

A TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA DE PELÍCULA FINA.

AFINAL COMO ESTAMOS?

1. Introdução

Todos nós estamos familiarizados com os painéis fotovoltaicos comuns, os *silicon wafer-based* (“bolacha/pastilha” de silício), que possuem atualmente uma quota superior a 80% [1-3] no mercado solar fotovoltaico.

Desde o seu “aparecimento” em 1950, foram realizados avanços em diferentes vertentes, como a eficiência, durabilidade, custos e tecnologias de produção [2, 4, 5], sendo que no início deste século se começaram a desenvolver e a criar expectativas positivas crescentes acerca do que se designa de células fotovoltaicas de película fina ou TFPC (*thin film photovoltaic cells*). Certamente, já todos ouvimos notícias nos últimos anos do seu desenvolvimento e de aplicações variadas (vestuário, fachadas, etc), pelo que este artigo visa elucidar o leitor acerca do que são, do seu grau de investigação e desenvolvimento (I&D) e da posição no mercado atual e futura.

2. Células fotovoltaicas de película fina

Atualmente estamos perante o início da era dos *plastic electronics*, onde os componentes eletrónicos são concebidos para serem cada vez mais flexíveis, sendo ainda possível imprimir diversos circuitos e dispositivos em substratos flexíveis [5]. Partindo deste ponto, na área da energia têm-se destacado a evolução de diversas tecnologias de TFPC (Figura 1), que apresentam em relação à tecnologia tradicional baseada em silício, as seguintes vantagens principais gerais [1, 5, 6]:

- menor consumo de matéria-prima, energia embebida e menor pegada ecológica;
- redução e automatização das etapas de fabrico, incluindo a impressão direta das células no painel durante o fabrico, com redução dos custos de produção associados;

- módulos leves, finos e flexíveis, o que permite a sua integração e aplicação numa grande variedade de superfícies.

Em relação à última vantagem apresentada, ilustram-se dois exemplos de aplicação das TFPC – Figuras 2 e 3.



Figura 1 - Painel de TFPC (inorgânico), em cima, em contraponto com o tradicional *wafer based*, em baixo [5]



Figura 2 - Integração de painéis de TFPC (inorgânico) em edifícios, nomeadamente nas janelas - Edifício *Schott Iberica*, Barcelona [5]



Figura 3 - Integração de painéis de TFPC (orgânico) num barco à vela em Itália [5]

As TFPC, embora possam assumir aspetos visualmente semelhantes, podem-se dividir nos seguintes três tipos de células, de acordo com a sua natureza construtiva [1, 5, 6]:

- inorgânicas;
- orgânicas;
- híbridas.

2.1 Células inorgânicas

As TFPC inorgânicas, em termos práticos as únicas TFPC no mercado comercial atual, têm a particularidade de todas as suas camadas serem constituídas por materiais inorgânicos (Figura 4) [2, 5].

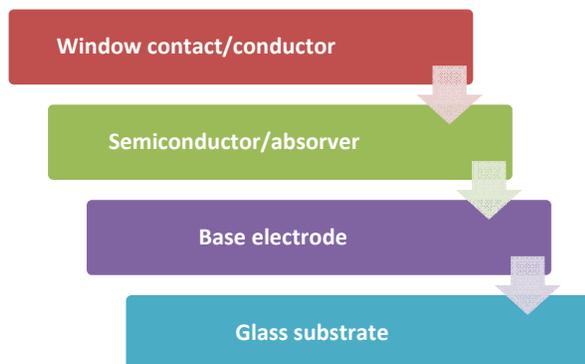


Figura 4 - Estrutura básica de uma célula de película fina [5]

Atualmente, no mercado das TFPC inorgânicas existem quatro tipos de tecnologias principais, apresentadas na Figura 5 por ordem crescente de eficiência de conversão (em laboratório) registada na bibliografia (dados de 2013).



Figura 5 - Ranking de eficiência das tecnologias inorgânicas (laboratório) [1, 7, 8]

O principal desafio para as células a-Si (Silício Amorfo) de película fina assenta no custo/Wp, devido ao seu processo construtivo dispendioso e a uma eficiência média relativamente baixa [2, 5].

A TFPC de CIS consiste num semi-condutor de Cobre-Índio-Selénio e mostra-se como uma alternativa ao uso do silício das células fotovoltaicas habituais [5, 7]. Tem a vantagem em relação ao TFPC de a-Si, de ser bastante mais simples de fabricar e possuir um rendimento de conversão superior [5, 7]. Neste momento o processo produtivo inclui o método de *roll-to-roll* (um tipo de impressão eletrónica direta) tornando o processo mais eficiente e dando mais um passo para a hipótese de produção em série [5].

As células de CIGS são constituídas pelos mesmos elementos das CIS mas com a particularidade de o índio formar uma liga com o gálio o que permite obter melhores desempenhos [5]. De facto, as células CIGS (Cobre-Índio-Gálio-Selénio) de película fina bem como as de CdTe (Cádmio-Telúrio) assumem-se como as tecnologias de TFPC com melhores desempenhos a nível de eficiência e de conceção [1, 7, 8]. Em 2007, a Nanosolar desenvolveu uma tinta nano-estruturada, permitindo a produção em série utilizando o método de impressão *roll-to-roll* [7]. A principal desvantagem continua a ser o uso de elementos não abundantes (Índio, Gálio ou Telúrio) ou tóxicos no processo construtivo (no caso do Cádmio, embora o risco de contaminação seja mínimo durante o tempo de vida útil, a eliminação e reciclagem do painel é perigosa e dispendiosa) [1, 2, 9].

A vida útil destas células é habitualmente estimada em pelo menos 10 anos, sendo a sua reciclagem posterior dependente do tipo de semicondutor utilizado – se inclui elementos tóxicos ou não [1, 9].

2.2 Células orgânicas

As células solares fotovoltaicas orgânicas (OPV) usam materiais que minimizam o processo de fotossíntese, utilizando moléculas de dimensão elevada, à base de carbono (polímeros) para “colher” a luz solar - processo muito diferente do utilizado nos semicondutores [10].

As OPV, que têm ganho relevo nos campos de I&D (Figura 6), visam reduzir drasticamente o problema geral da afetação da eficiência pela temperatura nas células solares, bem como permitir a fabricação por impressão, que quando em larga escala, permitirão um preço/Wp inferior às TFPC inorgânicas [10, 11].

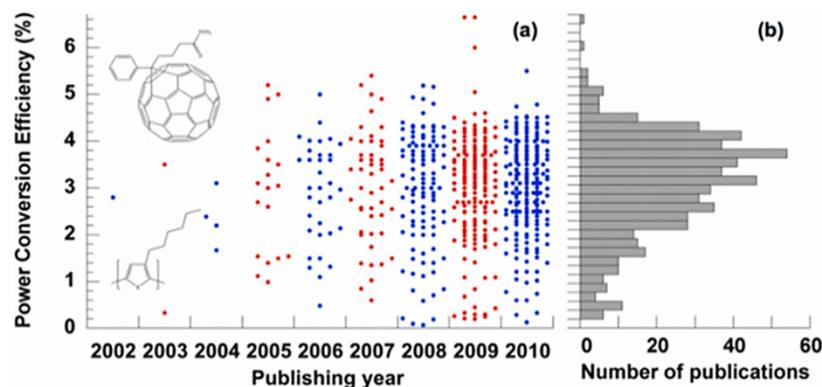


Figura 6 - Distribuição das publicações até 2010 sobre células OPV e a eficiência de conversão reportada. Adaptado de [11]

Contudo, os OPV apresentam limitações e/ou desvantagens técnicas atuais que se podem considerar significativas, embora como ilustrado anteriormente se tenha verificado uma evolução geral, fruto da aposta na I&D [10, 11]:

- ao contrário dos outros tipos de TFPC, as OPVs são estruturas mais complexas, pela exigência de ter vários materiais e camadas que devem ser integrados para permitir a função da célula;

- as eficiências situam-se geralmente abaixo dos 8%, tendo no entanto a *Heliatek* relatado em 2013 [12] o alcance em laboratório de 12% e Gan et al. e Gélinas et al. [13] publicado resultados promissores (eficiência) através da manipulação do spin dos átomos de carbono e introdução de nanoestruturas.
- aliada à baixa eficiência de conversão, o desempenho cai drasticamente após a exposição à humidade e oxigénio (baixa estabilidade). Assim, o dispositivo necessita de ser completamente selado em embalagens de vidro sólido para um prolongamento da vida útil de 2 a 3 anos para aproximadamente 10 anos (o que implica a adição de custos e a perda de flexibilidade – uma vantagem essencial) [14].

2.3 Células Híbridas

As células solares híbridas, ainda numa fase relativamente precoce de I&D, surgem com intuito de aproveitar e combinar as vantagens dos semicondutores inorgânicos e orgânicos [5]. Ou seja, aproveitar a facilidade de absorção de luz e o potencial baixo custo dos materiais orgânicos, bem como a capacidade de transporte de eletrões e a estabilidade dos materiais inorgânicos.

Embora as células híbridas pertençam a um grupo de tecnologias emergentes, começam já a mostrar provas das expectativas criadas sobre elas, tendo já sido desenvolvida células híbridas com uma eficiência superior a 15% (laboratório), com base no semicondutor *perovskites*, como revela um estudo publicado na revista *Nature* [15].

Ainda revelam no entanto problemas graves a resolver, como a baixa estabilidade, a relativa baixa eficiência e o elevado custo dos polímeros a utilizar (o custo global atual é maior que o das células inorgânicas e orgânicas) [5, 15].

3. Posição e Evolução no Mercado

No que diz respeito à capacidade de produção de TFPC, a Europa tem desempenhado um papel importante (20%), realçando-se a contribuição da Alemanha, principalmente nas tecnologias CIGS e CdTe [3]. Segue-se os EUA com uma quota de 12%, enquanto a China mantém um perfil relativamente discreto, com uma baixa capacidade de produção e vendas [3]. A região APAC, muito devido ao Japão e Malásia, assumem-se como a maior região produtora - 60% do total em 2012 (Figura 7) [3].

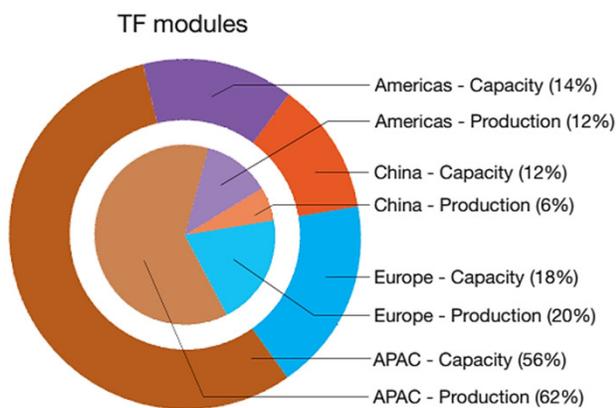


Figura 7 - Capacidade de e produção a nível mundial de TFPC em 2012 [3]. APAC - Asia Pacific Region

De acordo com a IHS Solar, o nível de capacidade de produção fotovoltaica mundial atingiu os 56,5 GW em 2012, esperando-se atingir em 2017 os 75 GW [3]. Prevê-se que a tecnologia predominante c-Si (*silicon wafer-based*) mantenha a sua quota de mercado em níveis de cerca de 80% (linha azul na Figura 8) [1-3], principalmente devido à maturidade da tecnologia, bem como à grande capacidade de produção (a custos cada vez mais reduzidos) existente e crescente na China e países da APAC que favorecem este tipo de tecnologia na produção e no mercado.

De facto, depois das enormes expectativas de crescimento das tecnologias de TFPC de alguns anos atrás, o custo de produção do c-Si diminuiu [16], competindo neste aspeto com as TFPC.

A melhoria de eficiência de conversão nas tradicionais *silicon wafer-based* tem aumentado o fosso neste aspeto relativamente às TFPC, limitando fortemente a taxa de penetração no mercado destas últimas.

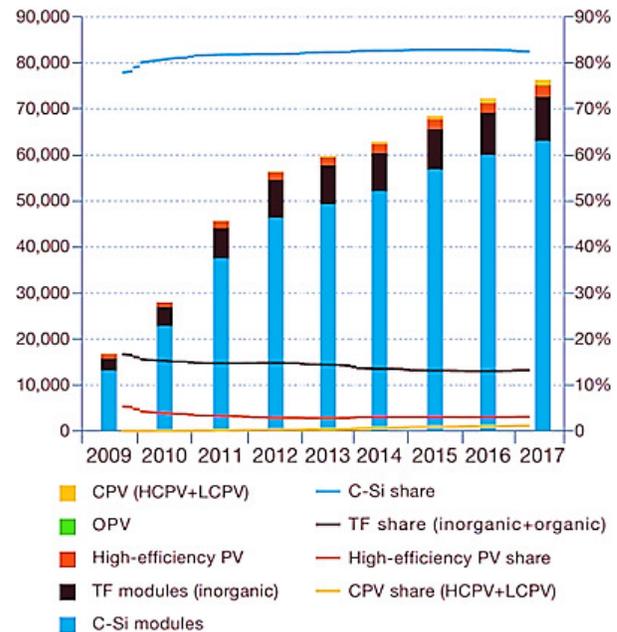


Figura 8 - Evolução do mercado até 2012 e previsão de evolução até 2017 ao nível das diferentes tecnologias fotovoltaicas [3]

Têm surgido algumas preocupações relativas ao futuro próximo dos TFPC, sendo disso exemplos as aquisições a preço de saldo e falências de empresas, algumas delas *start-ups* e pioneiras na área. Por exemplo a Miasole, baseada em Silicon Valley, foi comprada em 2012 pela chinesa Hanergy por 10 vezes menos do que o valor aplicado por capitais de risco, tendo a falência de empresas pioneiras no ramo atingindo a Solyndra (baseada na Califórnia) – empresa já de média dimensão [16, 17].

As justificações, segundo analistas, relacionam-se com a produção em grande escala dos painéis tradicionais (*waffer-based*), que permitem baixar os custos de produção (fabricantes chineses indicam o alcance do custo de €0.5/Wp já em 2013 [11, 17], devido a novas técnicas de corte a diamante, aumento da automatização dos processos e produção em massa), e dificultam ao mesmo tempo a taxa de penetração no mercado dos filmes solares finos.

Segundo Jenny Chase [17], administradora da *Solar Insight Team da Bloomberg New Energy Finance*, as tecnologias de TFPC estão a demorar muito tempo a serem produzidas em maior escala e a reduzir os custos de produção por Wp, limitando-se assim a nichos de mercado específicos [17]. Realça-se ainda, segundo Chase, também a incapacidade de marketing, distribuição e comercialização efetiva mundial a nível do mercado principal onde os painéis *wafer-based* dominam e já são produzidos em excesso face à procura atual [17].

Mesmo assim, as TFPC apresentam-se como promissoras, e segundo Travis Bradford, o facto de até em termos de investimento de uma central de produção em massa (1GWp) de filmes solares finos custar entre €258M a €332M [11], metade da convencional de produção dos *silicon wafer-based*, pode ajudar, aliado ao facto de agora muitas das *start-ups* estarem integradas em empresas de grande dimensão económica e alcance global, ao reaparecimento em força destas tecnologias de filmes solares finos, nomeadamente aquando da melhoria dos mercados [18].

Realça-se ainda, que apesar das desvantagens dos OPV, algumas empresas, como a IDTechEX, acreditam no futuro da tecnologia, principalmente no que respeita ao uso em nichos de mercado num futuro próximo [17, 18].

Reforçando esta ideia, a Mitsubishi, numa parceria com o *National Institute of Advanced Industrial Science & Technology* e a *Tokki Corporation*, espera o lançamento do seu módulo OPV em 2014, apresentando-o desde já como um produto expectavelmente viável do ponto de vista ambiental e financeiro [19].

4. Conclusão

O facto de os custos atuais de produção de painéis tradicionais atingirem mínimos históricos, nomeadamente no que diz respeito aos fabricantes chineses, aliado à saturação do mercado, minoram a taxa de crescimento no mercado dos painéis solares de filmes finos.

Na opinião dos autores, a não ser que as grandes empresas produtoras de tecnologia fotovoltaica encarem com preferência progressiva as tecnologias respeitantes às TFPC face à tradicional, estas últimas não irão conseguir aumentar nos próximos anos a quota de mercado de forma significativa, restringindo-se a aplicações específicas em que se requer flexibilidade ou aplicação em superfícies não possíveis para os tradicionais *wafer-based*.

5. Bibliografia

1. SERIS. Solar cell technologies – present and future. 2011 10-10-2013]; Available from:

http://www.seris.sg/Upload/Item/Presentation/Presentation%202011/pdf_Lu_Japan_photonic_oct2010-data.pdf.
2. Hoffmann, W. and T. Pellkofer, Thin films in photovoltaics: Technologies and perspectives. *Thin Solid Films*, 2012. 520(12): p. 4094-4100.
3. Masson, G., et al., *Global Market Outlook*, 2013.
4. Green, M.A., Third generation photovoltaics: solar cells for 2020 and beyond. *Physica E-Low-Dimensional Systems & Nanostructures*, 2002. 14(1-2): p. 65-70.
5. Pagliaro, M., G. Palmisano, and R. Ciriminna, *Flexible Solar Cells*. 2008: Wiley.
6. GIFFORD, J. A thin film frontier. 2011 14-09-2013]; Available from:

http://www.pvmagazine.com/archive/articles/beitrag/a-thinfilmmfrontier_100004102/86/?tx_ttnews%5BbackCat%5D=174&cHash=dd2884118f39454bcf75d0044489cdcf#a xzz2gmV4eTDc.
7. GIFFORD, J. Solar Frontier achieves CIGS "cells" at 19.7%. 2013 26-10-2013]; Available from:

http://www.pvmagazine.com/news/details/beitrag/solar-frontier-achieves-cigs-cells-at-197_100009746/#axzz2HZvLPps2.

8. NREL. Best Research-Cell Efficiencies. 2012 13-10-2013]; Available from:

http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg.
9. Eisenberg, D.A., et al., Comparative alternative materials assessment to screen toxicity hazards in the life cycle of CIGS thin film photovoltaics. *Journal of Hazardous Materials*, 2013. 260(0): p. 534-542.
10. Kim, M.-S., Understanding Organic Photovoltaic Cells: Electrode, Nanostructure, Reliability, and Performance, in *Materials Science and Engineering 2009*, University of Michigan. p. 130.
11. Leber, J. A Solar Startup that Isn't Afraid of Solyndra's Ghost. 2012; Available from:

<http://www.technologyreview.com/news/429347/a-solar-startup-that-isnt-afraid-of-solyndras-ghost/>.
12. Heliatek. Heliatek consolidates its technology leadership by establishing a new world record for organic solar technology with a cell efficiency of 12%. 2013 24-10-2013]; Available from:

http://www.heliatek.com/newscenter/latest_news/neuer-weltrekord-fur-organische-solarzellen-heliatek-behauptet-sich-mit-12-zelleffizienz-als-technologiefuehrer/?lang=en.
13. Fusion, D. Organic Solar Cells: Electron Spin Control Shows Promise. 2013 08-10-2013]; Available from:

<http://www.solarfeeds.com/organic-solar-cells-electron-spin-control-shows-promise/>
14. Luber, E.J. and J.M. Buriak, Reporting Performance in Organic Photovoltaic Devices. *ACS Nano*, 2013. 7(6): p. 4708-4714.
15. Liu, M., M. Johnston, and H. Snaith, Efficient planar heterojunction perovskite solar cells by vapour deposition. *Nature*, 2013. 501(7467).
16. Rinaldi, N. Solar PV Module Costs to Fall to 36 Cents per Watt by 2017. 2013 12-09-13]; Available from:

<http://www.greentechmedia.com/articles/read/solar-pv-module-costs-to-fall-to-36-cents-per-watt>.
17. Bullis, K. Is Thin-Film Solar Dead? 2012 08-10-2013]; Available from:

<http://www.technologyreview.com/news/429497/is-thin-film-solar-dead/>
18. Mints, P. The commercialization of thin film technologies: Past, present and future. in *Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2010 35th IEEE*. 2010.
19. Whytock, P. Organic Photovoltaics: A Bright Idea That Needs More Blue-Sky Thinking. 2013 14-10-2013]; Available from:

<http://electronicdesign.com/blog/organic-photovoltaics-bright-idea-needs-more-blue-sky-thinking>.

