

O papel da nanotecnologia no contexto da eficiência energética do parque habitacional

F. Pacheco Torgal ^{1,†}

*Universidade do Minho, Unidade de Investigação C-TAC,
Grupo de Construção Sustentável
4800-058 Guimarães, Portugal*

RESUMO

A reformulação da Directiva relativa ao desempenho energético dos edifícios (EPBD), aprovada em 19 de Maio de 2010 pelo Parlamento e pelo Conselho Europeu aponta para 31 de Dezembro de 2020, como a data a partir da qual, todos os novos edifícios deverão enquadrar-se no conceito “energia quase zero”.

O presente artigo apresenta nesse contexto alguns contributos da nanotecnologia para a meta referida. Descrevem-se os isolamentos térmicos de elevado desempenho, os vidros de baixa condutibilidade térmica e com transmitância regulável.

Aborda-se ainda o caso das células fotovoltaicas de 3^a geração para produção de energia eléctrica renovável.

1. INTRODUÇÃO

A crescente procura de energia a nível mundial é uma das principais causas para o desenvolvimento insustentável do nosso Planeta. Estima-se que até ao ano 2030, a procura de energia deva crescer aproximadamente 40%, atingindo 16.8 mil milhões tep (WEO, 2009).

Parte deste problema deve-se à subida do consumo de energia relacionado com o aumento da população mundial, mas também ao facto de haver um aumento do número de pessoas com acesso a electricidade, que em 2008 ascendiam a apenas 1,5 mil milhões (UNF, 2013).

Para lá daquilo que o consumo de energia representa, em termos do uso de reservas fósseis não renováveis, a face menos visível e com mais impacto ambiental do consumo desta, está relacionada com as emissões de gases responsáveis pelo efeito de estufa (GEE), geradas durante a queima de carvão e gás para produção de electricidade em centrais termoeléctricas.

Em 2009 a China tornou-se o maior consumidor de energia (IEA, 2010), país onde as centrais termoeléctricas a carvão são responsáveis por 80% da produção de electricidade (Shealy and Dorian, 2012).

O sector residencial consome ao longo de todo o seu ciclo de vida, mais de 40% de toda a energia produzida (Lechtenbohmer e Schuring, 2011), pelo que facilmente se percebe o

¹ Investigador na Unidade C-TAC – Grupo de Construção Sustentável, Doutor em Engenharia Civil

[†] Autor para correspondência (torgal@civil.uminho.pt)

elevado potencial de poupança energética deste subsector e o que isso pode representar em termos da redução de emissões de carbono.

No âmbito da sua estratégia de crescimento inteligente, sustentado e inclusivo a UE desenvolveu sete iniciativas emblemáticas. Uma delas designadas “Resource-efficient Europe” (COM 571, 2011), salienta a importância do aumento da eficiência dos recursos, como factor fulcral no sentido de multiplicar as oportunidades económicas, aumentar a produtividade, baixar custos e aumentar a competitividade.

A estratégia da UE para combater as alterações climáticas passa por uma redução das suas emissões totais até 2020 em 20% relativamente ao ano de 1990 e ainda por um aumento em 20% da percentagem de energia proveniente de fontes renováveis (COM 30, 2008).

A reformulação da Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002 (EPBD, 2010), relativa ao desempenho energético dos edifícios aprovada em 19 de Maio de 2010 pelo Parlamento e o Conselho Europeu aponta para 31 de Dezembro de 2020, como a data limite a partir da qual todos os novos edifícios deverão respeitar o conceito “energia quase zero”, 31 de Dezembro de 2018 para os edifícios públicos.

Esta definição engloba edifícios com um desempenho térmico correspondente a classes de elevada eficiência energética e em que a parcela de energia utilizada provém na sua maioria de fontes renováveis. O artigo 2 da nova EPBD explicita o conceito da seguinte forma: “Edifício com necessidades quase nulas de energia», um edifício com um desempenho energético muito elevado, determinado nos termos do anexo I. As necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades”.

A meta referida é aplicável somente para os novos edifícios, já que para os edifícios existentes não foram ainda fixadas metas temporais. Há somente a recomendação de cada país ter que ir reabilitando gradualmente o número de edifícios existentes transformando-os em edifícios de “energia quase zero”.

Também em Portugal a reabilitação do parque edificado constitui a forma mais eficaz de contribuir para a sua eficiência energética e porventura a única atendendo à actual saturação do segmento de novas habitações.

É precisamente ao nível da reabilitação que é possível conseguir maiores ganhos de eficiência energética, embora se deva ter presente que estes investimentos devem ser optimizados (Galvin, 2010).

Além disso, a reabilitação evita a ocupação de território e o consumo desnecessário de recursos, constituindo uma via privilegiada para atingir os objectivos de sustentabilidade. Percebe-se por isso porque a Alemanha anunciou um ambicioso programa para a reabilitação até ao ano 2020, de todas habitações construídas antes de 1984, o que corresponde a 30 milhões de fogos (Power, 2008).

O parque edificado em Portugal é constituído por 5,8 milhões de fogos, o que constitui um dos maiores rácios fogo/habitante da Europa, estando ocupados a tempo inteiro 3,5 milhões, 1 milhão são habitações de férias e os restantes estão permanentemente desocupados (INE, 2010).

No âmbito do Sistema de Certificação Energética (SCE) foram já emitidos pela ADENE mais de 400 mil certificados energéticos contudo somente uma minoria pertence às classes A e B. Qualquer aumento de eficiência energética do parque edificado terá por isso que passar pela reabilitação dos edifícios com menor desempenho energético.

As investigações na área da nanotecnologia cresceram de forma exponencial nos últimos anos e entre as várias aplicações estudadas, merecem particular atenção para a engenharia civil, as relativas ao desenvolvimento de materiais de construção de elevado desempenho (Pacheco-Torgal et al., 2013). Alguns destes podem ter consequências positivas

no âmbito da eficiência energética do parque habitacional constituindo o objecto do presente artigo.

2. ISOLAMENTOS TÉRMICOS DE ELEVADO DESEMPENHO

A necessidade de reduzir gastos energéticos em edifícios teve como consequência que as espessuras dos isolamentos térmicos, tenham crescido ao longo dos anos, e nalguns países do Norte da Europa esse valor mais do que duplicou (Figura 1).

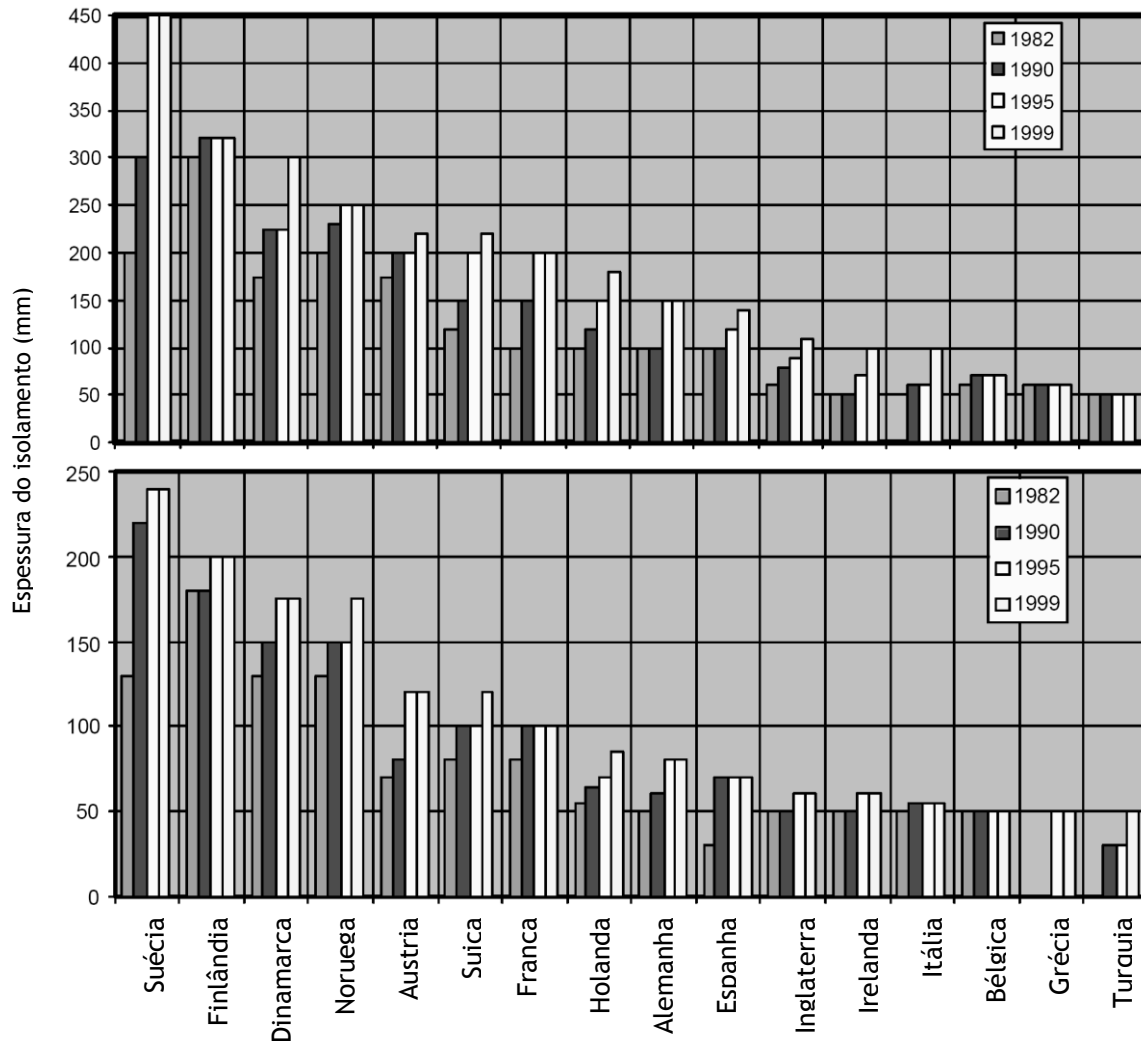


Figura 1 - Evolução das espessuras dos isolamentos térmicos: Em coberturas (em cima) e em paredes (em baixo) (Papadopoulos, 2005)

A necessidade de isolamentos térmicos com maior desempenho e menor espessura, tornou-se assim um problema que a comunidade científica tentou solucionar de há alguns anos a esta parte. Num primeiro momento, a solução passou pelo desenvolvimento de painéis contendo gases raros que permitiam reduções relevantes do isolamento térmico, contudo cedo se tornou evidente que o desempenho dos mesmos era ultrapassado pelos painéis com vácuo, que apresentam uma capacidade de isolamento térmico, que é quase 10 vezes superior à dos isolamentos térmicos correntes (Figura 2).

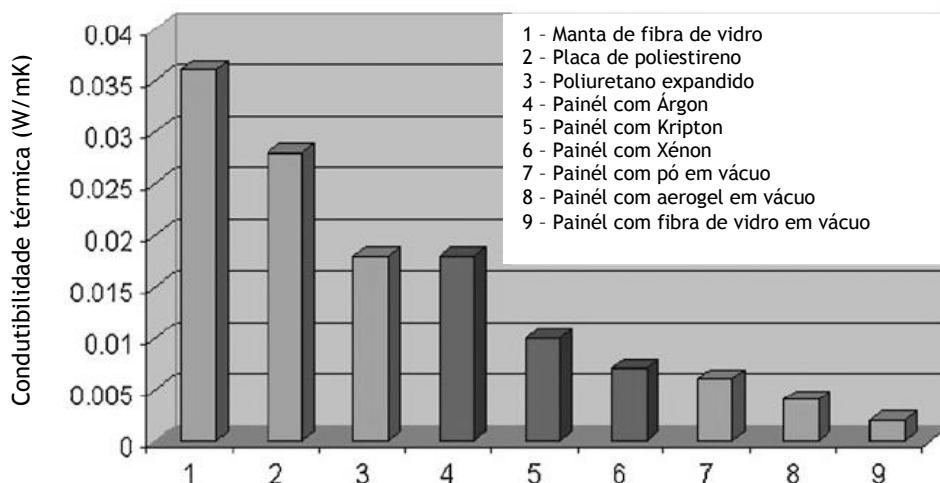


Figura 2- Comparação do desempenho térmico entre isolamentos correntes e isolamentos de elevado desempenho (Baetens et al., 2010)

Os painéis de isolamento com vácuo, cuja estrutura interna em nanoporos os classifica no domínio dos nanomateriais, são basicamente constituídos por um núcleo, o qual é colocado a vácuo no interior de um painel. Embora as aplicações iniciais utilizassem núcleos de poliestireno, ultimamente tem vindo a ser utilizados núcleos de sílica de fumo, sujeitos a uma compressão de 200kg/m^3 o que faz com que o ar nos poros esteja a uma pressão inferior à pressão atmosférica (Simmler & Brunner, 2005).

Os painéis com vácuo apresentam algumas desvantagens, como por exemplo a sua fragilidade e o facto de isso poder implicar que durante a fase de montagem possam ser facilmente danificados e também o facto de poderem apresentar pontes térmicas.

O aerogel representa um exemplo de um outro nanomaterial com elevado desempenho em termos de isolamento térmico. Também conhecido por “fumo sólido” (Figura 3) o aerogel é um material composto por gel de sílica, ao qual se extrai a quase totalidade da fase líquida até ficar uma percentagem quase residual de aprox. 1%, os restantes 99% são constituídos apenas ar.

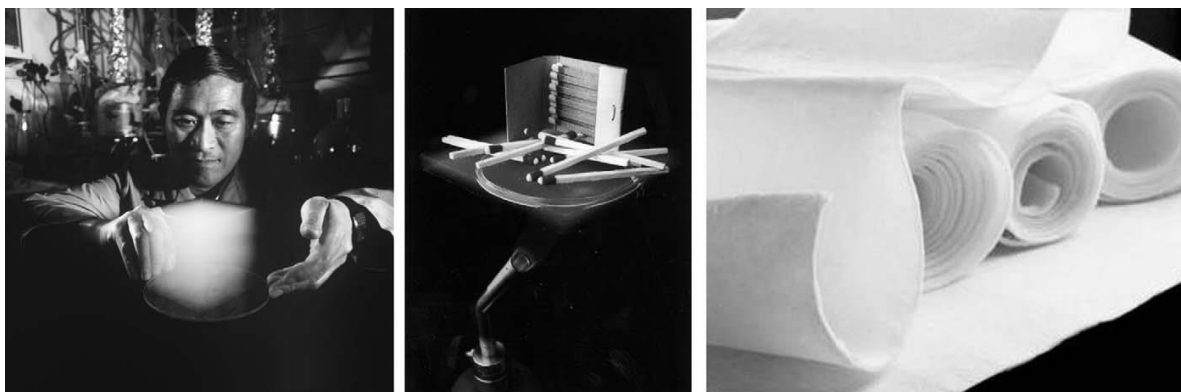


Figura 3- À esquerda: amostra de aerogel desenvolvida para aplicações aeroespaciais;
 Ao centro: exemplo da incombustibilidade do aerogel;
 À direita: manta flexível para isolamento térmico em aerogel (Jelle, 2011)

Inicialmente desenvolvidos pela NASA para aplicações na indústria aeroespacial, estes materiais são actualmente comercializados como materiais de isolamento térmico para fins habitacionais quer como mantas flexíveis ou placas rígidas.

Estes materiais possuem ainda a vantagem adicional de serem incombustíveis, ao contrário dos isolamentos térmicos tradicionais (EPS, XPS ou o poliuretano) que emitem fumos tóxicos em caso de incêndio (Liang & Ho, 2007; Pacheco-Torgal & Jalali, 2012).

3. JANELAS COM VIDROS DE BAIXA CONDUTIBILIDADE TÉRMICA E TRANSMITÂNCIA REGULÁVEL

Devido à relativamente elevada condutibilidade do material vidro, as janelas continuam a ser zonas de elevadas perdas térmicas e isto apesar das soluções disponíveis em termos comerciais terem vindo progressivamente a apresentar desempenhos melhorados.

As janelas com vidros duplos comuns apresentam um $U=3 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ e as melhores soluções comerciais rondam $U=1.0 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$. Neste campo específico também a nanotecnologia veio trazer importantes benefícios pois já existem protótipos de janelas baseadas em aerogel com um valor $U=0.5 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$.

Este novo material permite além disso uma redução de massa substancial, comparativamente às janelas de vidros tradicionais, que nalguns casos pode ser quase dez vezes inferior (Schultz et al., 2005).

Avanços recentes no domínio da nanotecnologia apontam para a possibilidade de ser possível alterar a transmitância de um vidro, permitindo que este possa estar completamente transparente num momento e completamente opaco após a aplicação de um estímulo exterior (Figura 4).

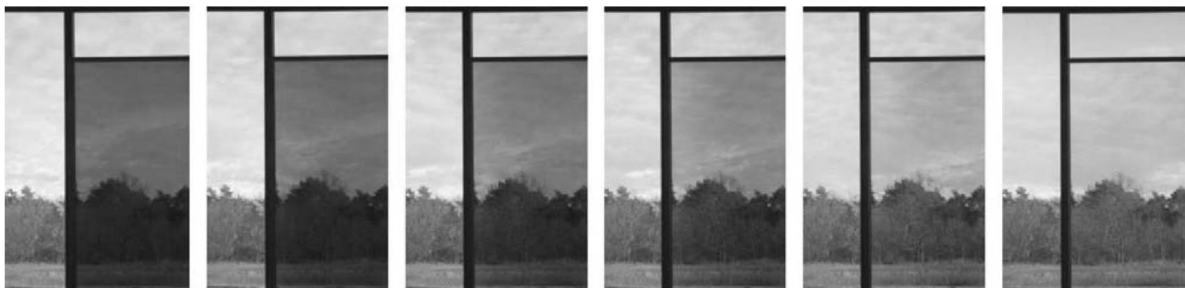


Figura 4 – Sequência da alteração da transmitância de um vidro (Baetens et al., 2010a)

Esta propriedade é benéfica quando no Verão se pretende reduzir a quantidade de radiação solar no interior das habitações e assim as necessidades energéticas de arrefecimento. Estes materiais conhecidos por cromogénicos, são classificados de acordo com o tipo de estímulo responsável pela alteração das suas propriedades ópticas: eléctrico (electrocromicos), térmico (termocromicos), gasoso (gasocromicos) ou fotónico (fotocromicos).

O primeiro caso é o mais comum e diz respeito a vidros revestidos com um filme de óxido de tungsténio, que muda de cor quando lhe é aplicada uma carga eléctrica de baixa voltagem de aprox. 5V DC. O óxido de tungsténio foi aliás o primeiro material a ser utilizado aquando da descoberta do efeito electroquímico em 1969, continuando ainda a ser um dos mais promissores para esta aplicação (Lee & Di Bartolomeo, 2002).

Papaefthimiou et al. (2006) refere uma poupança até 54% em consumos de energia eléctrica para efeitos de arrefecimento, quando se compara o desempenho de uma janela electrocromica com uma janela de vidro simples.

Yoshimura et al. (2009) estudaram o desempenho de uma janela gasocromica referindo poupanças de 34% nas necessidades energéticas de arrefecimento face a uma janela de vidros duplos correntes.

Apesar desta ser uma área de investigação relativamente recente, o facto é que a oferta comercial de janelas com vidros electrocromicos é já uma realidade em vários países (SAGE

Electrochromics-EUA, Econtrol Glas-Alemanha e Gesimat-Alemanha, ChromoGenics AB-Suécia, Saint Gobain Sekurit-Alemanha etc). Algumas empresas disponibilizam janelas com uma vida útil de 30 anos e capazes de suportar 100.000 ciclos de alteração da transmitância, contudo é expectável que nos próximos anos estes produtos possam vir a apresentar um desempenho mais elevado e com um custo ainda mais reduzido (Baetens et al., 2010a).

4. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS DE 3ª GERAÇÃO

A energia solar que chega à superfície da Terra em cada ano é de aprox. 3 milhões exajoules EJ, um valor muito superior ao consumo energético mundial previsto para o ano 2050 de 1278 EJ. Significa isso que nessa altura apenas 0.04% da energia solar aproveitável será suficiente para satisfazer as necessidades energéticas anuais da nossa civilização.

Em 1839 o físico Becquerel descobre o efeito fotovoltaico o qual permite passar da energia solar directamente para a energia eléctrica, contudo somente na década de 50 é que foi patenteada a primeira célula solar em silício. A crise petrolífera ocorrida na década de 70 constitui-se como um factor de potenciação das investigações na tecnologia dos painéis fotovoltaicos. Como consequência no início da década de 80 a potência instalada a nível mundial atingiu os 0.09 GW, subindo para 0.35 GW em 1996, 2.4 GW em 2007 e 40 GW actualmente, só nos últimos 10 anos a taxa de crescimento foi de 40% ano (Figura 5).

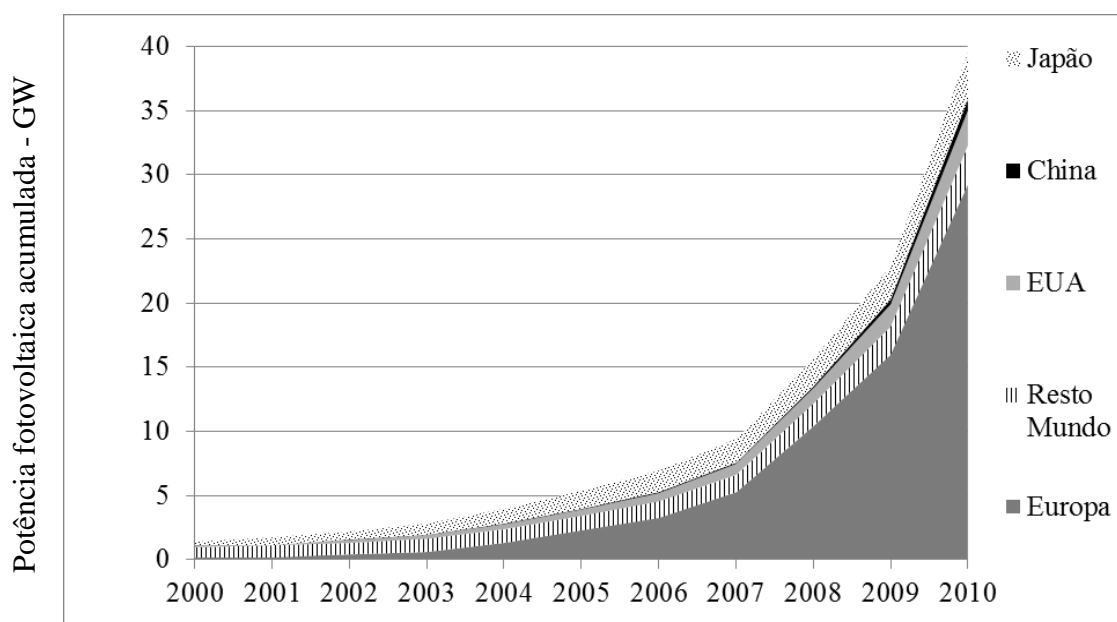


Figura 5 – Evolução da potência fotovoltaica instalada entre 2000 e 2010 (EPIA, 2011)

A Europa apresenta uma posição dominante face ao resto do mundo no segmento do solar fotovoltaico, só a Alemanha representa aprox. 40% da potência está instalada a nível mundial, o que equivale a um rácio de 195 W/habitante.

Portugal têm actualmente apenas um rácio de 13 W/habitante e no âmbito da Directiva 2009/28/CE relativa à utilização de energias provenientes de fontes renováveis, têm como meta atingir um valor global 1.5 GW no ano 2020, o que corresponde a um rácio 150 W/habitante. Prevê-se que em 2020 a potência solar fotovoltaica instalada a nível mundial seja de 278 GW.

De acordo com (Zhang e Zhao, 2013) actualmente o segmento fotovoltaico é responsável por apenas 0.1% da energia eléctrica a nível mundial, contudo esse valor aumentará para 5% no ano 2030 e 11% no ano 2050.

Em termos puramente teóricos estima-se que toda a energia produzida no ano 2012 de 151.000 TWh/ pudesse ser obtida por painéis fotovoltaicos com uma área total de 756.000 Km², localizados em todos os continentes em zonas com um elevado nível de exposição solar (Kiss, 2012).

Um dos “estrangulamentos” da tecnologia fotovoltaica está na reduzida eficiência de conversão. Esta traduz o quociente entre a potência da luz solar incidente na célula e a potência eléctrica gerada. Quanto maior este parâmetro menor a área de painel fotovoltaico necessário para gerar uma determinada potência eléctrica e menor o investimento inicial.

A primeira patente de uma célula fotovoltaica tinha uma eficiência de 4.5% e muito embora desde essa altura a eficiência de conversão tenha vindo a subir de forma progressiva, ainda está apenas em 15-22% para células c-Si (silício cristalino) de 1ª geração produzidas a nível industrial. As células de 2ª geração utilizam filmes finos que permitem reduções interessantes do seu custo relativamente à 1ª geração e embora a eficiência de conversão seja menor (Yoon et al., 2011) a mesma é no entanto compensada por reduções nos custos de produção.

No segmento solar fotovoltaico o custo por unidade de energia produzida, baixou de forma muito substancial entre a década de 70 (58 dólares/Wp) e o meio da década de 80 quando atingiu 10 dólares/Wp (Figura 6), mas nas últimas duas décadas a redução do preço foi menos substancial, encontrando-se actualmente a rondar os 1,4 dólares/Wp (excluindo custos de instalação). Trata-se ainda assim de um valor que é substancial e que desincentiva uma maior utilização desta tecnologia, como o reconhecem vários autores (Focacci, 2009; Al-Salaymeh et. Al., 2010; Davies & Osmani, 2011; Sadinei et al., 2011; Marszal & Heiselberg, 2011).

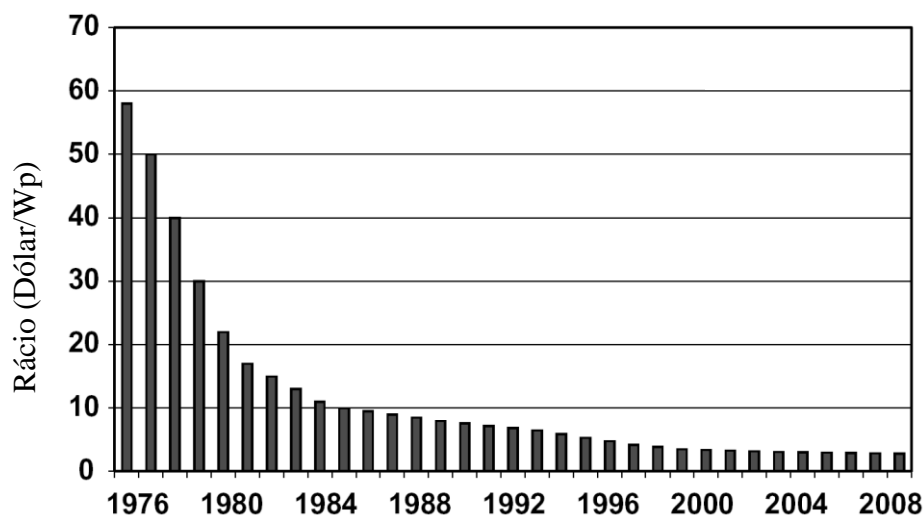


Figura 6 – Evolução do rácio custo por unidade de energia (Al-Salaymeh et. Al., 2010)

Compreende-se assim o motivo por que o forte crescimento do segmento solar fotovoltaico em vários países se ficou a dever a uma política de bonificação da tarifa associada (*feed-in tariff*), (que em Portugal se encontra regulamentada pela Lei nº 118-A/2010 de 25 de Outubro relativa à microprodução e pelo Dec-Lei nº 34/2011 de 8 de Março relativo à miniprodução). Estas bonificações têm no entanto suscitado fortes críticas devido ao actual contexto de crise económica.

A nanotecnologia poderá a curto prazo permitir um aumento substancial da eficiência de conversão pois algumas investigações utilizando “quantum dots” (nanocristais confinados numa estrutura tridimensional) apontam para uma eficiência teórica de 63% (Razykov et al., 2011, Semonin et al., 2012).

As células fotovoltaicas de 3ª geração irão assim contribuir para uma redução do custo por unidade de energia produzida (El Chaar et al., 2011), abaixo mesmo de 1,0 dólar/Wp. Dessa forma poderão permitir a médio ou mesmo curto prazo dispensar as tarifas bonificadas levando assim a um crescimento ainda mais acentuado desta tecnologia. O que por sua vez levará a uma redução das necessidades energéticas do parque edificado para níveis quase nulos como preconizado no conceito “energia quase zero”.

5. CONCLUSÕES

A questão energética constitui presentemente a nível mundial a principal causa pelas emissões de GEE e também indirectamente pela asfixia económica de muitos países que necessitam de importar a maioria da energia que consomem. Sendo responsável por uma parcela significativa do consumo energético o parque habitacional está obrigado a substanciais reduções do mesmo. Obrigação essa recentemente reforçada na EPBD através da exigência “energia quase zero” para todos os edifícios a partir do ano 2020 (2018 no caso dos edifícios públicos). Como a maioria dos edifícios existentes é pouco eficiente em termos energéticos, é possível conseguir elevadas poupanças com investimentos ao nível da reabilitação energética, em montantes devidamente otimizados para que possam auto amortizar-se.

As investigações no domínio da nanotecnologia permitiram disponibilizar isolamentos térmicos de elevado desempenho (e baixa toxicidade em caso de incêndio) e janelas com vidros de baixa condutibilidade e transmitância regulável, que irão alargar o leque de escolha dos projectistas em termos de materiais a empregar nas obras de reabilitação. Já no que respeita à tecnologia fotovoltaica, é previsível que a curto prazo, as células de 3ª geração venham a permitir praticar um preço por unidade de energia produzida, que a torne rentável sem necessidade de qualquer bonificação, o que a concretizar-se constituiria uma mudança com consequências imprevisíveis ao nível do comportamento dos agentes que actuam neste sector.

SÍMBOLOS

ADENE – Agência para a Energia
EPBD – European Performance Building Directive
EPS – Expanded Polystyrene
GEE – gases responsáveis pelo efeito de estufa
NASA – National Aeronautics and Space Administration
tep – toneladas equivalentes de petróleo
XPS – Extruded Polystyrene

REFERÊNCIAS

- Al-Salaymeh, A.; Al-Hamamre, Z.; Sharaf, F.; Abdelkader, M., Technical and economical assessment of the utilization of photovoltaic systems in residential buildings: The case of Jordan. *Energy Conversion and Management*, **51**, 1719–1726 (2010).
- Baetens, R.; Jelle, B.; Thue, J.; Tenpierik, M.; Grynning, S.; Uvslokk, S.; Gustavsen, A., Vacuum insulation panels for building applications: A review and beyond. *Energy and Buildings*, **42**, 147-172 (2010).
- Baetens, R.; Jelle, B.; Gustavsen, A., Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **94**, 87-105 (2010a).
- COM 571 final. Roadmap to a Resource Efficient Europe (2011).
- COM 30. European Commission, 2008b. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: 20 20 by 2020—Europe’s climate change opportunity (2008).
- Davies, P.; Osmani, M., Low carbon housing refurbishment challenges and incentives: Architects’ perspectives. *Building and Environment*, **46**, 1691-1698 (2011).
- El Char, L.; Lamont, L.; El Zein, N., Review of photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**, 2165-2175 (2011) .
- EPBD, European Union. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of May 19th, 2010 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union; 18 June (2010).
- EPIA, Global Market outlook for photovoltaics until 2015. European Photovoltaic Industry Association (2011).
- Focacci, A., Residential plants investment appraisal subsequent to the new supporting photovoltaic economic mechanism in Italy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **13**, 2710–2715 (2009).
- Galvin, R., Thermal upgrades of existing homes in Germany: The building code, subsidies, and economic efficiency. *Energy and Buildings*, **42**, 834–844 (2010).
- INE, Estatísticas da construção e habitação. Edição de 2011. Instituto Nacional de Estatística, IP.(2010).
- IEA , World Energy Outlook 2010, OECD/IEA, Paris (2010).
- Yoshimura, K.; Yamada, Y.; Bao, S.; Tajima, K.; Okada, M., Preparation and characterization of gasochromic switchable-mirror window with practical size. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2138–2142 (2009).
- Yoon, S.; Tak, S.; Kim, J.; Jun, Y.; Kang, K.; Park, J., Application of transparent dye-sensitized solar cells to building integrated photovoltaic systems. *Building and Environment*, **46**, 1899-1904 (2011).
- Jelle, B., Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities. *Energy and Building*, **43**, 2549-2563 (2011).
- Kiss, G., Solar energy in the built environment powering the sustainable city. Em Metropolitan sustainability, 431-456, Ed. Zeman, F., WoodHead Publishing Limited Abington Hall, Cambridge, UK (2012).
- Lee, E.; Di Bartolomeo, D., Application issues for large-area electrochromic windows in commercial buildings. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **71**, 465-491 (2002).
- Lechtenbohmer S, Schuring A, The potential for large-scale savings from insulating residential buildings in the EU. *Energy Efficiency*, **4**, 257–270 (2011).

Liang, H.; Ho, M., Toxicity characteristics of commercially manufactured insulation materials for building applications in Taiwan. *Construction and Building Materials*, **21**, 1254-61 (2007).

Marszal, A.; Heiselberg, P., Life cycle cost analysis of a multi-storey residential Net Zero Energy Building in Denmark. *Energy*, **36**, 5600-5609 (2011).

Pacheco-Torgal, F.; Jalali, S.; Fucic, A., The toxicity of building materials. Woodhead Publishing Limited Abington Hall, Cambridge, UK (2012).

Pacheco-Torgal, F.; Diamanti, V.; Nazari, A.; Granqvist, C., Nanotechnology in eco-efficient construction. Materials, processes and applications. Woodhead Publishing Limited Abington Hall, Cambridge, UK (2013).

Papadopoulos, A., State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*, **37**, 77-86 (2005).

Papaefthimiou, S.; Syrrakou, E.; Yianoulis, P., Energy performance assessment of an electrochromic window. *Thin Solid Films*, **502**, 257-264 (2006).

Power, A., Does demolition or refurbishment of old and inefficient homes help to increase our environmental, social and economic viability? *Energy Policy*, **36**, 4487-4501 (2008).

Razykov, T.; Ferekides, C.; Morel, D.; Stefanakos, E.; Ullal, H.; Upadhyaya, H. (2011) Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects. *Solar Energy*, **85**, 1580-1608 (2011).

Sadineni, S.; France, T.; Boehm, R., Economic feasibility of energy efficiency measures in residential buildings. *Renewable Energy*, **36**, 2925-2931(2011).

Semonin, O.; Luther, J.; Beard, M., Quantum dots for next-generation photovoltaics. *Materials Today*, **15**, 508-515 (2012).

Shealy, M.; Dorian, J., Growing Chinese coal use: Dramatic resource and environmental implications. *Energy Policy*, **38**, 2116-2122 (2009).

Simmler, H. & Brunner, S., Vacuum insulation panels for building application. Basic properties, aging mechanisms and service life. *Energy and Buildings*, **37**, 1122-1131 (2005).

Schultz, J.; Jensen, K.; Kristiansen, F., Super insulating aerogel glazing. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **89**, 275-285 (2005).

United Nations Foundation, Achieving universal energy access (2013) <http://www.unfoundation.org/what-we-do/issues/energy-and-climate/clean-energy-development.html>

WEO, World Energy Outlook. ISBN 978-92-64-06130-9, IEA. (2009).

Zhao, X.; Zhang, X. Solar photovoltaic/thermal technologies and their application in building retrofitting. Em Nearly zero energy building refurbishment: A multidisciplinary aproch. Springer, London, UK (2013).