

# ENERGIA INCORPORADA EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO VERSUS ENERGIA OPERACIONAL

**FERNANDO TORGAL**

Investigador Auxiliar

C-TAC (UM)

[torgal@civil.uminho.pt](mailto:torgal@civil.uminho.pt)

PORTUGAL

**SAID JALALI**

Professor Catedrático, Engº Civil

UM

[said@civil.uminho.pt](mailto:said@civil.uminho.pt)

PORTUGAL

## SUMÁRIO

O consumo de energia é um dos desafios mais importantes com que se confronta Portugal. Por um lado devido ao facto da maior parte dessa energia ser importada e por outro porque uma parte significativa da mesma é produzida em centrais termoelectricas. Esse facto implica a emissão de gases responsáveis por efeito de estufa, dificultando o cumprimento de limites acordados a nível internacional. Tornam-se por isso necessárias investigações que permitam minimizar o consumo de energia nos edificios. No presente artigo apresentam-se resultados de um caso de estudo sobre os consumos energéticos (operacionais e incorporados nos materiais) de um edificio com 97 apartamentos. Os resultados obtidos mostram que a parcela de energia incorporada nos materiais é pouco relevante quando comparada com a energia operacional. Contudo e à medida que os edificios se tornam mais eficientes em termos energéticos, a parcela de energia incorporada vai aumentando até se tornar preponderante.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente procura a nível mundial de energia 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 [1]. Em Portugal existe um elevado consumo energético que apresenta repercussões no campo económico de elevada gravidade, já que a energia representa quase 60% das nossas importações. Entre 1995 e 2005 a riqueza nacional aumentou 28%, contudo a factura de energia importada aumentou no mesmo período 400%, tendo crescido de 1500 milhões de dólares para 5500 milhões de dólares, e entre 2005 e 2007 esse valor passou para aproximadamente 10.000 milhões de dólares. A nossa dependência energética compara por isso de forma muito desfavorável com o valor da média dos 27 países da EU, quer mesmo também com outros países do Sul da Europa (Figura 1).

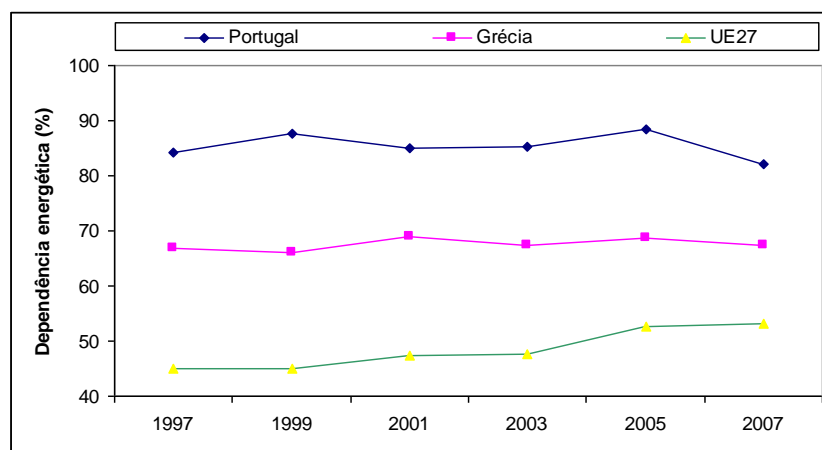


Figura 1 - Evolução temporal da dependência energética portuguesa [2]

Pese embora o facto de nos últimos anos ter havido em Portugal uma forte aposta nas energias renováveis, continuamos a importar energia e a queimar combustíveis fósseis para gerar uma parte expressiva da energia de que necessitamos. Esta questão é particularmente relevante no contexto nacional em que a energia produzida é preponderantemente de origem térmica, produzida em centrais termoeléctricas. Este panorama é agravado pelo fraco desempenho do nosso país em termos de conseguir cumprir as metas relativas às emissões de carbono, no âmbito do Acordo de Partilha de Responsabilidades (burden sharing agreement), definido no seio da Comunidade Europeia. Este compromisso obriga alguns países a reduzir substancialmente os seus níveis de emissões, enquanto outros podem mesmo aumentá-las, como é o caso de Portugal que pode apresentar em 2012, um nível de emissões de GEE, 27% superior ao apresentado em 1990. O nível de emissões de CO<sub>2</sub>e (CO<sub>2</sub> equivalente, que já inclui todos os gases GEE) em 1990 era de 60 milhões de toneladas (Mt) anuais, a meta individual para Portugal, de emissões para o ano 2010, significa um tecto máximo de 76 Mt, contudo em 2001 o nível de emissões de CO<sub>2</sub> e, já tinha atingido as 82 Mt, ou seja 36% acima do máximo permitido pelos compromissos assumidos.

Tendo em conta que o sector residencial consome ao longo de todo o seu ciclo de vida mais de 40% de toda a energia produzida, facilmente se percebe o elevado potencial de poupança energética deste subsector e o que isso pode representar em termos de redução de emissões. Cepinha et al. [3] defendem que facilmente se poderia reduzir 1/5 da energia consumida em Portugal no sector residencial, o que implicaria uma redução de 340 milhões de toneladas de dióxido de carbono.

As medidas tomadas nos últimos anos no âmbito da Directiva para a eficiência energética dos edifícios, visam diminuir a parcela da energia operacional dos edifícios (aquecimento, águas quentes, electricidade etc), pois aceitou-se que os maiores gastos energéticos fossem devidos a esta parcela. E de facto nos edifícios pouco eficientes de um ponto de vista energético, a energia incorporada nos materiais era de apenas 10 a 15% da energia operacional. Entendendo-se por energia incorporada nos materiais de construção (embodied energy) a energia consumida durante a sua vida útil. Contudo à medida que os edifícios se vão tornando mais eficientes e a energia operacional se vai reduzindo, a parcela referente à energia incorporada nos materiais vai se tornando cada vez mais preponderante.

Thormark [4] estudou um dos edifícios com o menor consumo energético na Suécia (45kWh/m<sup>2</sup>) referindo que a energia incorporada nos materiais, para uma vida útil de 50 anos pode representar 45% da energia total. Convém ter presente que este autor não contabilizou a energia gasta durante a fase de construção, mas foi contabilizada a parcela de energia para substituição de materiais durante a fase de manutenção. Dimoudi & Tompa [5] referem que a energia incorporada nos materiais de construção em edifícios de escritórios pode variar entre 13% a 19% da energia operacional para uma vida útil do edifício de 50 anos. Estes autores contabilizam somente a parcela de energia referente à produção de materiais.

Existe assim alguma controvérsia em torno do peso da fracção de energia incorporada nos materiais de construção, comparativamente à energia operacional dos edifícios, pelo que este é um aspecto que merece ser objecto de atenção. No presente artigo descrevem-se os resultados de um caso de estudo sobre os consumos energéticos de um edifício com 97 apartamentos (27.647 m<sup>2</sup>), comparando-os com a energia incorporada nos materiais utilizados na sua construção.

### 2. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

O edifício objecto de estudo está localizado na região do Grande Porto e é constituído por 97 apartamentos com uma área bruta de 27.647m<sup>2</sup>. A energia operacional do edifício foi estimada a partir dos consumos de 8 apartamentos, nos quais se recolheram dados relativos à facturação de energia eléctrica e de gás (Tabela 1).

Tabela 1- Consumo de energia em 8 fracções

Fracção	Electricidade (kWh/ano)	Gás * (kWh/ano)	Área (m <sup>2</sup> )	Total (kWh/ano)
1	3966	-	75	3966
2	6772	-	97	6772
3	2190	4287	200	6477
4	1095	3787	135	4882
5	2249	8600	138	10849
6	1095	9056	120	10151
7	913	1278	75	2191
8	2107	9678	180	11785

\*Os consumos de gás resultam do produto do volume gasto pelo factor 11, 6180 kWh/m<sup>3</sup> (Fonte EDP, gás)

Utilizando a mediana dos consumos e a mediana das áreas obtemos respectivamente o valor de 6625 kWh e de 127,5m<sup>2</sup>, o que dará um consumo unitário de 52kWh/m<sup>2</sup>. Se convertemos esse valor em MJ utilizando o factor 0,2778 [6], obtemos 187,2MJ/m<sup>2</sup>/ano. O que para uma vida útil da habitação de 50 anos dará 9359MJ/m<sup>2</sup>.

### 3. CÁLCULO DA ENERGIA INCORPORADA NOS MATERIAIS (EI)

O cálculo da energia incorporada foi levado a cabo através do produto da quantidade de material utilizado na construção do edifício objecto de estudo, pelos coeficientes de energia incorporada (EI) recolhidos em duas bases de dados [7,8]. Na Tabela 2 apresentam-se os coeficientes EI dos materiais utilizados no presente estudo, assim como também as quantidades desses materiais.

Tabela 2- Coeficientes EI utilizados

Material	Quantidade	Coeficiente EI (MJ/kg)	Fonte
Alumínio	24,3 ton.	184	[7]
Argamassas	1 775 m <sup>3</sup>	1	[7]
Vidro	64 798 m <sup>2</sup>	8	[7]
Lã de rocha	3 622 m <sup>2</sup>	16	[7]
Tijolo de barro	324 063 un	3	[7]
Aglomerado de cortiça	12 978 m <sup>2</sup>	4	[7]
Betão	31 000 ton.	0,99	[8]
Armadura	1 260 ton.	8,8	[8]

Na Figura 2 apresenta-se a energia incorporada (em percentagem) dos materiais de construção, responsáveis pela parcela mais significativa da energia de produção (num cenário de “cradle to gate”), correspondendo a um total de 58 249 336 MJ.

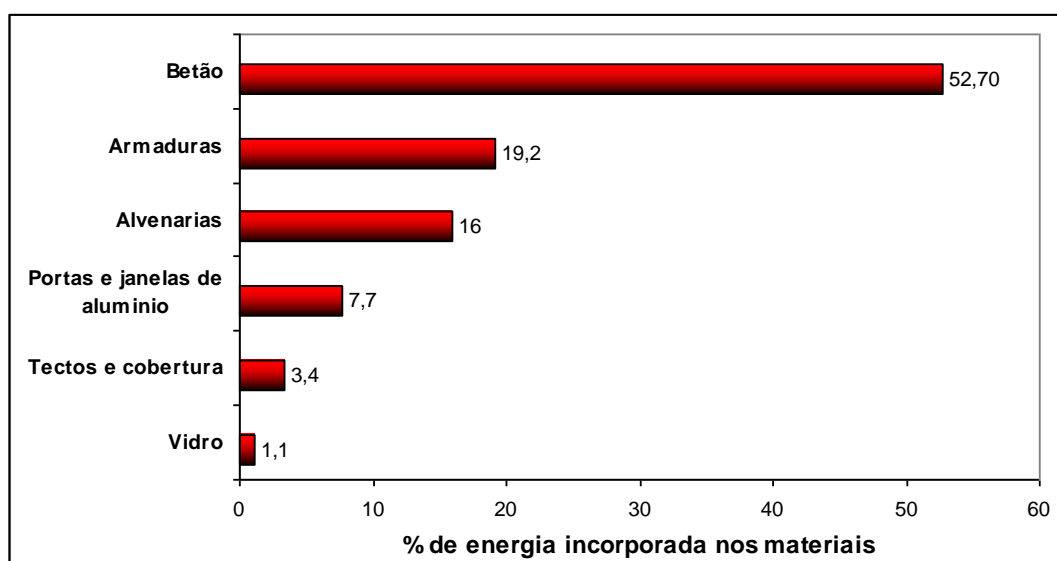


Figura 2 – Energia incorporada nos materiais responsáveis pela parcela mais significativa do consumo

A figura 2 permite constatar que só reduzindo a energia incorporada no betão armado, que constitui mais de 70% da energia incorporada nos materiais de construção, é possível conseguir reduções substanciais ao nível do consumo alocado aos materiais de construção. Essa opção poderá materializar-se reduzindo substancialmente o consumo do cimento pela substituição por aditivos pozolânicos, como por exemplo as cinzas volantes. Embora sejam correntes níveis de substituição de aprox. 30%, algumas investigações apontam para a possibilidade de produzir betões de elevado desempenho com volumes de incorporação de 60% de cinzas [9], ou até mesmo com 80% de escórias [10]. Também seria possível reduzir parcial ou mesmo totalmente o consumo energético associado às armaduras, optando pela sua substituição por armaduras de bambu. As investigações realizadas até ao momento neste âmbito são bastante promissoras e apontam para uma redução da aderência que pode ser facilmente ultrapassada com recurso a pinos cravados nas próprias armaduras de bambu [11-13]. Já no que respeita à durabilidade do bambu quando imerso na matriz cimentícia dos betões, alguns autores referem um caso de uma estrutura de betão feita com armaduras daquela espécie vegetal que ao fim de 15 anos não apresentava qualquer sinal de degradação [14].

Admitindo uma distância média entre a fábrica e o local da obra de 30 km e um valor unitário médio para a energia gasta em transportes de 1,5MJ/(ton.km) (Tabela 3), obteremos 1 515 195 MJ para o transporte dos materiais de construção atrás discriminados, os quais são responsáveis pela maioria da massa utilizada na obra.

Tabela 3- Energia gasta em transportes [6]

Transporte	MJ/ton Km
Avião	33-36
Rodovia (gasóleo)	0,8-2,2
Ferrovias (gasóleo)	0,6-0,9
Ferrovias (electricidade)	0,2-0,4
Barco	0,3-0,9

Para a energia utilizada durante a construção do edifício foi utilizado o valor de 10% da energia de produção dos materiais acima referidos o que dá um valor de 5 824 933 MJ [15]. Da soma das três parcelas obtêm-se o valor de 65 589 464 MJ, o que corresponde a uma valor unitário de 2372 MJ/m<sup>2</sup>. Este valor representa 25,3% da energia operacional para um período de 50 anos, o que não difere muito dos resultados apresentados por Dimoudi & Tompa [5]. É lícito admitir que as referidas diferenças possam estar relacionadas com o facto daqueles autores não terem contabilizado as parcelas de energia relacionadas com o transporte e com a fase de construção. Já se o edifício em causa tivesse um consumo de apenas 28kWh/m<sup>2</sup> por via da optimização do isolamento térmico da envolvente [16], teríamos neste caso um valor de 100,1MJ/m<sup>2</sup>/ano, o que implicaria que o peso da energia incorporada para uma vida útil do edifício de 50 anos, subisse para 47,1%. Importa não esquecer que haveria ainda muitos casos onde essa percentagem poderia ainda atingir valores superiores. Manso [17] refere o caso de uma fracção com desempenho térmico da classe energética A A+ que necessitaria de um valor de energia operacional de 12MJ/m<sup>2</sup>/ano o que significaria apenas 600 MJ/m<sup>2</sup> para os 50 anos de vida útil da habitação do presente caso de estudo. Valor que é bastante inferior ao da energia incorporada nos materiais de construção, correspondendo a apenas 25%.

Se no caso presente tivéssemos utilizado um betão com 75% de substituição de cimento por um aditivo pozolânico (E.I=0,53MJ/kg), teríamos obtido uma poupança de 16 430 000 MJ. O novo total será agora de 49 159 464 MJ, o que significa um valor unitário de 1778 MJ/m<sup>2</sup>. Resulta daqui que a simples alteração da composição do betão, pode significar uma redução de 25% em termos da energia incorporada nos materiais. Isto significa que a parcela de energia obtida por redução das emissões do betão é equivalente aos consumos operacionais do edifício durante toda a sua vida útil. Em termos de emissões de carbono o novo betão permitiria uma poupança de 265 toneladas de CO<sub>2</sub> [18]. Este valor reforça por isso a necessidade dos projectistas começarem o quanto antes a optar por materiais com baixos valores de EI. Outros autores referem que o aumento da utilização de madeira na construção de casas permitiria uma redução das emissões de carbono de quase 50% [19]. Em Portugal investigações recentes tem-se debruçado sobre os pavimentos mistos madeira-betão, os quais apresentam elevadas potencialidades do ponto vista da minimização do consumo de energia (Figura 3).



Figura 3 – Ensaio de vigas mistas madeira-betão leve [20]

Aliás dada a situação privilegiada neste país em termos de disponibilidade de madeira de pinho bravo e de investigações relativas à utilização de perfis de madeira lamelada colada de pinho bravo [21], os quais permitem ultrapassar os inconvenientes das vigas de madeira de pinho tradicionais, não existe qualquer razão objectiva, para que o sector da construção não aumente a percentagem de utilização deste material.

#### 4. CONCLUSÕES

O consumo de energia é um dos mais graves problemas com que Portugal se depara, pois representa um grave constrangimento económico por via de importações de bens. Esse consumo implica também emissões de gases responsáveis por efeito de estufa, os quais poderão implicar no futuro penalizações financeiras. Actualmente os maiores gastos energéticos no sector dos edifícios prendem-se com os elevados consumos de energia operacional. Contudo e á medida que a legislação relativa à eficiência energética dos edifícios, conduzir a um parque edificado com consumos energéticos mínimos, outro caminho não restará senão actuar ao nível dos materiais de construção, para se conseguir reduzir ainda mais a factura energética neste sector. A utilização de betões com elevados níveis de substituição de cimento por aditivos pozolânicos, será a curto prazo o passo mais evidente nesse sentido. Já a médio prazo será provável que se possa assistir a um aumento da utilização da madeira como material estrutural.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] World Energy Outlook. ISBN 978-92-64-06130-9, 2009, IEA.
- [2] EUROSTAT - Energy Dependency Statistics, 2007.
- [3] Cepinha, E.; Ferrão, P.; Santos, S. - The certification as an enterprise strategy of the real estate sector: a national scope analysis. International Congress Sustainable Construction, Materials and Practices - Challenge of the Industry for the New Millennium: ISBN 978-1-58603-785-7, 2007, 912-917, Portugal SB07, Lisboa.
- [4] Thormark, C. - A low energy building in a life cycle – its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. *Building and Environment* 37 (2002) 429-435.
- [5] Dimoudi, A.; Tompa, C. - Energy and environmental indicators related to construction of office buildings. *Resources Conservation and Recycling* 53 (2008) 86-95.
- [6] Berge, B. - *The Ecology of Building Materials*. 2º Edition, Architectural Press, 2009, ISBN 978-1-85617-537-1, Elsevier Science
- [7] Wellington, U. of - Table of embodied energy coefficients. Centre for Building Performance, 2005.
- [8] Hammond, G.; Jones, C. - *Inventory of carbon and Energy (ICE)*, 2008, Version 1,6a.  
<http://www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied>.
- [9] Camões, A. - *Betões de elevado desempenho com incorporação de cinzas volantes*. Tese de Doutoramento, 2002, Universidade do Minho.
- [10] Guneyisi, E.; Gesoglu, M. - A study on the durability properties of high-performance concretes incorporating high replacement levels of slag. *Materials and Structures* 41 (2008) 479-493.
- [11] Khare, L. - *Performance evaluation of bamboo reinforced concrete beams*. Master of Science in Civil Engineering, 2005, University of Texas.
- [12] Jung, Y. - *Investigation of bamboo as reinforcement in concrete*. Master of Science in Civil and Environment Engineering. University of Texas.
- [13] ] Ferreira, G. - *Vigas de concreto armadas com taliscas de bamboo Dendrocalamus Giganteus*. PhD Thesis, UNICAMP, 2007, Brazil.
- [14] Ghavami, K. - Bamboo as reinforcement in structure concrete elements. *Cement & Concrete Composites* 27 (2005) 637-649.
- [15] Forintek - *Raw material balances, energy profiles and environmental unit factor estimates for structural wood products/structural steel products/cement and structural concrete products*.

- Vancouver, 1993, Canada.
- [16] Silva, S.; Almeida, M. - Avaliação do impacto energético e económico de diferentes soluções construtivas. *Revista Engenharia Civil, Universidade do Minho* 18 (2003) 45-62.
- [17] Manso, J. – Avaliação energética e ambiental de edifícios de habitação – Impacto da utilização de diferentes sistemas energéticos e energia primária. *Dissertação de Mestrado, 2008, Universidade de Aveiro.*
- [18] Gonzalez, M.; Navarro, J. - Assessment of the decrease of CO2 emissions in the construction field through the selection of materials. *Building and Environment* 41 (2006) 902-909.
- [19] Goverse, T.; Kekkert, M.; Groenewegen, P.; Worrell, E.; Smits, R. - Wood innovation in the residential construction sector: opportunities and constraints. *Resources, Conservation and Recycling* 34 (2001) 53-74.
- [20] Jorge, L. - Estruturas mistas madeira-betão com a utilização de betões de agregados leves. *Tese de Doutoramento, FCT, 2005, Coimbra.*
- [21] Gaspar, F. - Estruturas de madeira lamelada-colada - viabilidade da utilização de madeira de pinho bravo tratada com produto preservador. *Dissertação de Mestrado, 2006, IST/UTL.*



**F. PACHECO TORRAL**

Investigador, Eng<sup>o</sup> Civil

C-TAC (UM)

Projectista e Director de Obras (1993-2003), Mestre em Eng<sup>a</sup> Civil (FCTUC-2002), Doutor Eng<sup>a</sup> Civil (UBI-2007), autor de aprox. 150 artigos e comunicações, sendo 20 artigos em revistas ISI com 120 citações.



**SAID JALALI**

Professor Catedrático, Eng<sup>o</sup> Civil

UM

Projectista e Director de Obras (1969-1984), Mestre em Eng<sup>a</sup> Civil (U. Nova-1985), Doutor Eng<sup>a</sup> Civil (Coventry-1991), Professor Catedrático Aposentado (U. Minho), autor de aprox. 270 artigos e comunicações.