	Espaçamento entre tubos	m
h_i	Coefficiente de convecção no interior dos tubos	$W/m^2.K$
L_b	Espessura do isolamento da base	m
k_s	Condutividade do isolamento	$W/m.K$
h_b	Coefficiente de perdas de calor por condução através da base: $h_b = k_s / L_b$	$W/m^2.K$
$K_l(\theta_i)$ $K_T(\theta_T)$	Modificador do ângulo de incidência (IAM) na direção longitudinal e transversal	
K_d	Modificador do ângulo de incidência (IAM) para irradiância difusa	

Tabela I Nomenclatura

3.2. Detalhes da metodologia utilizada

A aplicação CharaColl segue um modelo baseado em expressões analíticas de acordo com D.E. Roberts e A. Forbes (2012), o qual permite a determinação dos coeficientes de desempenho térmico $\eta_0(-)$, $a_1 (Wm^{-2}K^{-1})$ e $a_2 (Wm^{-2}K^{-2})$ de um coletor solar cujas características dimensionais e construtivas são conhecidas (Tabela I).

O rendimento térmico do coletor é caracterizado pela expressão:

$$\eta = \eta_0 - a_1 x - a_2 G_{hem} x^2 \quad (1)$$

em que

$$x = \frac{(\vartheta_m - \vartheta_a)}{G_{hem}} \quad (2)$$

O modelo considerado é um modelo de comportamento estacionário do coletor; sendo o valor de rendimento ótico referido à irradiância global incidente no coletor; G_{hem} e a potência fornecida pelo coletor dada pela equação (11) da Norma ISO 9806:2017 considerando que apenas são determinados os parâmetros $\eta_0(-)$, $a_1 (Wm^{-2}K^{-1})$ e $a_2 (Wm^{-2}K^{-2})$:

$$\dot{Q} = A_G [\eta_0 G_{hem} - a_1 (\vartheta_m - \vartheta_a) - a_2 (\vartheta_m - \vartheta_a)^2] \quad (3)$$

No entanto, para permitir uma representação da potência de acordo com as indicações da mesma norma, considerou-se a conversão para parâmetros de ensaio quase dinâmico, isto é, considerando que o rendimento ótico relativo à componente direta da radiação é determinado pela equação B.5 do Anexo B da referida norma:

$$\eta_{0,b} = \eta_{0,hem} / (0.85 + 0.15 K_d) \quad (4)$$

em que K_d é determinado de acordo com o Anexo B da norma corrigido pelo Annex-P5.6 das regras específicas Solar Keymark, sendo a equação de potência adotada:

$$\dot{Q} = A_G [\eta_{0,b} K_b(\theta_L, \theta_T) G_b + \eta_{0,b} K_d G_d - a_1 (\vartheta_m - \vartheta_a) - a_2 (\vartheta_m - \vartheta_a)^2] \quad (5)$$

O modificador de ângulo de incidência, $K_b(\theta_L, \theta_T)$, deve ser introduzido pelo utilizador e nesta primeira versão da aplicação não é alterado quando as características construtivas do coletor se alteram.

Deve referir-se que este modelo não abrange aspetos como maior ou menor grau de estanquidade ou ventilação do coletor e não permite reproduzir situações relacionadas com o estabelecimento de pontes térmicas, por exemplo, contacto entre o absorsor e a cobertura devido a deformação do absorsor. [lm](#)

Continua na próxima edição.