

Seminário  
Reabilitação Energética de Edifícios

Livro de Atas  
Guimarães, 28 de Setembro de 2012



# **Seminário**

## **Reabilitação Energética de Edifícios**

Livro de Atas  
Guimarães, 28 de Setembro de 2012

Universidade do Minho

Editores:  
M. Almeida, L. Bragança, P. Silva, S. Silva,  
R. Mateus, J. Barbosa, C. Araújo



Universidade do Porto  
**FEUP** Faculdade de  
Engenharia

**FCT**  
Fundação para a Ciência e a Tecnologia  
investimento em ciência, tecnologia e inovação

**iiSBE**  
PORTUGAL

**Guimarães**

**AUMEA**

Este seminário tem como objetivo a disseminação dos resultados do projecto Reabilitação Energética de Edifícios, financiado pela FCT no âmbito do Programa COMPETE, liderado pela UMinho e em colaboração com a FEUP. O seminário conta com o apoio da Associação iiSBE Portugal, da Câmara Municipal de Guimarães e da Agência da Universidade do Minho para a Energia e o Ambiente

## **Seminário**

### **Reabilitação Energética de Edifícios**

Livro de Atas: Guimarães, 28 de Setembro de 2012

A produção desta publicação foi suportada pela Universidade do Minho

Editores: Manuela Almeida, Luís Bragança, Pedro Silva, Sandra Silva, Ricardo Mateus, José Barbosa, Catarina Araújo

Design da capa: Fátima Castro

© 2012 Os Autores e os Editores

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida, armazenada num sistema de recuperação, ou transmitida, de nenhuma forma ou por quaisquer meios, sem autorização prévia por escrito dos editores.

**ISBN: 978-989-96543-6-5**

Publicado pela Universidade do Minho.

Nota Legal:

Os editores e os autores não são responsáveis pelo uso que pode ser dado ao conteúdo deste livro.

Setembro 2012, 200 cópias  
IMPRESSO EM PORTUGAL

## Prefácio

O aumento exponencial dos custos da energia e o elevado valor da fatura energética que os cidadãos têm que pagar, faz com que todas as questões relacionadas com a energia e a eficiência energética ganhem uma importância cada vez maior para toda a sociedade.

O elevado peso relativo do consumo de energia dos edifícios existentes no consumo energético global no sector dos edifícios, faz com que a reabilitação energética adquira uma relevância cada vez maior.

Em Portugal existem 2 560 911 de edifícios construídos antes de 1990 (ano da publicação do 1º regulamento relativo ao comportamento térmico dos edifícios), representando 76.6% do total de edifícios existentes. Devido à falta de exigências e preocupações térmicas, estes apresentam-se como altamente consumidores de energia quando se pretende que eles proporcionem condições de conforto mínimas. Existem previsões que indicam que os edifícios construídos em Portugal até 1990 contribuirão em 2050 com mais de 80% dos consumos neste setor, se neles não forem feitas quaisquer intervenções de reabilitação energética.

No âmbito do Projeto de Investigação “Reabilitação Energética em Edifícios”, financiado pela FCT no âmbito do programa COMPETE e liderado pela Universidade do Minho sob a coordenação da Prof.<sup>a</sup> Doutora Manuela Almeida, foram estudadas diversas soluções tecnológicas que permitem uma reabilitação energética eficaz de edifícios e cuja divulgação vai permitir que não só os especialistas mas também o público em geral tenham acesso a informação potencialmente relevante para a vida e a economia de toda a sociedade.

Assim, no dia 28 de Setembro, teve lugar na Universidade do Minho, em Guimarães o Seminário “Reabilitação Energética de Edifícios”, onde foram divulgados e discutidos os resultados do referido Projeto de Investigação. Para além dos resultados do projeto de investigação, este livro de atas reúne ainda um conjunto de artigos científicos que contribuirão para a discussão no âmbito da temática da eficiência energética dos edifícios.

Este livro contou com o contributo de vários especialistas nacionais em áreas diretamente relacionadas com a reabilitação, melhoria da eficiência energética dos edifícios e sustentabilidade da construção. Os editores gostariam de agradecer o contributo dado por todos os autores e o apoio concedido à organização do evento pela Associação iiSBE Portugal, pela Câmara Municipal de Guimarães e pela AUMEA - Agência da Universidade do Minho para a Energia e o Ambiente.

O Comité Organizador e os Editores

Manuela Almeida  
Luís Bragança  
Pedro Silva  
Sandra Silva  
Ricardo Mateus  
José Barbosa  
Catarina Araújo



# Índice

|                                                                                                                     |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Prefácio</b>                                                                                                     | v       |
| <i>Manuela Almeida, Luís Bragança, Pedro Silva, Sandra Silva,<br/>Ricardo Mateus, José Barbosa, Catarina Araújo</i> |         |
| <br>Módulo de Reabilitação Prefabricado                                                                             | <br>1   |
| <i>Pedro Silva, Manuela Almeida, Luís Bragança e Vasco Mesquita</i>                                                 |         |
| <br>Reabilitação Integrada de Edifícios                                                                             | <br>9   |
| <i>Pedro Silva, Manuela Almeida, Luís Bragança e Vasco Mesquita</i>                                                 |         |
| <br>Modular Façade System for New Buildings and Refurbishment:<br>Thermal Performance for Guimarães - Portugal      | <br>17  |
| <i>Luís Bragança, Helenice Sacht e Manuela Almeida</i>                                                              |         |
| <br>Selection of rehabilitation construction solutions using ELECTRE III method                                     | <br>25  |
| <i>Sandra Silva e Manuela Almeida</i>                                                                               |         |
| <br>Method for energetic and economic analysis of buildings                                                         | <br>33  |
| <i>Catarina Araújo, Manuela Almeida e Luís Bragança</i>                                                             |         |
| <br>Energy Rehabilitation of Portuguese Residential Building Stock Through its<br>Transformation into NZEB          | <br>41  |
| <i>Joana Sousa, Sandra Silva e Manuela Almeida</i>                                                                  |         |
| <br>Enquadramento Energético do Sector Residencial Português                                                        | <br>49  |
| <i>Joana Sousa, Sandra Silva e Manuela Almeida</i>                                                                  |         |
| <br>Princípios de racionalização energética na arquitectura vernacular                                              | <br>57  |
| <i>Jorge Fernandes e Ricardo Mateus</i>                                                                             |         |
| <br>Reabilitação de edifícios de habitação – Desempenhos energético e de sustentabilidade                           | <br>69  |
| <i>João Carlos Bezerra e Luís Bragança</i>                                                                          |         |
| <br>Reabilitação sustentável de edifícios de habitação – Análise de Custos e Benefícios                             | <br>81  |
| <i>Fernando Moura e Luís Bragança</i>                                                                               |         |
| <br>Contabilizando a reabilitação na avaliação de sustentabilidade de edifícios de serviços                         | <br>93  |
| <i>José Amarílio Barbosa e Luís Bragança</i>                                                                        |         |
| <br>Benefícios Energéticos da Construção em Terra para Habitações Populares de Portugal                             | <br>103 |
| <i>Guilherme Castanheira e Luís Bragança</i>                                                                        |         |
| <br>Contribuição de argamassas com PCM para a reabilitação energética                                               | <br>109 |
| <i>Sandra Cunha, José Aguiar, Victor Ferreira e António Tadeu</i>                                                   |         |

|                                                                                                                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Avaliação da Sustentabilidade de Soluções de Reabilitação Energética para Paredes Exteriores de um Edifício de Habitação<br><i>Andreia Macedo, Ricardo Mateus e Sandra Silva</i>                                                       | 117 |
| Urban Rehabilitation Towards Sustainability<br><i>Patrícia Oliveira e Luís Bragança</i>                                                                                                                                                | 129 |
| Efficiency Towards Urban Systems<br><i>Susana Vieira e Luís Bragança</i>                                                                                                                                                               | 137 |
| Aplicação do Sistema de Avaliação SBTool <sup>PT</sup> -H na otimização da sustentabilidade de um caso de estudo em Guimarães<br><i>Fernando Mota, Joana Gonçalves, Michael Loureiro, Paulo Mendes, Ricardo Mateus e Luís Bragança</i> | 143 |

## Módulo de Reabilitação Prefabricado

**Pedro Silva**

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*  
*psilva@civil.uminho.pt*

**Manuela Almeida, Luís Bragança**

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*  
*malmeida@civil.uminho.pt; braganca@civil.uminho.pt;*

**Vasco Mesquita**

*DST, S.A., Rua de Pitancinhos, apartado 208, Palmeira, 4711-911 Braga, Portugal*  
*Vasco.Mesquita@dstsgps.com*

**RESUMO:** A reabilitação energética dos edifícios é uma área com crescente importância para o setor da construção Portuguesa. Tal deve-se a uma conjugação de diversos fatores, desde o estado de degradação e fraco desempenho energético dos mesmos, até à drástica redução do índice de construção nova. Como tal, com vista a adequar o parque habitacional existente para as novas necessidades, mas também para as mais recentes exigências por parte dos moradores, é fundamental extensas intervenções de reabilitação ao parque habitacional, procurando dotar o mesmo de uma maior eficiência energética, possibilitando assim garantir o conforto térmico dos ocupantes sem um gasto energético excessivo. No entanto é necessário desenvolver novas soluções para introdução no mercado, as quais sejam projetadas, não só para aumento do desempenho térmico da envolvente, mas também que possuam controlo de qualidade, maior viabilidade económica e menores tempos de aplicação. Com estes objetivos em perspetiva, o Laboratório de Física e Tecnologia das Construção da Universidade do Minho desenvolveu uma solução prefabricada para aplicação em fachadas de edifícios existentes otimizada em termos de custo / benefício.

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Enquadramento

Um dos maiores problemas da sociedade atual é o excessivo consumo de energia, devido principalmente ao aumento dos padrões de qualidade de vida e massificação da utilização de produtos e equipamentos com elevado consumo de energia, tais como automóveis, equipamentos de climatização, televisões, computadores, etc..

Um dos sectores com maior peso no consumo de energia é o sector dos edifícios. Por exemplo, o parque de edifícios Europeu é responsável pela utilização de 33% das matérias-primas, 50% do consumo de eletricidade e 26% da energia final (16% por edifícios residenciais e 10% por edifícios de serviços) [1,2,3].

Por outro lado, o parque edificado Português assume um estado de degradação com proporções que podem ser consideradas alarmantes. Tal, provoca uma redução na qualidade de vida das populações e deterioração do património edificado. Nos últimos anos, em Portugal apenas 20% do volume de negócios do sector da construção foi afetado à reabilitação do parque imobiliário, enquanto na União Europeia este investimento é de cerca de 40% [4,5,6].

Assim, é possível verificar que, em geral, Portugal ainda não é sensível à necessidade e importância da reabilitação de edifícios, sendo sempre mais valorizada a construção de novos edifícios. No entanto, devido à recente crise mundial e às repercussões verificadas em Portugal, culminando com a intervenção da troika, as linhas de crédito para construção de novos edifícios estão muito dificultadas, e as leis do arrendamento estão em revisão. Como tal, é previsível que o mercado da reabilitação apresente um forte crescimento nos próximos anos.

## 1.2 Reabilitação Energética dos Edifícios

Em Portugal, as soluções construtivas de fachada têm evoluído ao longo das décadas, desde a alvenaria de pedra de grande espessura até às soluções mais leves e delgadas utilizadas atualmente [7]. No entanto, um dos problemas encontrados nos edifícios existentes é a falta de isolamento das fachadas, o que provoca grandes perdas energéticas e obriga a um gasto excessivo de energia.

Como tal, considerando a reduzida eficiência energética dos edifícios em Portugal, a reabilitação de edifícios em geral tem como um dos seus pontos fortes a reabilitação energética de edifícios, a qual tem como objetivo reduzir o consumo energético global, não descuidando o conforto dos utilizadores do edifício. Em alguns casos, a reabilitação permite mitigar patologias relacionadas com a presença de humidade, assim como melhorar a estética dos edifícios, aspecto que por vezes se encontra bastante degradado.

A industrialização da construção é ainda incipiente em Portugal, no entanto é já uma opção válida e consolidada em diversos países, tais como os EUA, China, Alemanha, Áustria, etc. Nos últimos anos as tecnologias de prefabricação têm sido alvo de um forte investimento, de forma a aumentar a qualidade final dos edifícios, reduzir custos e aplicar soluções complexas de forma simples [8,9].

Atualmente a prefabricação tem vindo a ser aplicada, maioritariamente, em novos edifícios, com a utilização de fachadas prefabricadas em betão, escadas, janelas, painéis de compartimentação, portas, paredes de tijolo, etc. [10]. Esta tecnologia tem como grandes vantagens a independência das condições climáticas, o controlo da qualidade e a rápida aplicação dos produtos.

Assim, este artigo apresenta o desenvolvimento de uma solução prefabricada para aplicação em fachadas de edifícios existentes – Módulo de Reabilitação Prefabricado – MRP, o qual tem como objetivo contribuir para uma reabilitação eficiente relativamente ao consumo de energia, conforto térmico, desempenho térmico, etc. dos edifícios existentes residenciais.

## 2 MÓDULO DE REABILITAÇÃO PREFABRICADO

### 2.1 Aspetos Gerais

O módulo MRP foi desenvolvido a partir do sistema tradicional de revestimento descontínuo prefabricado. No entanto foi projetado de modo a permitir a integração de tubagens pelo interior do módulo. A espessura de isolamento a aplicar foi otimizada e foi desenvolvido um sistema de montagem que permite uma aplicação e remoção simples, baseado na introdução de perfis-U em aço, em ambos os lados do módulo, e uma estrutura de suporte com um sistema de pernos e furos, aparafusada à parede existente (Figura 1).

As dimensões de cada módulo são de cerca de 1 m x 1 m e o seu peso de 12 kg/m<sup>2</sup>. Estas dimensões foram selecionadas a fim de facilitar o seu transporte e aplicação.

Após o estudo e teste de várias alternativas de design, a composição da solução MRP é a seguinte (do exterior para o interior): acabamento exterior de compósito de alumínio (6 mm); isolamento de aglomerado negro de cortiça (60mm); perfil-U em aço (1,5 mm); isolamento de poliestireno extrudido (XPS – 120 mm) com ou sem tubagens ou cavidades moldadas para tubagens e cablagens; barreira pára-vapor (1 mm).

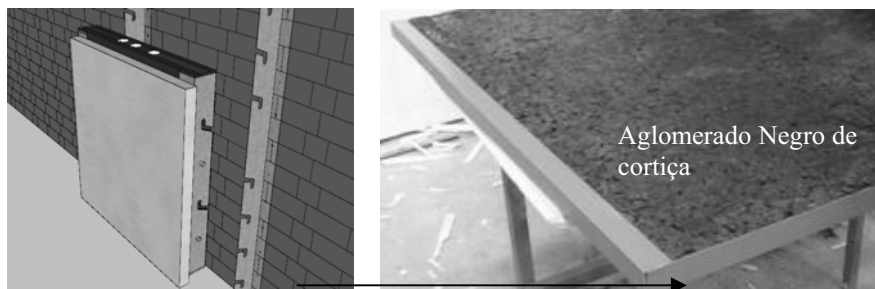


Figura 1. Módulo de Reabilitação Prefabricado.

O perfil-U aplicado no módulo MRP tem incluído no mesmo diversos rasgos e saliências, introduzidos a uma determinada distância entre os mesmos, cujo objetivo é a sua aplicação numa estrutura de suporte (Figura 2).

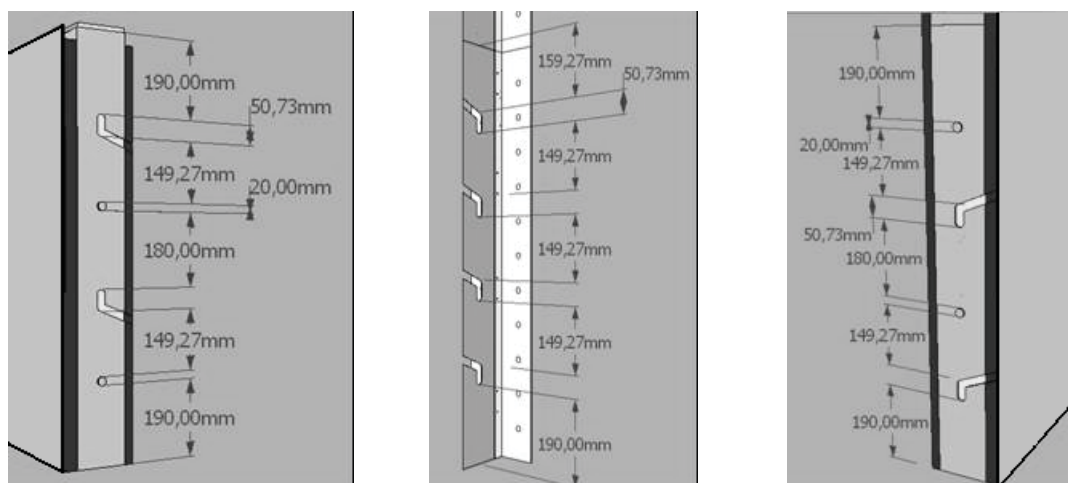


Figura 2. Dimensões dos perfis laterais dos módulos e da estrutura de suporte.

## 2.2 Detalhes Construtivos

A solução MRP terá uma espessura total de 18,8 cm e um peso total de, aproximadamente, 12 kg/m<sup>2</sup>. Com a aplicação deste sistema de reabilitação é esperado que a resistência térmica das paredes da envolvente exterior dos edifícios irá aumentar em cerca de 4ºm<sup>2</sup>.°K/W, considerando o valor médio ponderado de resistência térmica resultante da resistência térmica da zona corrente, a resistência térmica da zona de tubagens e a resistência térmica da zona da estrutura de suporte. A Figura 3 apresenta o esquema com a composição da solução MRP.

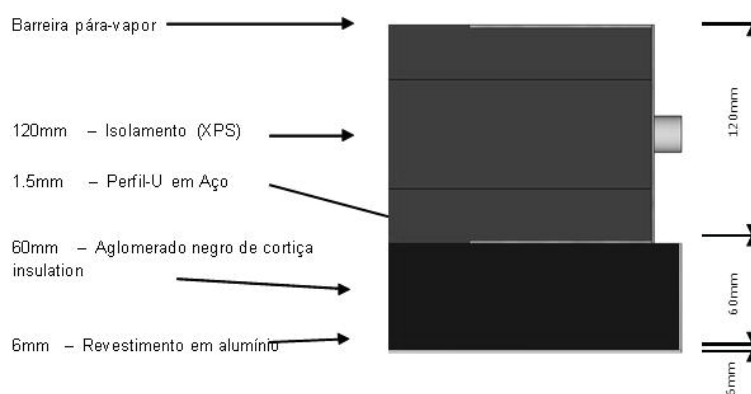


Figura 3. Composição do MRP.

Em termos gerais foram estudadas três diferentes soluções para o módulo MRP consoante corresponda a uma zona corrente da envolvente a), uma zona com tubagens existentes ou passagem de cablagens b), ou uma zona para aplicação de novas tubagens c), conforme apresentado na Figura 4.

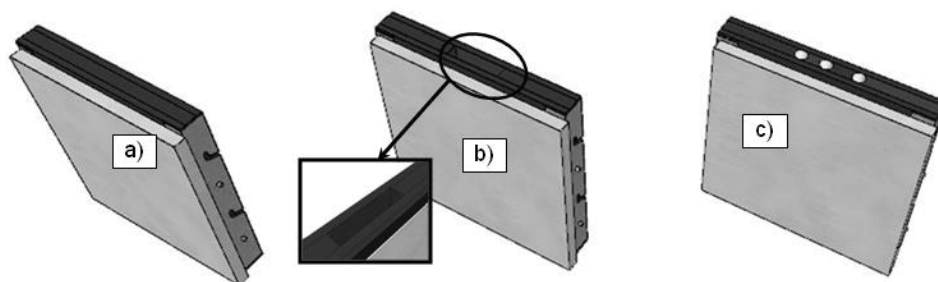


Figura 4. Soluções existentes para o módulo MRP – a) base; b) com orifício para tubagens existentes ou cablagens; c) com tubagens novas.

### 2.3 Interfaces com os edifícios

A ligação do módulo à parede existente será efetuada através da colocação de uma subestrutura metálica que permite a fixação mecânica do módulo. A subestrutura de suporte é composta por uma chapa de aço em “T”, com 1,5 mm de espessura. A sua ligação à fachada existente é feita por parafusos colocados na subestrutura. Por outro lado, e de forma a reduzir as pontes térmicas da ligação entre módulos, o revestimento exterior e o isolamento exterior serão desfasados em 15mm, como mostra a Figura 6.

A Figura 5 ilustra a colocação do módulo na estrutura de suporte instalada na parede exterior do edifício a reabilitar. Os módulos são colocados da direita para a esquerda, começando da base da fachada até ao topo.

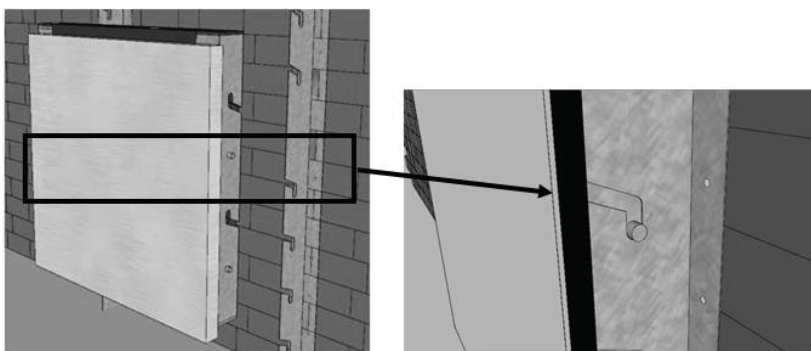


Figura 5. Sistema de encaixe do módulo na subestrutura.

Os orifícios das peças laterais da subestrutura tanto permitem a fixação à parede existente da subestrutura assim como do módulo de reabilitação prefabricado, diminuindo assim a carga exercida sobre a estrutura de suporte e módulos colocados inferiormente.

Os pernos na lateral do módulo encaixam na estrutura de suporte e na ranhura do módulo que se encontra imediatamente ao lado (Figura 6).

Os módulos utilizam um sistema de pernos e ranhuras para a ligação lateral (Figura 6) e a ligação do topo e base é feita por encaixe simples, resultando das características geométricas do módulo, ou seja, devido à existência de uma diferença entre o alinhamento do núcleo do módulo e o revestimento de alumínio.

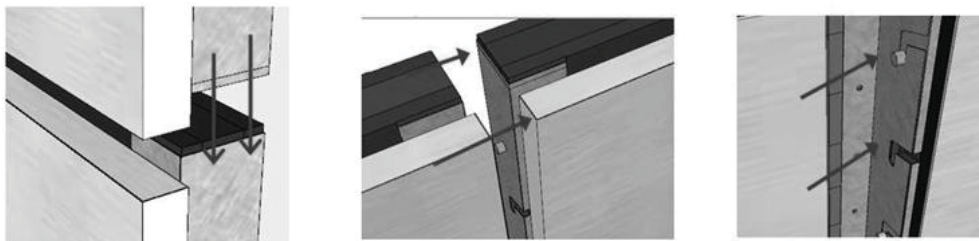


Figura 6. MRP: Ligação lateral entre módulos.

### 3 ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO MRP

#### 3.1 Simulação Energética

As ferramentas de simulação permitem verificar, em fases iniciais de desenvolvimento de novos sistemas, o seu desempenho energético de uma forma rigorosa. Como tal, foram aplicadas diferentes ferramentas de simulação a dois casos de estudo – Habitação unifamiliar e multifamiliar – com vista a verificar o desempenho energético obtido com a aplicação do módulo MRP.

#### 3.2 Caso de Estudo 1 – Moradia em Braga

Com vista à otimização do desempenho energético do módulo de reabilitação prefabricado, foi simulado um edifício de habitação unifamiliar situado em Braga, com apenas um piso, apresentando uma tipologia T3, com 54 m<sup>2</sup> de área útil (Figura 7), através da aplicação da ferramenta de simulação eQuest® [8],

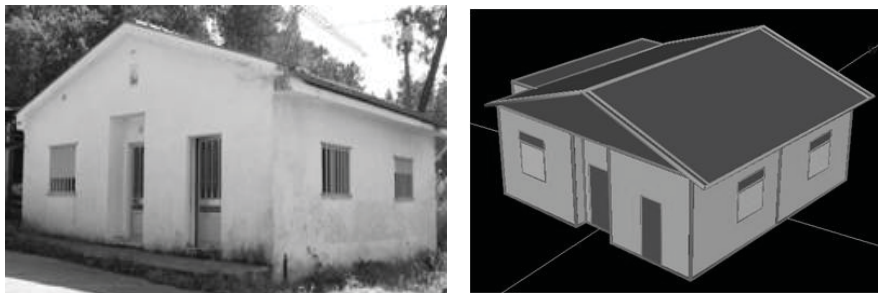


Figura 7. Fotos do caso de estudo: Esquerda – Fotografia; Direita – modelo 3D da simulação.

A verificação do desempenho do módulo MRP consistiu na simulação das necessidades energéticas do edifício original, assim como com a aplicação da solução MRP.

O edifício original apresenta um coeficiente de transmissão térmico para as paredes exteriores de 1,9 W/m<sup>2</sup>°C. Com a aplicação do módulo de reabilitação foi possível reduzir este valor para 0,2 W/m<sup>2</sup>°C.

Os resultados obtidos nas simulações energéticas mostram uma redução significativa das necessidades energéticas, como apresentado na Tabela 1. É possível observar um pequeno aumento das necessidades energéticas de arrefecimento, uma vez que o aumento do nível de isolamento do edifício requer uma maior tempo para o edifício arrefecer. Este problema é agravado quando ocorrem muitos dias quentes consecutivos. Contudo, as necessidades de arrefecimento são insignificantes quando comparadas com as necessidades totais, não sendo por isso um problema real.

Tabela 1. Necessidades Energéticas.

| Necessidades Energéticas [kWh/m <sup>2</sup> .ano] | Edifício Original | Edifício com aplicação da solução MRP |
|----------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|
| Aquecimento                                        | 267.4             | 219.8                                 |
| Arrefecimento                                      | 0.4               | 0.04                                  |
| Total                                              | 267,8             | 219,9                                 |

A aplicação do módulo de reabilitação permitiu uma importante redução do coeficiente de transmissão térmico das paredes exteriores, resultando assim numa redução de cerca de 14% das necessidades energéticas globais do edifício inicial.

### 3.3 Caso de Estudo 2 – Edifício Multifamiliar

De forma a verificar o desempenho da aplicação do módulo MRP em edifícios multifamiliares, foi simulado um edifício em Guimarães, composto por dois blocos com cinco pisos: uma cave semienterrada não climatizada, três pisos com quatro apartamentos T2 cada, sótão com quatro apartamentos T1, sendo a restante área não climatizada, como apresentado nas figuras 8 e 9.



Figura 8. Caso de estudo 2 - Fachada a SE, NE e SW, respetivamente.

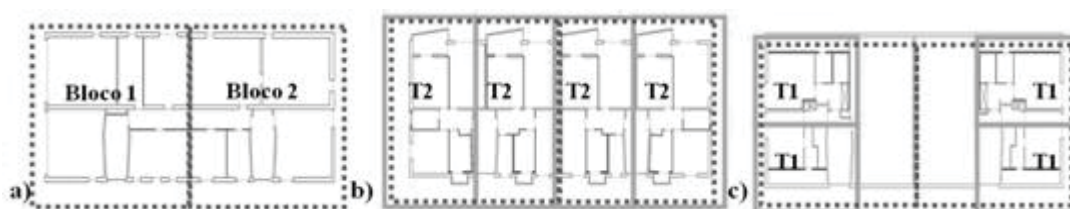


Figura 9. Plantas do edifício original: a) Cave; b) Pisos; c) Sótão.

Para este caso foi considerado o edifício original e considerada a colocação do módulo de reabilitação prefabricado nas paredes exteriores do edifício.

A modelação do edifício ilustrada na Figura 10 foi executada através da ferramenta DesignBuilder [9].

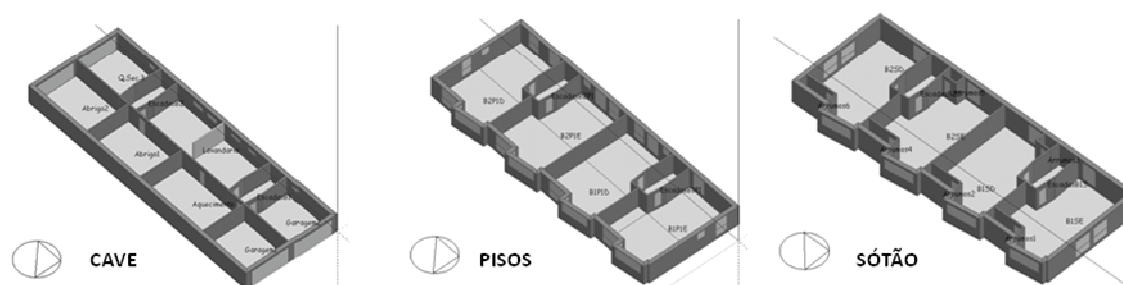


Figura 10. Modelação dos pisos com o DesignBuilder.

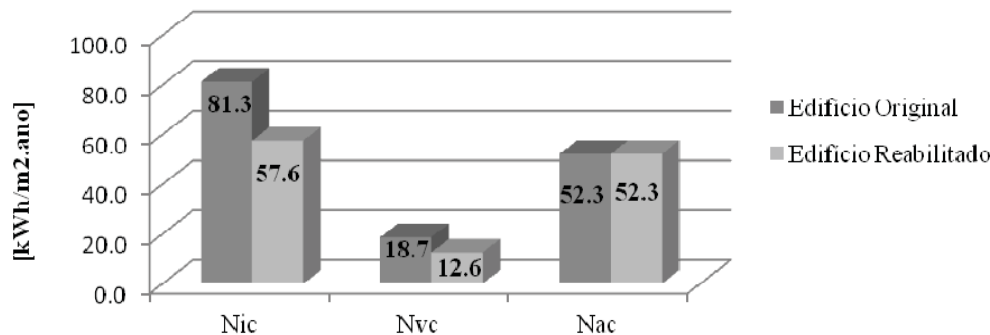
Após a modelação do edifício na ferramenta DesignBuilder os ficheiros foram exportados para a ferramenta de simulação EnergyPlus [10] e foram executadas as simulações energéticas do edifício reabilitado com a aplicação dos módulos de reabilitação prefabricados.

Os resultados obtidos após a simulação encontram-se resumidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados obtidos para o edifício multifamiliar reabilitado

| Necessidades Energéticas [kWh/m <sup>2</sup> .ano] | Edifício Original | Edifício com aplicação da solução MRP |
|----------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|
| Aquecimento                                        | 81,3              | 57,6                                  |
| Arrefecimento                                      | 18,7              | 12,6                                  |
| Total                                              | 100,0             | 70,1                                  |

Com os valores obtidos para o edifício antes da reabilitação e os valores obtidos após a implementação das soluções de reabilitação incluindo a aplicação do Módulo de Reabilitação Prefabricado, foram calculadas as Necessidades de Energia Primária (Ntc) de cada um dos casos, sendo os resultados apresentados na Figura 11.



\*Onde: Nic – Necessidades nominais de aquecimento; Nvc – Necessidades nominais de arrefecimento; Nac – Necessidades nominais de aquecimento de águas sanitárias

Figura 11. Necessidades nominais de aquecimento (Nic), de arrefecimento (Nvc) e de produção de águas quentes sanitárias (Nac).

Comparando os resultados obtidos para o edifício antes e após a reabilitação verifica-se que as necessidades de aquecimento foram reduzidas em cerca de 29%, as necessidades de arrefecimento também reduziram 32,4%, as necessidades para aquecimento das águas sanitárias mantiveram-se uma vez que a colocação do painel na fachada do edifício não tem influência sobre este parâmetro e as necessidades de energia primária sofreram uma redução de aproximadamente 5,6%.

A reabilitação do edifício aplicando o Módulo de Reabilitação Prefabricado na fachada permite a redução do tempo de execução da obra, redução do incómodo causado aos moradores, redução dos custos associados à mão-de-obra, maior garantia de qualidade do produto utilizado e redução dos resíduos existentes no local da obra.

#### 4 CONCLUSÕES

O Módulo de Reabilitação Prefabricado foi pensado tendo em conta as necessidades que atualmente emergem no mercado da reabilitação: qualidade, versatilidade, eficiência, rapidez de execução e montagem, baixo custo, baixa incomodidade para os utilizadores do edifício em causa, questões ambientais.

O painel é composto por materiais leves, tem uma dimensão de 1,0 x 1,0 m e um peso de 12 kg/m² o que permite uma maior facilidade de transporte, manuseamento e montagem. Possui uma estrutura de suporte que é fixada à fachada onde o painel é posteriormente encaixado.

Através dos estudos sobre o desempenho energético com a aplicação do módulo MRP em paredes de fachada de um edifício unifamiliar e um edifício multifamiliar, foi possível verificar que apenas com a introdução da solução MRP conseguem-se reduções nas necessidades energéticas entre 14 a 30%, ou seja, é possível reduzir significativamente a energia gasta para garantir o conforto térmico no interior das habitações.

#### AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado com fundos FEDER através do Programa Operacional de Fatores de Competitividade - COMPETE e fundos nacionais, através da FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do projeto FCOMP-01-0124-FEDER-007189. O autor Pedro Silva foi financiado pela FCT e DST, SA através da bolsa de investigação SFRH / BDE / 15599/2006, cofinanciada pelo Programa Ope-

racional Potencial Humano da União Europeia POPH - QREN - Tipo 4.1 - Formação Avançada, e pelo Fundo Social Europeu e o MCTES fundos nacionais.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Eurostat, Europe in figures - Eurostat yearbook 2010, European Union, 2010;
- [2] B. Poel, G. van Cruchten, C.A. Balaras, Energy performance assessment of existing dwellings, *Energy and Buildings* 39 (2007) 393-403;
- [3] C. Balaras, K. Droutsas, E. Dascalaki and S. Kontoyiannidis, Deterioration of European apartment buildings, *Energy and Buildings* 37 (2005) 515-527;
- [4] DGGE. A Energia, os Recursos Geológicos e a Economia - Balanços Energéticos 1990 - 2003, Direcção Geral de Geologia e Energia, 2005;
- [5] IEA Energy Balances. IEA Energy Statistics, International Energy Agency, 2002;
- [6] Euroconstruct. Country of the Month – Portugal. August, 2005;
- [7] A. Baio Dias, A. Serra e Sousa. Manual de Alvenaria de Tijolo – 2ª Edição. APICER e CTCV. Outubro, 2009;
- [8] J. Hirsch. eQuest – Introductory Manual. James J. Hirsch, 2003.
- [9] DesignBuilder 1.5 User Manual, DesignBuilder Software, Ltd., 2008
- [10] EnergyPlus Manual Version 2.2, United States Department of Energy, 2008

# Reabilitação Integrada de Edifícios

**Pedro Silva**

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*  
*psilva@civil.uminho.pt*

**Manuela Almeida, Luís Bragança**

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*  
*malmeida@civil.uminho.pt; braganca@civil.uminho.pt;*

**Vasco Mesquita**

*DST, S.A., Rua de Pitancinhos, apartado 208, Palmeira, 4711-911 Braga, Portugal*  
*Vasco.Mesquita@dstsgps.com*

**Resumo:** Considerando o baixo desempenho energético do parque habitacional existente Português, em adição à redução das possibilidades de construção ou aquisição de novas moradias ou apartamentos, em resultado da atual crise económica Europeia e da maior dificuldade na obtenção de créditos bancários, verifica-se uma maior importância na Reabilitação de Edifícios. No entanto, as intervenções correntes no parque habitacional são, maioritariamente, ações apenas de manutenção e conservação, visto existir ainda um desconhecimento generalizado das vantagens da reabilitação energética. Adicionalmente, mesmo considerando as intervenções que implementam ações de reabilitação energética, estas são focadas em apenas elementos individuais, resultando em ligeiras melhorias do desempenho energético e como tal, elevados períodos de amortização do investimento. Este artigo, apresenta uma nova abordagem para a reabilitação energética de edifícios, a qual aposta em ações integradas, onde se apresentam intervenções para responderem a todos os elementos

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Enquadramento

As alterações climáticas são um dos principais desafios que a nossa civilização tem de enfrentar. Neste momento, já é possível observar uma clara associação entre as alterações climáticas e as emissões de gases de efeito estufa (GEE), as quais têm como principais fontes a produção e uso de energia. Para resolver este problema várias medidas têm sido tomadas a nível mundial para promover a eficiência energética e expandir o uso de energia proveniente de fontes renováveis, através da consciencialização do público, novos regulamentos e outras ações concertadas [1,2].

Considerando que, por exemplo, no panorama europeu, o parque imobiliário existente é responsável pelo consumo de 33% de matérias-primas, 50% da utilização de eletricidade, 16% da energia final em edifícios residenciais e 10% em edifícios de escritórios, é possível verificar que este setor é de intervenção prioritária [3,4,5].

Na última década surgiram várias normas Internacionais, com níveis crescentes de exigência. Por exemplo, a mais recente atualização da Diretiva Europeia do Desempenho Energético dos Edifícios [6] define a estratégia de 20-20-20, estabelecendo metas que todos os Estados membros da UE devem cumprir até 2020. Os Estados membros devem também preparar planos nacionais para garantir que os novos edifícios têm um balanço energético quase zero (NZEB) até 2020, incluindo uma definição do conceito NZEB refletindo o contexto nacional, regional ou local. Mesmo que o conceito NZEB ainda não esteja totalmente esclarecido, a UE recomenda uma abordagem em duas fases, ou seja, a aplicação de medidas de conservação e eficiência energética até um nível otimizado, sendo que a supressão das restantes necessidades de energia, devem ser conseguidas pela introdução de sistemas de produção de energia renovável, no local [7, 8, 9].

Em Portugal, o parque imobiliário existente é de 3 160 043 edifícios, os quais são responsáveis por 30,5% do consumo total de energia [10,11]. A redução dessa parcela de consumo de energia é um dos principais objetivos das autoridades nacionais, devido à excessiva dependência energética nacional, já que 79,2% de toda a energia consumida em Portugal é importada [12]. Adicionalmente, mais de 80% do parque imobiliário residencial foi construído antes de 1990 (ano da publicação do primeiro regulamento na área do comportamento térmico de edifícios) [13] e, portanto, devido à falta de exigências térmicas aquando da sua conceção e construção, estes edifícios apresentam elevados consumos energéticos quando se querem garantir as condições de conforto mínimo.

Por outro lado, o estado de degradação de uma grande parte do parque imobiliário Português assume proporções que podem ser considerados alarmantes, com 40% do parque imobiliário apresentando necessidades de reparação [14]. Tal provoca uma redução na qualidade de vida dos cidadãos e uma deterioração do património construído, enquanto memória coletiva. Em Portugal, nos últimos anos, a conservação e reabilitação dos edifícios apenas representou 20% do investimento total realizado no sector da construção, enquanto a média da União Europeia é de cerca de 40% [14]. No entanto, tendo em consideração o estado de conservação dos edifícios Portugueses, recentemente foi realizado um estudo das potencialidades do mercado de renovação, o qual previu que o mercado da reabilitação em Portugal em 2010 ascendesse a 74617 milhões de € [15].

Como tal, é previsível que o setor da reabilitação em Portugal apresente um crescimento significativo. No entanto, para que o setor apresente um crescimento sustentado é necessário o desenvolvimento de novas soluções e métodos de intervenção que possam servir de base para intervenções otimizadas em termos da relação custo/benefício e resultar assim em intervenções de alta qualidade contribuindo para a redução do consumo energético do parque habitacional.

## 2 REABILITAÇÃO INTEGRADA

### 2.1 *Aspetos Gerais*

Mesmo tendo em consideração as previsões do crescimento do mercado da reabilitação em Portugal, este é ainda considerado como demasiado caro ou ineficaz. Tal deve-se essencialmente ao facto de a prática corrente das intervenções nos edifícios existentes serem maioritariamente:

- Ações de manutenção da envolvente do edifício, as quais não aumentam o desempenho energético do mesmo;
- Ações isoladas de melhoria da envolvente ou sistemas, as quais podem aumentar o desempenho energético do edifício;
- Demolição e reconstrução. Tal resulta assim em edifícios novos com, potencialmente, desempenhos energéticos elevados, mas que apenas pode ser realizado em edifícios devolutos ou quando os inquilinos aceitem um realojamento temporário.

Relativamente às ações isoladas de melhoria da envolvente, estas podem contemplar o isolamento e impermeabilização de coberturas e fachadas, substituição de envidraçados, ou substituição / aplicação de equipamentos para aquecimento ou arrefecimento ambiente. Estas intervenções podem levar ao aumento do desempenho energético do edifício, no entanto ou têm tempos excessivos de aplicação, ou o seu ligeiro aumento de desempenho energético traduz-se em tempos de amortização do investimento muito elevados.

Como tal, este tipo de intervenções ainda não são aceites como mais-valias para os edifícios, sendo ainda as intervenções mais correntes na envolvente dos edifícios apenas baseadas na conservação e manutenção das mesmas.

A reabilitação integrada, ao contrário das típicas intervenções de reabilitação de edifícios executadas em Portugal, consiste na melhoria de vários aspetos do edifício durante a mesma intervenção, como por exemplo, isolamento da fachada, pavimento e cobertura, introdução de melhores envidraçados, colocação de painéis solares, etc. Tal permite reduzir o tempo de intervenção, reduzindo os custos inerentes à mão-de-obra e a incomodidade causada aos utilizadores do edifício.

Assim é aconselhado que no estudo realizado para a execução de uma intervenção de reabilitação, sejam verificadas as possibilidades de aplicação de medidas de melhoria ligadas à envol-

vente do edifício e dos seus sistemas e equipamentos mecânicos, mas também a aplicação de sistemas baseados em energias renováveis.

Tal permite reduzir o tempo de intervenção, quando comparados com a duração total de aplicação das mesmas medidas mas de forma independente, reduzindo assim os custos inerentes à mão-de-obra e a incomodidade causada aos utilizadores do edifício.

Para tal, é necessário verificar quais são os aspetos mais relevantes do edifício em questão que condicionem o seu desempenho energético, como o isolamento das fachadas, coberturas e pavimentos, infiltrações de ar, qualidade dos envidraçados e sistemas. Depois de identificados todos os pontos, projeta-se uma intervenção de reabilitação integrada onde todos estes parâmetros vão ser melhorados em conjunto, resultando assim em edifícios com desempenhos muito elevados, semelhantes ou ainda melhores que os dos edifícios novos.

O objetivo final é assim dotar os edifícios existentes de uma eficiência energética e conforto próximos dos edifícios novos de baixo consumo; aumentar a qualidade da construção; otimizar os custos; diminuir o tempo de intervenções com o mínimo de distúrbios para os moradores.

### 3 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO CONCEITO DE REABILITAÇÃO INTEGRADA

#### 3.1 *Casos de estudo*

Para demonstrar a aplicação bem como as potencialidades da reabilitação integrada, foram estudados dois exemplos de aplicação desta metodologia, com diferentes aproximações para o estudo das medidas de melhoria a aplicar, assim como de diferentes tipologias:

- Edifício multifamiliar em Guimarães – Edifício Elfenau;
- Edifício unifamiliar em Braga – Aldeia de Leste;

Em ambos os casos de estudo o processo de reabilitação do edifício contou com a aplicação do módulo de reabilitação prefabricado MRP (Figura 1), desenvolvido no âmbito deste projeto, visto que a aplicação deste tipo de soluções é essencial para reduzir ao mínimo o tempo necessário para a conclusão da totalidade da intervenção de reabilitação.



Figura 1. Módulo de Reabilitação Prefabricado (MRP).

#### 3.2 *Edifício multifamiliar Elfenau*

O edifício multifamiliar utilizado neste estudo foi simulado considerando-se que se situava em Guimarães. Este edifício é composto por dois blocos com cinco pisos cada: uma cave semienterrada não climatizada, três pisos com quatro apartamentos T2 cada, um sótão com quatro apartamentos T1. A restante área é não climatizada. As figuras 2 e 3 mostram fotografias e plantas do edifício em causa.



Figura 2. Caso de estudo 2 - Fachada a SE, NE e SW, respetivamente.

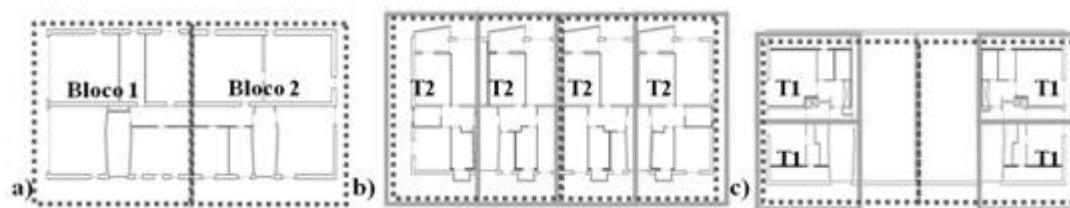


Figura 3. Plantas do edifício original: a) Cave; b) Pisos; c) Sótão.

Para o estudo da aplicação do conceito de reabilitação integrada foram consideradas diversas medidas de melhoria da envolvente, dos sistemas existentes e de aproveitamento de energias renováveis. Foi de seguida estudado o impacto da aplicação dessas medidas no desempenho energético do edifício e avaliado o período de retorno simples do investimento que seria necessário fazer para as implementar.

As soluções de reabilitação consideradas consistiram na aplicação dos módulos MRP em toda a envolvente, no aproveitamento das varandas fechando-as com envidraçados, na criação de caixas de elevador, na colocação de painéis solares para aquecimento das águas sanitárias, na introdução de módulos de cobertura plana no sótão para aplicação dos painéis solares; na introdução de sistemas de ventilação mecânica e na colocação de isolamento nos elementos da envolvente em contacto com os espaços não aquecidos.

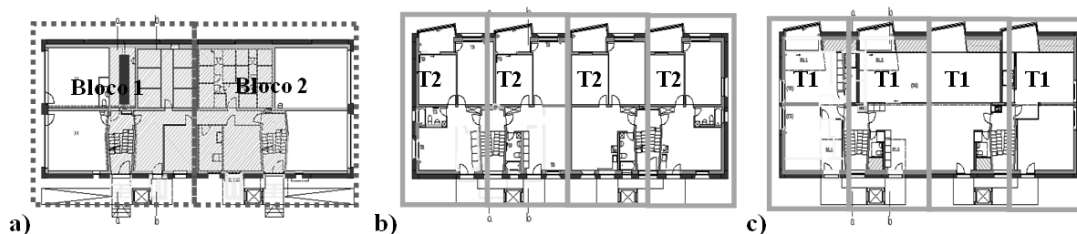


Figura 4. Plantas do edifício reabilitado: a) Cave; b) Pisos; c) Sótão.

Os dados relativos às características da envolvente e sistemas do edifício, antes e após a intervenção, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características do Edifício Multifamiliar.

|                        |                                     | Edifício Original | Edifício Reabilitado |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------|----------------------|
| Área do edifício       | Bruta [m <sup>2</sup> ]             | 565               | 782,5                |
|                        | Útil [m <sup>2</sup> ]              | 452               | 635                  |
| Sistema de aquecimento | Eficiência [%]                      | 80                | 90                   |
|                        | U [W/m <sup>2</sup> .°C]            | 2,90              | 1,10                 |
| Envidraçados           | Factor Solar Inverno                | 0,65              | 0,45                 |
|                        | Factor Solar Verão                  | 0,26              | 0,17                 |
|                        | Cave – U [W/m <sup>2</sup> .°C]     | 2,55              | 0,208                |
| Paredes Exteriores     | Pisos – U [W/m <sup>2</sup> .°C]    | 1,19              | 0,190                |
|                        | Varandas – U [W/m <sup>2</sup> .°C] | 4,10              | 0,215                |

O aquecimento das águas sanitárias antes da reabilitação do edifício era feito através de uma caldeira a combustível líquido. Para a reabilitação do edifício foram colocados na cobertura painéis solares do tipo Compound Parabolic Concentrating (CPC) e as tubagens foram devidamente isoladas com 10mm de lã de rocha, mantendo-se como sistema de apoio a caldeira a combustível líquido. Os ganhos solares resultantes da colocação dos painéis solares foram calculados com auxílio do programa SOLTERM [16].

A nível da ventilação foi introduzido um sistema de ventilação mecânica com uma potência de 45W por ventilador e recuperador de calor com uma eficiência de 80%.

A modelação do edifício foi executada através da ferramenta DesignBuilder [17], tendo-se exportado o modelo anteriormente definido para a ferramenta de simulação EnergyPlus [18] e foram executadas as simulações energéticas do edifício original e com a aplicação das medidas de reabilitação referidas. Os resultados obtidos após a simulação encontram-se resumidos na Tabela 2.

Tabela 2. Necessidades energéticas do edifício multifamiliar original e reabilitado

| Parâmetros                     | Valor obtido [kWh/m <sup>2</sup> .ano] |                      |
|--------------------------------|----------------------------------------|----------------------|
|                                | Edifício Original                      | Edifício Reabilitado |
| Nic                            | 81,31                                  | 4,47                 |
| Nvc                            | 18,69                                  | 15,62                |
| Nac                            | 52,26                                  | 39,64                |
| Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano) | 5,40                                   | 3,50                 |

Comparando os resultados obtidos para o edifício antes e após a reabilitação verifica-se que as necessidades de aquecimento foram reduzidas em cerca de 95%, as necessidades de arrefecimento reduziram 16%, as necessidades para aquecimento das águas sanitárias diminuíram em cerca de 24% e as necessidades de energia primária sofreram uma redução de aproximadamente 35%.

### 3.3 Edifício unifamiliar – Habitação da Aldeia de Leste

O edifício de habitação unifamiliar utilizado neste estudo situa-se em Braga, tem apenas um piso, apresenta uma tipologia T3 e tem 54 m<sup>2</sup> de área útil (Figura 5).



Figura 5. Caso de estudo Habitação da Aldeia de Leste: fotografia (esq.); modelo 3D da simulação (dir.).

Para o estudo da aplicação do conceito de reabilitação integrada a este caso de estudo foi seguida a seguinte estratégia:

- Determinação e aplicação da espessura ótima de isolamento a aplicar na envolvente;
  - Implementação de medidas de melhoria de eficiência energética na envolvente e nos sistemas;
  - Implementação de medidas de melhoria energética resultantes do uso de energias renováveis.
- Assim, o primeiro passo no estudo da reabilitação integrada consistiu na realização de um estudo paramétrico fazendo variar a espessura de isolamento do módulo MRP de modo a determinar qual a opção com melhor rácio custo-benefício. Para tal, foi feita uma análise económica detalhada com recurso ao VAL (valor atual líquido) e TIR (taxa interna de retorno) aplicados para um período de ciclo de vida da habitação de 18 anos.

De forma a obter as necessidades energéticas associadas a cada opção, foi utilizada a ferramenta de simulação dinâmica eQuest [19]. A tabela 3 apresenta os resultados obtidos para cada solução estudada.

Com a aplicação dos métodos de análise financeira TIR e VAL foram obtidos os resultados apresentados na Figura 6.

Tabela 2. Resultados da simulação energética e período de retorno associado às soluções de MRP testadas

| Solução  | Necessidades de Aquecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano] | Energia para aquecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano] | Fatura energética (€/ano) | Poupança (€/ano) | Período de retorno (anos) |
|----------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|
| Original | 267.4                                                 | 351.9                                              | 1874.1                    | -                | -                         |
| MRP1     | 219.0                                                 | 288.2                                              | 1534.7                    | 339.4            | 7.3                       |
| MRP 2    | 219.8                                                 | 289.2                                              | 1540.3                    | 333.8            | 6.9                       |
| MRP 3    | 225.6                                                 | 296.8                                              | 1580.9                    | 293.2            | 7.2                       |
| MRP 4    | 228.2                                                 | 300.3                                              | 1599.1                    | 275.0            | 7.3                       |
| MRP 5    | 231.5                                                 | 304.6                                              | 1622.3                    | 251.9            | 7.6                       |
| MRP 6    | 236.1                                                 | 310.7                                              | 1654.5                    | 219.6            | 7.9                       |
| MRP 7    | 240.5                                                 | 316.4                                              | 1685.3                    | 188.8            | 8.2                       |
| MRP 8    | 243.9                                                 | 320.9                                              | 1709.1                    | 165.0            | 8.8                       |
| MRP 9    | 246.3                                                 | 324.1                                              | 1726.0                    | 148.1            | 9.2                       |

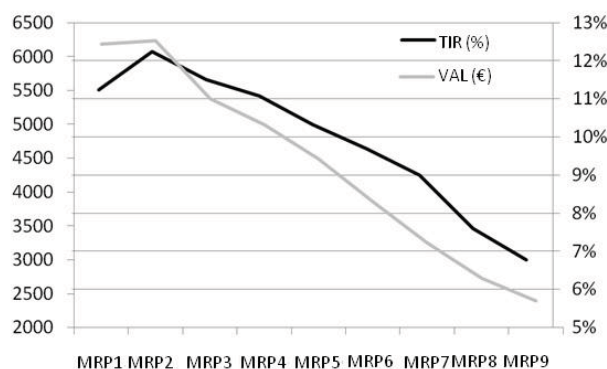


Figura 6. TIR e VAL para as diferentes soluções do MRP estudadas.

Analisando tanto os resultados obtidos para o VAL e TIR como o próprio período de retorno simples, é possível concluir que a melhor opção para este caso será a solução MRP 2, a qual apresenta 12 cm de isolamento XPS e 5 cm de isolamento de aglomerado negro de cortiça. Como tal, esta foi a solução escolhida para utilizar na reabilitação do edifício.

Uma vez selecionada a melhor solução no que se refere ao painel MRP, foram de seguida implementadas todas as medidas de melhoria da envolvente e dos sistemas, ou seja, a aplicação do módulo MRP, o isolamento da cobertura e pavimento, a aplicação de um sistema de aquecimento ambiente e de AQS e a colocação de uma caldeira de condensação. De forma a calcular as necessidades energéticas associadas a esta intervenção foi utilizada novamente a ferramenta de simulação dinâmica eQuest [19] e obtidos os resultados mostrados na tabela 3.

Tabela 3. Necessidades energéticas obtidas por simulação energética

| Solução                | Necessidades Energéticas [kWh/m <sup>2</sup> .ano] |               |      | Redução Energética [%] |               |     |       |
|------------------------|----------------------------------------------------|---------------|------|------------------------|---------------|-----|-------|
|                        | Aquecimento                                        | Arrefecimento | AQS  | Aquecimento            | Arrefecimento | AQS | Total |
| Original               | 267.4                                              | 0.4           | 83.7 | -                      | -             | -   | -     |
| Reabilitação Integrada | 16.1                                               | 14.6          | 41.0 | 94                     | -97           | 51  | 80    |
| Apenas o MRP           | 219.8                                              | 0.04          | 83.7 | 18                     | 90            | 0   | 14    |

Por último, considerou-se a utilização de dois sistemas de energias renováveis, a fim de suprimir as restantes necessidades energéticas do edifício de modo a aproxima-lo o mais possível de um edifício de balanço energético nulo. Os sistemas considerados foram os seguintes:

- Coletores solares para AQS: área de coletor de 3,8 m<sup>2</sup> associado a um depósito de 300 l. Esta ação resulta na obtenção de 2058 kWh/ano para AQS;
- Painéis fotovoltaicos: área de coletor de 8,3 m<sup>2</sup> e uma potência nominal de 1.05 kW. Esta ação resulta numa produção de 1.312 kWh/ano de energia elétrica.

Considerando a contribuição dos coletores solares, as necessidades de AQS do edifício reduzem-se para apenas 3,5 kWh/m<sup>2</sup>.ano. Os balanços energéticos calculados tiveram como base o consumo de energia final, ou seja, as necessidades de energia associadas à eficiência dos sistemas utilizados. Este tipo de balanço é útil com vista a avaliar a energia real consumida para aquecimento, arrefecimento e AQS. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Balanço energético do caso de estudo

| Solução                                  |                        | Aquecimen-<br>to | Arrefecimento | AQS  | Total | PV   | Balanço<br>Energético |
|------------------------------------------|------------------------|------------------|---------------|------|-------|------|-----------------------|
| Energia Final<br>(kWh/m <sup>2</sup> .y) | Original               | 371.4            | 0.1           | 83.7 | 455.3 | 0.0  | 455.3                 |
|                                          | Reabilitação Integrada | 22.3             | 4.9           | 3.5  | 30.6  | 24.1 | 6.5                   |

Com a implementação da estratégia de reabilitação integrada, incluindo a aplicação do módulo MRP e sistemas de energia renováveis, é possível atingir uma redução das necessidades energéticas totais de 80%, dos quais 14% são devidos à aplicação da solução MRP, resultando numa solução final com um balanço energético quase nulo.

#### 4 CONCLUSÕES

A reabilitação integrada de um edifício para aumento do seu desempenho energético é uma opção com claras vantagens para dotar os edifícios de maior qualidade e conforto, com reduzir os períodos de amortização do investimento.

Nos casos estudados, optar por uma reabilitação integrada demonstrou ser uma oportunidade para dotar os edifícios de boas características térmicas, diminuindo substancialmente as suas necessidades energéticas e consequentemente o seu consumo energético. Para além de esta opção melhorar as condições de conforto dos utilizadores, a reabilitação traz benefícios a nível económico ao longo da vida útil do edifício uma vez que os gastos relativos à fatura energética ao logo desse período (manutenção) são reduzidos devido à redução dos consumos.

A aplicação de sistemas de reabilitação prefabricados em fachadas dos edifícios para além de reduzirem substancialmente as trocas térmicas através das mesmas vai resultar em ações com menores tempos de aplicação.

Ambos os edifícios vão apresentar necessidades energéticas muito reduzidas, sendo que o edifício unifamiliar apresenta um consumo de energia final quase zero.

#### AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado com fundos FEDER através do Programa Operacional de Fatores de Competitividade - COMPETE e fundos nacionais, através da FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do projeto FCOMP-01-0124-FEDER-007189. O autor Pedro Silva foi financiado pela FCT e DST, SA através da bolsa de investigação SFRH / BDE / 15599/2006, cofinanciada pelo Programa Operacional Potencial Humano da União Europeia POPH - QREN - Tipo 4.1 - Formação Avançada, e pelo Fundo Social Europeu e o MCTES fundos nacionais.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] SETO. Building for a sustainable future: Construction without depletion. The Institution of Structural Engineers, London, 1999.
- [2] IEA. Energy Performance Certification of Buildings: A policy tool to improve energy efficiency. OECD / IEA, Paris, 2010.
- [3] Eurostat, Europe in figures - Eurostat yearbook 2010, European Union, 2010.
- [4] B. Poel, G. van Cruchten, C.A. Balaras, Energy performance assessment of existing dwellings, *Energy and Buildings* 39 (2007) 393-403.
- [5] C. Balaras, K. Drousa, E. Dascalaki and S. Kontoyiannidis, Deterioration of European apartment buildings, *Energy and Buildings* 37 (2005) 515-527.
- [6] EPBD recast - European Commission. Energy Performance of Buildings Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010.
- [7] Torcellini, P.; Pless, S; Deru, M. and Crawley, D. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. National Renewable Energy Laboratory. Conference Paper NREL/CP-550-39833, June 2006.
- [8] European Commission. Nearly Zero Energy Buildings in Europe: Perspectives and Paths to 2020. Executive Agency for Competitiveness and Innovation of the European Commission. Brussels, June 2010
- [9] Jensen, O.M, Wittchen, K. B, Thomsen, K.E, EuroACE. Towards Very Low Energy Buildings. Hørsholm. Danish Building Research Institute SBI 2009:03.
- [10] ADENE, Guia da Eficiência Energética.(Guide for Energy Efficiency), Agência para a Energia. Algés, Portugal, 2010.
- [11] DGEG. National Energy Characterization. Ministry of Economy and Employment. Portugal, 2010.
- [12] Key World Energy Statistics. OECD/IEA. Internacional Energy Agency. France, 2010.
- [13] INE, Censos 2001, Instituto Nacional de Estatística (National Institute of Statistics). Lisbon, 2001 ([www.ine.pt](http://www.ine.pt)).
- [14] Euroconstruct. Country of the Month – Portugal. August, 2005  
([http://www.euroconstruct.org/service/cotm/portugal08\\_05/country\\_otm.php](http://www.euroconstruct.org/service/cotm/portugal08_05/country_otm.php)).
- [15] Paes Afonso, F.; Martins, B.; Vital, C.; Adão, D.; Neves, F.; Martins, L.; Ramalho, M. O Mercado da Reabilitação: Enquadramento, Relevância e Perspectivas (Rehabilitation Market:: Background, Relevance and Prospects). AECOPS, Lisbon, 2009.
- [16] SOLTERM 5. Análise de desempenho térmico, económico e ambiental de Sistemas Solares. LNEG, 2010.
- [17] DesignBuilder 1.5 User Manual, DesignBuilder Software, Ltd., 2008
- [18] EnergyPlus Manual Version 2.2, United States Department of Energy, 2008
- [19] J. Hirsh. eQuest – Introductory Manual. James J. Hirsch, 2003.

# Modular Façade System for New Buildings and Refurbishment: Thermal Performance for Guimarães - Portugal

Luís Bragança

University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal  
braganca@civil.uminho.pt

Helenice Sacht

University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal  
hmsacht@civil.uminho.pt

Manuela Almeida

University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal  
malmeida@civil.uminho.pt

**ABSTRACT:** This paper reports the results of an investigation on a new modular façade system concept, especially on thermal performance of Trombe wall and glazing modules arrangement. Computational simulation was done with the Design Builder software having as object a room with different arrangements of façade modules. Two different double glazing types (composed by green solar control glass and low-e glass; self-cleaning glass and float clear glass) were considered for the climate of Guimarães in Portugal. The use of a façade with one and two combined modules of Trombe walls was studied for four solar orientations. Results obtained for heating energy needs were compared to all façade configurations. They indicated a decrease of heating energy needs by the use of one or two Trombe wall and double self-cleaning glass in the façade. These solutions presented a better performance in comparison with others types studied. The great majority of the façades combinations presented heating energy needs lower than the maximum allowed by the Portuguese regulation (RCCTE).

## 1 INTRODUCTION

Passive solar design can greatly increase the energy efficiency of a building. It includes a variety of strategies and technologies that use the free energy received from the sun for the purpose of heating and lighting building spaces. Trombe wall is one example of this kind of technology. This type of technology also can be used in building refurbishment.

An American named Edward Morse was the first to describe the Trombe wall concept in an patent (Morse, 1881) (Fig. 1a,b). Ahead of its time, it was not until 1972 that the idea was repatented and popularized by the French engineer Felix Trombe and the architect Jacques Michel (Trombe & Michel, 1972) (Fig. 2a,b). The Trombe wall is also known as a Trombe-Michel wall, solar wall, thermal storage wall, collector storage wall, or simply storage wall.

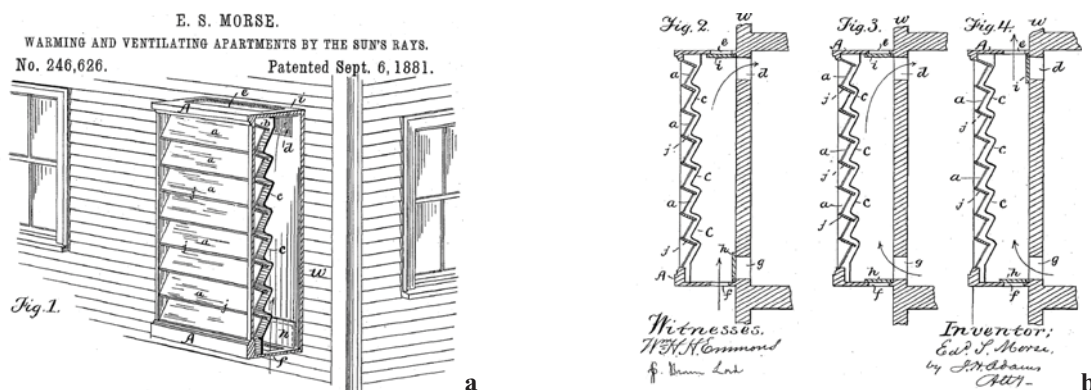


Figure 1a,b. Project to describe the Trombe wall concept according to Morse (1881).

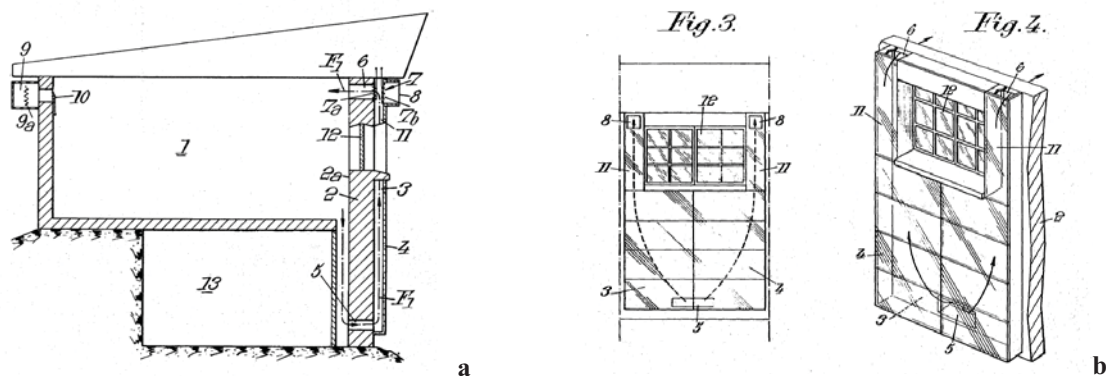


Figure 2a,b. Project to describe the Trombe wall concept according to Trombe & Michel (1972).

A typical Trombe wall consists of a 10- to 41-cm-thick, south facing wall with a dark, heat-absorbing material on the exterior surface and faced with a single or double layer of glass. The glass is placed from 2 to 5 cm from the massive wall to create a small airspace. Heat from sunlight passing through the glass is absorbed by the dark surface, stored in the wall, and conducted slowly inward through the wall. High transmission glass maximizes solar gains to the wall. As an architectural detail, patterned glass can limit the exterior visibility of the dark concrete wall without sacrificing transmissivity. For a 20cm-thick Trombe wall, heat will take about 8 to 10 hours to reach the interior of the building. It means that rooms warm slowly, reducing the need for conventional heating considerably (Torcellini & Pless, 2004).

The performance of Trombe walls is diminished if the wall interior is not open to the interior zones. Based on previous experiences with Trombe walls (Balcomb, et al. 1998; Balcomb et al. 1999) the heat delivered by a Trombe wall in a residence was reduced by over 40% because kitchen cabinets were placed on the interior of the wall. Trombe-wall has been used in decades as an efficient and durable solar heating method. The TW comprises a massive thermal wall and a clear glazing cover with an air duct in between. The surface of the massive wall is usually painted black to increase its absorptivity of solar radiation (Sun et al. 2011).

The apparent amenity of Portugal climate, lead to the non-existence of central heating or cooling systems in most part of the buildings, exceptions made for the service buildings. Gonçalves et al. (1997) developed a research entitled: “Passive Solar Buildings in Portugal: Experiences in the Last 20 years”. In this study presented some examples of Trombe wall uses. Vale Rosal (Fig. 3) is a residential building that has a Trombe wall whose area is 3,5m<sup>2</sup> and is located in Charneca da Caparica. Figure 4 presents another example of Trombe wall use in Portugal. This system is on the first floor and its function is capture, storage and heating distribution.



Figure 3. “Vale Rosal Building (Charneca da Caparica-Lisbon).  
Gonçalves et al. 1997.



Figure 4. “Casa Termicamente Optimizada” –  
South Façade, Porto.  
GONÇALVES et al. 1997.

According to Gonçalves et al. (1997), the Trombe walls in Portugal have areas of 2 to 6% of floor area (from 3.5m<sup>2</sup> up to 33m<sup>2</sup>). In some cases amounts to very significant areas in relation

to the size of the adjacent space, those usually are bedrooms and living rooms. A wall thickness of 15 to 40cm was found in this research. The majority of the walls do not have any vents and glazing used in most of them is single. In terms of summer protection, some use movable or fixed shading devices and others do not have any solar protection at all.

Bezian and Arnaud propose a system similar to the Trombe wall with parallelipedic spaces filled with water inside the collector wall (Imessad, et al. 2004). In the Barra-Constantini system (Barra & Pugliese Carratelli, 1979) the southern wall can be any conventional wall, e.g. concrete, bricks, stud wall, etc., but it requires a better external insulation. A solar collecting element is placed in front of the wall, (e.g. a number of metal lath layers or a corrugated metal sheet), covered by glazing.

In recent decades façade technologies have undergone to substantial innovations both in quality of materials/components and the overall design concept of the façade system by integrating specific elements to adapt the mediation of the outside conditions to user requirements. These improvements include passive technologies, such as multi layered glazing, sun protections, ventilation, Trombe walls, etc. (Castrillón, 2009) as shown previously.

The ideal goal for new façade system would be the development of a dynamic and flexible system in way to adapt to the climatic changes, to the occupants requirements and, however, to adapt to the building, intended for new buildings and refurbishment. An improvement would be the development of a suitable system that facilitates the assembly of the façade, containing passive elements, glazing and reception of solar energy to improve the comfort conditions in agreement with the climatic needs and be mounted in agreement with the solar orientations and wanted functions, as in the proposed system. This paper presents partial results of an ongoing investigation about glazing modules and Trombe wall modules of a new façade system (Sacht et al. 2010, Sacht, 2010).

## 2 METHODOLOGY

Computational simulation was carried out applying the DesignBuilder 1.8 software to analyze a case study, which consists of a room (25m<sup>2</sup>) with different arrangements of façade modules. Simulations were made considering the following parameters:

- (i) Two different double glazing types (composed by green solar control glass and low-e glass; self-cleaning glass and float clear glass);
- (ii) One or two Trombe walls;
- (iii) Four solar orientations (north, south, east and west)
- (iv) Two envelopes: a conventional Portuguese system (double masonry) and a light gauge steel framing system (LGSF);
- (v) Guimarães climate.

For validation purposes were compared the heating energy needs values obtained by thermal simulations with the ones calculated in accordance with the Portuguese thermal regulation for residential buildings, “Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios - RCCTE” (RCCTE, 2006).

For thermal performance simulation, Guimarães Portuguese climate were analyzed. Simulations were carried out for four solar orientations (north, south, east and west), considering the annual period, and the following parameters were used in the analysis (Table 1).

Table 1. Guimarães Climate.

| Climate   | Climatic Zone                      |                                    |
|-----------|------------------------------------|------------------------------------|
|           | Winter                             | Summer                             |
| Guimarães | I2                                 | V2                                 |
|           | Energy Needs                       |                                    |
|           | Heating (kWh/m <sup>2</sup> .year) | Cooling (kWh/m <sup>2</sup> .year) |
|           | 81.64                              | 18.00                              |
|           | Duration of Winter (months)        |                                    |
|           | 7,0                                |                                    |

## 2.1 Simulations of Thermal Performance

The "standard model" was defined considering a one-storey isolated cell, with regular geometry 5,0 x 5,0 (25 m<sup>2</sup>), a ceiling height of 2,80m, and a total dimension of 2,5 x 2,5 (6,25 m<sup>2</sup>) for the façade glazing modules composition. These dimensions followed the recommendations of the Portuguese Urban Building Regulation "Regulamento Geral das Edificações Urbanas" (RGEU, 2007). This isolated cell was simulated considering the implementation of one and two Trombe walls (Fig. 5 and Fig. 6).

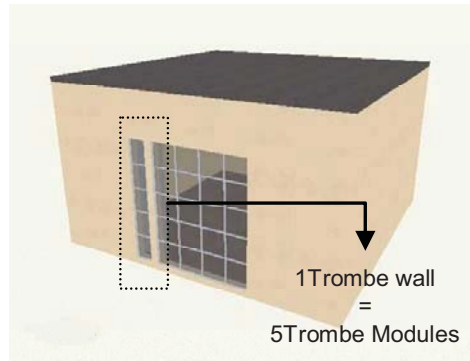


Figure 5. Model: One Trombe wall.

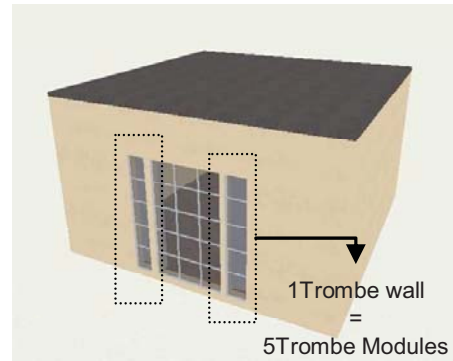


Figure 6. Model: Two Trombe walls.

For Trombe wall module in this façade system, it was considered the use of a double glazing with high shading coefficient. The double glazing has two panes composed by diamant glass 4mm (Saint-Gobain Glass) and 12mm air space, thus allowing maximum solar radiation penetration. A set of five Trombe modules makes a complete "Trombe wall". The area of a complete Trombe wall composed of five modules will be 0.5 x 2.50m (1.25m<sup>2</sup>). Superior and inferior modules have a ventilation opening whose area is 0.02m<sup>2</sup> (0.10x0.20m<sup>2</sup>). The operating time was considered for such openings from 9:00 to 18:00 for the winter, and during the summer, it was considered to remain closed during the day and open at night.

A Portuguese conventional construction system (double-wall masonry) and a light gauge steel framing system (LGSF) were considered in the model for the opaque envelope. The conventional system is composed by lightweight concrete slabs and insulation (stone wool), external walls in double masonry with interior insulation and cement mortar plaster. The LGSF envelope composition was based on the work of Santos et al. (2009). The light gauge steel framing system is also composed by lightweight concrete slabs and others insulation components (expanded polystyrene - EPS), and EIFS (External Insulation and Finish System), OSB boards, stone wool and gypsum plasterboard was used in the walls. Table 2 presents the overall heat transfer coefficient values - U-factor (W/m<sup>2</sup> °C) for Portuguese conventional construction system and light gauge steel framing system.

Table 2. Overall Heat Transfer Coefficient (W/m<sup>2</sup> °C)

| Element-Envelope | Heat Transfer Coefficient (W/m <sup>2</sup> °C) |                         |
|------------------|-------------------------------------------------|-------------------------|
|                  | Portuguese Conventional System                  |                         |
|                  | Total Thickness (cm)                            | U (W/m <sup>2</sup> °C) |
| External Walls   | 0.365                                           | 0.46                    |
| Roof Slab        | 0.280                                           | 0.55                    |
| Element-Envelope | Light Gauge Steel Framing System                |                         |
|                  | Total Thickness (cm)                            | U (W/m <sup>2</sup> °C) |
| External Walls   | 0.200                                           | 0.14                    |
| Roof Slab        | 0.333                                           | 0.22                    |

## 2.2 Glazing Types

Important factors must be observed in the glazing choose, such as: solar factor (or g-value), solar heat gain coefficient, shading coefficient, and visible transmittance, furthermore U-factor resultant of glazing composition. The glasses selected for the standard façade module simulations are from Saint-Gobain Glass. Table 3 presents the main properties of simple glasses.

Table 3. Glass types for standard module.

| Properties             | Glass Types             |          |          |                  |                          |         |
|------------------------|-------------------------|----------|----------|------------------|--------------------------|---------|
|                        | Cool Lite KNT 155 Green | Bioclean | Planilux | Planitherm Total | Planitherm Futur Ultra N | Diamant |
| Thickness (mm)         | 4 mm                    | 4 mm     | 4 mm     | 4 mm             | 4 mm                     | 4 mm    |
| Solar Factor           | 0.45                    | 0.84     | 0.85     | 0.66             | 0.63                     | 0.90    |
| Shading Coefficient    | 0.52                    | 0.97     | 0.98     | 0.78             | 0.72                     | 1.04    |
| Visible Transmittance  | 0.47                    | 0.87     | 0.90     | 0.85             | 0.88                     | 0.91    |
| U (W/m <sup>2</sup> K) | 5.75                    | 5.87     | 5.80     | 5.74             | 5.73                     | 5.80    |

These glasses were used in the computational simulations in Design Builder software to obtain heating energy needs to Guimarães climate. Furthermore, a 12mm air layer between outermost and inner panes was considered. It should be noted that these values were obtained from Window 6.2.33.0 software (LBNL, 2012). Table 4 presents the glazing compositions based on the glasses types presented in Table 3. In addition, Cool Lite KNT 155 is a temperable solar control glass; Planitherm Futur Ultra N is a glass with emissivity extremely low; Bioclean is a self-cleaning glass; Planilux is a multi-purpose clear float glass, and Diamant is a clear float glass.

Table 4. Glazing Properties.

| Properties                             | Glazing                      |              |                |
|----------------------------------------|------------------------------|--------------|----------------|
|                                        | Glazing 04                   | Glazing 07   | Trombe Glazing |
| Outermost Pane                         | Cool Lite KNT 155 Green 4mm  | Bioclean 4mm | Diamant 4mm    |
| Inner Pane                             | Planitherm Futur Ultra N 4mm | Planilux 4mm | Diamant 4mm    |
| U (W/m <sup>2</sup> K)                 | 1.66                         | 2.69         | 2.72           |
| Solar Factor                           | 0.28                         | 0.40         | 0.83           |
| Shading Coefficient                    | 0.33                         | 0.46         | 0.95           |
| Visible Transmittance (%)              | 0.42                         | 0.71         | 0.84           |
| Relative Heat Gain (W/m <sup>2</sup> ) | 217.72                       | 311.28       | 622.90         |

## 2.3 Reference Temperatures and Internal Gains

The Portuguese standard RCCTE (RCCTE, 2006) presents 4W/m<sup>2</sup> as an average value for the total internal gains (occupation, lighting and equipments). However, due to possibilities and simulation options offered by the software Design Builder, the internal gains were separated for the occupation, lighting and equipments (Tab. 5).

Table 5. Internal Gains (W/m<sup>2</sup>)

| Internal Gains | Values (W/m <sup>2</sup> )      | Details                                                                                                   |
|----------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Occupation     | 5,6 W/m <sup>2</sup> (2 people) | 70 W per person                                                                                           |
| Lighting       | 9,4 W/m <sup>2</sup>            | Illuminance (incidence): 300 lux; Fluorescent lamp (40 W); Efficiency 80 lm/W (40 % delivery efficiency). |
| Equipments     | 8 W/m <sup>2</sup>              | Equipment potency: 200 W.                                                                                 |

As RCCTE standard does not contemplate schedules (days of the week, hour and time) of occupation, lighting and equipments use for housing buildings, the values was obtained from Souza (2008). The value 20°C was considered as reference of heating indoor temperature (winter) and 25°C for cooling indoor temperature (summer), in agreement with RCCTE.

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

The heating energy needs for four solar orientations (north, south, east and west), considering the annual period, are presented for the climate of Guimarães. The analysis of the results were done based on the estimation of these values performed according the RCCTE energy calculation method.

#### 3.1 Heating Energy Needs

All façade types analyzed for Guimarães climate presented heating energy needs lower than the one calculated according to RCCTE (81.64 kWh/ m<sup>2</sup>.year) for the analyzed model (Fig. 7). The façade solution with Glazing 07 and 1 or 2 Trombe wall presented better results in comparison with the other façades types.

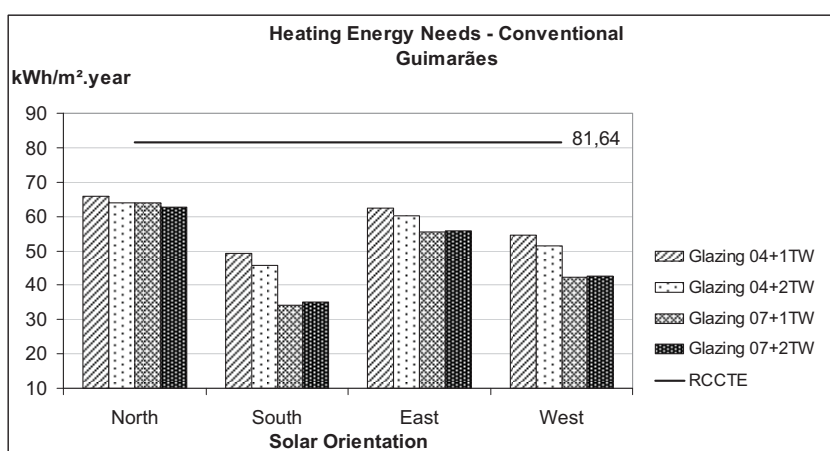


Figure 7. Guimarães: Heating Energy Needs for the Conventional System.

For northern orientation, the solutions variation did not show any significant differences between results. For southern solar orientation, the minimum energy consumption with the passive solutions was observed. The heating energy needs presented approximate values for the both analyzed envelopes for Guimarães climate.

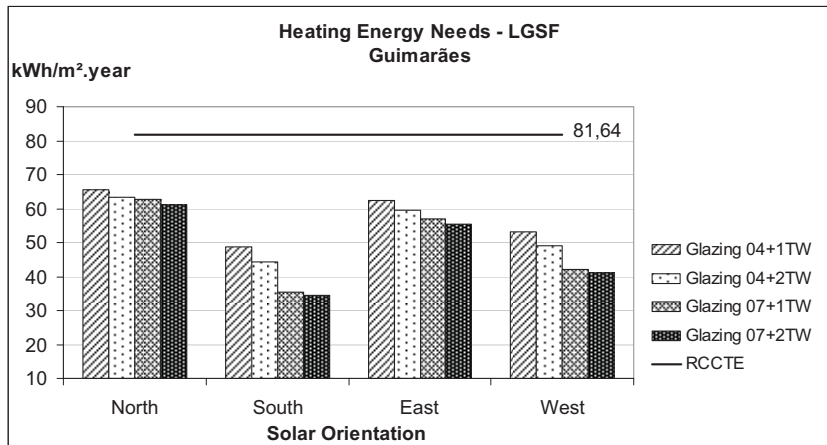


Figure 8. Guimarães: Heating Energy Needs for LGSF System.

#### 4 CONCLUSIONS

The energy simulations for the two glazing types and Trombe walls for the Guimarães climate were evaluated in this research. The results showed that all façade types presented heating energy needs lower than the maximum limits according to the Portuguese energy building performance regulation RCCTE. In this case, façades with Glazing 07 (Bioclean 4 mm - Planilux 4 mm) with one or two Trombe walls stood out due to the smallest heating energy need when compared with those others.

The heating energy needs values were similar to both of the analyzed envelopes. Practically, the results were identical for the use of one or two Trombe walls for glazing 07 results. For all climates, southern solar orientation presented the minimum energy consumption with the passive solutions incorporation.

According to RCCTE (RCCTE, 2006), the period in months of heating season for the Guimarães climate is 7 months. It means that during these months per year, heating is necessary to maintain comfortable conditions. Based on this and on the achieved results, the integration of passive heating solutions in the façade modules seems to be the adequate strategy proposal to the better performance and to decrease the heating energy needs.

However, it is important to be observed cooling energy needs, according to the climate. It is important to explain that better façades solution for heating energy needs can cause an energy consumption increases by 16-40% (on 32kWh/m².year) in cooling energy needs. It can be reduced using shading systems during the summer. That type of module will be foreseen in the façade system (Sacht et al. 2011).

Designbuilder software seems adequate to be used for thermal performance simulations of passive systems by the comparison of the results with calculated heating energy needs according to RCCTE (RCCTE, 2006).

## REFERENCES

- Balcomb, J. D.; Barker, G.; Hancock, C.E. 1998. An Exemplary Building Case Study of the Grand Canyon South Rim Residence. NREL/TP-550-24767, Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.
- Balcomb, J. D.; Hancock, C. E.; Barker, G. 1999. *Design, Construction, and Performance of the Grand Canyon House Golden, CO*. DE-AC36-98-GO10337. National Renewable Energy Laboratory.
- Barra, O. A., Pugliese Carratelli, E. 1979. A theoretical study of laminar free convection in I-D solar induced flows. *Solar Energy*. 23:211–5.
- Castrillón, R. D'A. 2009. *Integration of Active and Passive Systems in Glass Facades*. Technische Universität Berlin, Berlin, Germany. In: International Conference on Sustainable Energy Technologies, 8. Aachen. Germany: August 31st to 3rd September.
- Gonçalves, H.; Cabrito, P.; Oliveira, M.; Patrício, A. 1997. *Edifícios Solares Passivos em Portugal*. INETI.
- Imessad, K.; Ait Messaoudene, N.; Belhamel, M. 2004. Performances of the Barra–Costantini passive heating system under Algerian climate conditions. *Renewable Energy*. n. 29, pp 357–367.
- Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL). 2012. *Window 6.2.33.0*. [on line]. [Consult. 15 Fev. 2012]. Available in: <http://windows.lbl.gov/software/window/window.html>
- Morse, E. L. 1881. *Warming and Ventilating Apartments by Sun's Rays*. U. S. Patent 246,626.
- Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios* (RCCTE). 2006. Decreto-Lei n.º 80/2006: Diário da República - Série I-A n.º. 67. Lisboa: 4 de Abril.
- Regulamento Geral das Edificações Urbanas* (RGEU). 2007. Decreto-Lei n.º 290/2007, de 17 de Agosto.
- Sacht, H. M.; Bragança, L.; Almeida, M. 2010. *Facades Modules for Eco-Efficient Refurbishment of Buildings: An Overview*. In: Portugal SB10 - Sustainable Building Affordable to All, 10. Algarve,.
- Sacht, H. M.; Bragança, L.; Almeida, M.; Caram, R. 2011. *Trombe Wall Thermal Performance for a Modular Façade System in different Portuguese Climates: Lisbon, Porto, Lajes and Funchal*. In: Building Simulation 2011. Sydney.
- Sacht, H. M. 2010. *Módulos de Fachada para Reabilitação Eco-Eficiente de Edifícios*. Plano de Tese - Programa Doutoral em Engenharia Civil.
- Santos, P., Gervásio, H., Simões da Silva, L.; Gameiro, A. 2009. Influence of climate change on the energy efficiency of Light steel residential buildings. *Energy Conversion and Management*. Elsevier (In Press).
- Sousa, O. J. S. 2008. *Obtenção dos perfis de utilização, iluminação e de equipamentos das habitações residenciais*. Relatório de Projecto Individual. Universidade do Minho.
- Sun, W.; Ji, J.; Luo, C.; He, W. 2011. Performance of PV-Trombe wall in winter correlated with south façade design. *Applied Energy*. Vol. 88, Issue 1, January, Pages 224-231.
- Torcellini, P.; Pless, S. 2004. *Trombe Walls in Low-Energy Buildings: Practical Experiences*. Preprint. 8 pp.; NREL Report No. CP-550-36277.
- Trombe, F.; Michel, J. 1972. *Naturally Air-Conditioned Dwellings*. US Patent 3,832,992.

# Selection of rehabilitation construction solutions using ELECTRE III method

S. Monteiro da Silva & M. Almeida

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*

*sms@civil.uminho.pt*

*malmeida@civil.uminho.pt*

**ABSTRACT:** Building rehabilitation is essential to achieve the targets defined by the EPBD-recast regarding energy efficiency, reduction of carbon emissions and use of on-site renewable energy sources. Besides the energy efficiency the Indoor Environmental Quality of Buildings (IEQ) must also be considered when planning a rehabilitation project. Thus to propose an effective building rehabilitation is necessary select the adequate construction solutions taking into account their impact on the energy performance, thermal and acoustic comfort and indoor air quality of the building. In this work a multi-criteria decision analysis method, ELECTRE III, is applied to balance all these aspect, during the design phase of a refurbishment project, in order to assist the design team on the selection of construction solutions.

## 1 INTRODUCTION

Energy efficiency and indoor environmental quality of buildings are nowadays major concerns as European Union (EU) buildings account for 40% of the total energy consumption and Men spend about 90% of their time inside closed spaces (EPBD 2002). Thus, it is mandatory to control the energy consumption in the building sector, while maintaining, or even improving, the indoor environmental quality (IEQ), to reduce these needs and, consequently, reduce the EU energy dependency as well as the greenhouse gas emissions, in accordance with what is prescribed in the Energy Efficiency in Buildings Directive (EPBD) and reinforced with the "EPBD recast" (EPBD 2002, EPBD-recast 2010).

The rehabilitation of the building stock is an opportunity to achieve these goals. In Portugal, 77% of the building stock was built before 1990, year of the publication of the first Portuguese thermal regulation, leading to high levels of thermal discomfort and the excessive energy consumption, as the majority of the existing buildings was built without any thermal concerns and shows very high energy consumptions even when minimal comfort conditions are required (CENSUS 2001).

To correctly select the rehabilitation construction solutions it is necessary to consider their contribution to the energy efficiency, thermal and acoustic comfort, daylight conditions and the indoor air quality, but also their contribution to the thermal inertia of the building, the weight of the solution and its effect on the structural project of the building and the thickness as the useful area might be reduced.

However, these goals are often in conflict and there is not a unique criterion that describes the consequences of each alternative solution adequately and there is not a single solution that optimizes all criteria.

Therefore, thermal quality, acoustic behaviour and energy reduction strategies, that are mandatory, should be meshed at an early stage of the rehabilitation process with the other requirements to ensure the buildings overall comfort conditions and energy efficiency. To do so, it is necessary to select the correct materials, and construction solutions, among a large number of

options to improve the occupants overall comfort and, at the same time, reduce the energy costs. Furthermore, to make a conscious selection of the possible alternatives, it is necessary to balance the positive and negative aspects of each solution into the global behaviour of the building through a multi-objective optimization. The correct comparison of the solutions is difficult as the behaviour of some are affected by imprecision (design phase) and it is also necessary to take into account the constraints of the project and the decision maker point of view.

Multi-criteria decision analysis (MCDA) is, in this way, an important tool in such problems, since it can be used in any location and employs mathematical models that evaluate alternative scenarios, taking into account both their objective characteristics (acoustic insulation, U-Value, etc.) and the preferences of the decision makers regarding the objectives and constraints of each project.

The MCDA method ELECTRE III was chosen to assist the design team in the selection of the most adequate rehabilitation solutions (Roy 1978).

This method allows, in an easy and quick way, to outrank construction solutions options according to a set of criteria pre-established and based on criteria weights and thresholds assigned to each one. The criteria, criteria weights and thresholds are selected by the design team according to the objectives and constraints of each project which enable the use of this methodology to a vast set of possibilities (selection of materials, construction solutions, design alternatives, rehabilitation scenarios, etc.), based on different criteria (U-value, acoustic insulation, weight, heating and cooling needs, etc.). This methodology is not specific to a country and can be used in an early stage of the design phase of a new building or of a rehabilitation project, when not all the characteristics are defined.

The aim of this study was to select the materials and construction solutions to refurbish the façade walls of a building, based on criteria that are mandatory (U-value and acoustic insulation) and the designer must conciliate. The superficial mass, weight and thickness of the construction solutions were also considered as they are a designer concern, affecting the thermal behaviour of the building, the structural design and the useful area.

## 2 METHODOLOGY

To achieve an adequate behaviour of the buildings it is necessary to consider either the indoor environmental quality as well as energy efficiency. It is then essential to optimize the building envelope, by improving construction solutions and insulation levels, glazing type, optimizing the thermal and acoustic behaviour, the natural ventilation and daylighting techniques through an appropriate rehabilitation. But the solutions adopted in buildings, usually, only optimize no more than one of the necessary comfort requirements. In many cases, the best solutions to accomplish different comfort requirements are not compatible, especially in what concerns natural ventilation and daylighting strategies and the acoustic and thermal performance. For instance, the type of window used can have a strong and opposite influence on the thermal and acoustic performance of the building, just not to mention its interference with the indoor air quality (IAQ).

In the selection of the rehabilitation materials and construction solutions it is important to implement all these principals. In this study several construction solutions for the façade walls were studied.

### 2.1 *Retrofit Building Characteristics*

The case-study building to be refurbished is a detached single family house (Figure 1), from the 1980's. The building is a single residential unit with two bedrooms, East oriented, with 54.42 m<sup>2</sup> and 2.44 m of floor to ceiling height.

The construction system is a low cost construction system based on a steel reinforced concrete pillars and beams structure, single pane hollow concrete block walls (CMU) and clear single glass with aluminium frame windows with PVC roller shutters. The window to wall ratio is of about 20%.

Table 1 lists the main characteristics of the building envelope.

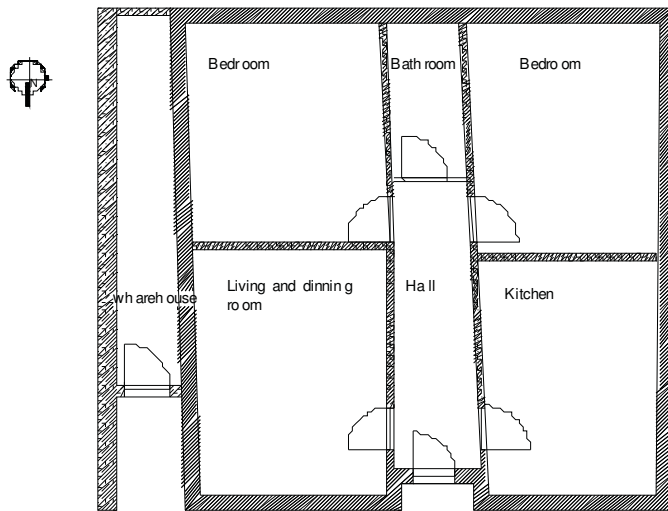


Figure 1. Floor plan of the building.

Table 1. building characteristics

| Building element                     | Construction solution                   | U-value<br>[W/(m <sup>2</sup> °C)] |
|--------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|
| Structure                            | Concrete pillars and beams              | -                                  |
| Floors                               | concrete                                | -                                  |
| Roof                                 | Pitched roof                            | 2.35                               |
| Ceiling                              | Beam and pot slab                       | 3.08                               |
| Façade walls                         | Single pane hollow concrete block       | 1.90                               |
| Roller shutter boxes                 | concrete                                | 2.85                               |
| Windows (window to wall area of 20%) | Single clear glass with aluminium frame | 5.14                               |
| Partition walls                      | Hollow brick                            | -                                  |

## 2.2 Construction Solutions Characteristics

The construction solutions analyzed for the rehabilitation of the façade walls are shown in Figure 2. The rehabilitation construction solutions selected: ETICs system, ventilated wall, insulation and plasterboard or hollow brick panes, cover the solutions most used in Portugal.

A pre-fabricated rehabilitation module, MRP, with, from the outside to inside: aluminium composite exterior finishing (0.6 cm); insulation corkboard (6.0 cm); extruded polystyrene insulation (XPS – 12.0 cm); and air vapour barrier, was also studied.

The study was done considering four insulation materials (expanded polystyrene, EPS, expanded extruded polystyrene, XPS, mineral wool, MW and cork, ICB).

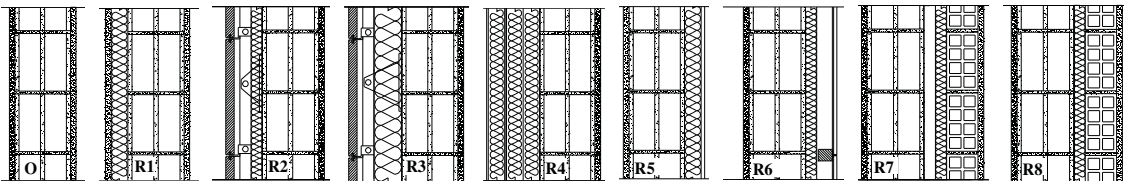


Figure 2. Vertical cross-section of the existing and rehabilitation construction solutions of the façade walls

During the rehabilitation process 20 cm of mineral wool were placed in the roof and the existing single glass windows and PVC roller shutters were replaced by windows with double pane glass with air inlets in the aluminium frame (with thermal break) and insulated roller shutters. The air inlets were introduced to improve the air change rate and the indoor air quality.

### 2.3 *Multi-criteria analysis*

The multi-criteria decision analysis (MCDA) defines flexible approach models to help the decision maker, and/or the design team, perform a multi-objective optimization to select the most adequate solutions to optimize the building IEQ and energy efficiency among a large number of options and possibilities. The MCDA methods can be applied when there are several decision agents, each one with different objectives and criteria, sometimes with opposite visions. The problem of the decision makers is a multi-objective optimization problem (Ehrgott & Wiecek 2005) characterized by the existence of multiple, and in several cases competitive, objectives that should be optimized, taking into account a set of parameters (criteria) and constraints.

This kind of analysis is able to reflect the objectives and limitations of each one of the alternatives to be studied, but it is necessary to be thorough on selecting the criteria that should be exhaustive but not redundant (it is recommended to use no more than 12, which represents an acceptable compromise between feasibility and detailed description) and must be coherent (which are the criteria to be maximized and to be minimized) (Roy & Bouyssson 1993, Roulet et al. 2002).

The multi-criteria methodology selected in this work to help the decision maker selecting the most adequate solutions to optimize the building indoor environmental quality, was the ELECTRE III model as it may be considered as a decision-aid technique suited to the appraisal of complex civil engineering projects (Papadopoulos & Karagiannidis 2008).

#### 2.3.1 *The ELECTRE III method*

ELECTRE III is a multi-criteria decision analysis method (Roy 1978) that takes into account the uncertainty and imprecision, which are usually inherent in data produced by predictions and estimations. The construction of an outranking relation amounts at validating or invalidating, for any pair of alternatives (a, b), the assertion "**a** is at least as good as **b**". This comparison is grounded on the evaluation vectors of both alternatives and on additional information concerning the decision maker's preferences, accounting for two conditions: concordance and non-discordance.

The ELECTRE III method is based on the axiom of partial comparability according to which preferences are simulated with the use of four binary relations: I, indifference; P, heavy preference; Q, light preference and R, non-comparability. Furthermore, the thresholds of preference (p), indifference (q) and veto (v) have been introduced, so that relations are not expressed mistakenly due to differences that are less important (Roy 1978).

The indifference threshold (q) defines the value beneath which the decision maker is indifferent to two option valuations, the preference threshold (p) defines the value above which the decision maker shows a clear strict preference of one option over the other, and the veto threshold (v) where a 'discordant' difference in favour of one option greater than this value will require the decision maker to negate any possible outranking relationship indicated by the other criteria. The indifference (q) and preference (p) thresholds of any criterion can also be interpreted as the minimum imprecision and the maximum margin of error respectively (Maystre et al. 1994).

The ELECTRE III method does not allow for compensation, which may occur when using methodologies based on performance indexes, due to the use of the veto threshold. Using this method, an option which shows too poor results in one criterion cannot be ranked in a higher position (Roulet et al. 1999). The model permits a general ordering of alternatives, even when individual pairs of options remain incomparable or when there is insufficient information to distinguish between them (Rogers 2000). Also, the technique is capable of dealing with the use of different units, the mix of both quantitative and qualitative information and when some aspects are "the higher the better" and others are "the lower the better".

### 2.4 *Prediction Tools*

The prediction of the building thermal behaviour, related to thermal comfort and energy efficiency, was done using the U-value, determined using the publication ITE50 – U-Values of Building Envelope Elements (Pina dos Santos & Matias 2006). All the solutions selected respect the minimum requirements defined in the Portuguese Thermal Regulation (RCCTE 2006).

The acoustic performance of the building elements the weighted standardized level difference of the façade ( $D_{2m, nT, w}$ ) was estimated using the Acoubat Sound Program (RRAE 2008, EN 12354-3 2000). All the solutions selected respect the requirements defined in the Portuguese Acoustic Regulation (RRAE 2008).

### 3 RESULTS

#### 3.1 Criteria, Criteria Weights and Thresholds

In the study performed, the ELECTRE III method was applied to the evaluation of several alternative solutions for the façade walls on the basis of five criteria: thermal and acoustic insulation, superficial mass, weight and thickness. Table 2 lists the different criteria, thresholds and criteria weights that were considered in the use of ELECTRE III method for this case-study. The criteria weights and thresholds presented here are just an example and should be defined by the design team according to the objectives and constraints of the project.

Table 2. Criteria, criteria weighting and thresholds (criteria to: ↓ - minimize; ↑ - maximize).

| Criteria                                      | Units                 |   | Criteria Weight | Threshold  |              |      |
|-----------------------------------------------|-----------------------|---|-----------------|------------|--------------|------|
|                                               |                       |   |                 | Preference | Indifference | Veto |
| Thermal Insulation (U-Value)                  | W/(m <sup>2</sup> °C) | ↓ | 25              | 0.25       | 0.10         | 0.50 |
| Acoustic Insulation (D <sub>2m, nT, w</sub> ) | dB                    | ↑ | 25              | 5          | 2            | 10   |
| Superficial Mass (Msi)                        | kg/m <sup>2</sup>     | ↓ | 20              | 50         | 10           | 100  |
| Weight                                        | kg/m <sup>2</sup>     | ↓ | 15              | 150        | 50           | 300  |
| Thickness                                     | cm                    | ↓ | 15              | 10         | 5            | 30   |

The U-Value is a criterion that should be minimized. The façade acoustic insulation,  $D_{2m, nT, w}$ , and the superficial mass are criteria that should be maximized. The weight and the thickness of the construction solution are criteria to be minimized to reduce the weight of the building and to increase the useful area available.

The criteria selected to outrank the construction solutions options are related to the most important characteristics of the IEQ, the thermal and acoustic comfort and influence the energy efficiency of the building. These criteria were also selected because it is possible to define them in a non subjective way, it is possible to predict them in an early stage of the design phase, they are under the designer scope and they are the issues that are also the most valued by the users of the buildings. The minimum thermal and acoustic insulation values are also defined in the Portuguese thermal and acoustic regulations and are mandatory (RCCTE 2006, RRAE 2008).

The superficial mass, the weight and the thickness of the construction solution were also selected. The superficial mass is considered to account the impact of the construction solution in the thermal inertia of the building, as this is essential to the correct behavior of the building and is not accounted neither by the U-value nor by the weight of the construction solution.

The weight and thickness of the solutions were selected as they are also relevant to the building design. These criteria influence the structural design of the building and its useful area and are important factors, valued by the designer.

Reduce the rehabilitation solution weight is a request of the structure design (to reduce the impact in the existing structure). The thickness of the solution is also important as the thinner they are more useful area is available. This criterion cannot be considered on the weight as several solutions with the same thickness have different weights.

The definition of criteria weights and thresholds must take into account the objectives and constraints of the project and capture the points of view of the decision makers. Thus, to select them, a sensitivity analysis was performed and the visualization of the outcome impacts was assessed.

The criteria weights were defined taking into account the relative importance of each one of the criteria. The criteria weighting established for the thermal and acoustic insulation criteria, associated to the thermal and acoustic comfort, were defined according to the relative importance of each one to the occupants based on studies performed in Portugal and according to literature (Monteiro Silva 2009, Rohles 1987, Kim 2005). These studies showed that the ther-

mal and acoustic comfort are the most valued criteria, as they are linked to thermal and acoustic comfort inside the buildings. The superficial mass, the weight and thickness of the solutions are essentially a concern of the designer.

The thresholds were defined according to the criteria characteristics, for example a 2 dB difference is the threshold at which human beings can perceive differences in noise levels and 5 dB is the noise difference at which clear preference can be expressed for one option over another (Rogers & Bruen 1998).

### 3.2 Façade Walls

The construction solutions analyzed for the façade walls are shown in Figure 1 and listed in Table 3.

Table 3. Construction solutions studied for the façade (as represented in Figure 1).

| Option | Wall                                                                     | Insulation |           |
|--------|--------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|
|        |                                                                          | material*  | thickness |
| O      | Hollow concrete block with 20cm                                          | -          | -         |
| R1     | Hollow concrete block wall, 20cm and ETICS system                        | EPS        | 4         |
| R2     | Hollow concrete block wall, 20cm and ventilated wall with stone with 5cm | XPS        | 4         |
| R3     | Hollow concrete block wall, 20cm and ventilated wall with stone with 5cm | XPS        | 10        |
| R4     | Hollow concrete block wall, 20cm and prefabricated rehabilitation module | ICB + XPS  | 6 + 12    |
| R5     | Hollow concrete block wall, 20cm and plasterboard wall (1.3 cm)          | MW         | 6         |
| R6     | Hollow concrete block wall, 20cm and plasterboard wall (1.3 cm)          | MW         | 4         |
| R7     | Hollow concrete block wall, 20cm, air gap and hollow brick (11 cm)       | MW         | 4         |
| R8     | Hollow concrete block wall, 20cm and hollow brick (11 cm)                | ICB        | 6         |

\* EPS - expanded polystyrene; XPS - expanded extruded polystyrene; ICB - Insulation corkboard; MW - mineral wool.

Table 4 lists the results of the prediction of the façade walls behaviour according to the five criteria selected to outrank the design alternatives.

The first step of the rehabilitation process was the replacement of the existing single glass windows and PVC roller shutters by windows with double pane glass with air inlets in the aluminium frame with thermal break and insulated roller shutters. Additionally 20 cm of mineral wool were placed in the roof.

The rehabilitation construction solutions selected: ETICs system; ventilated walls; with plasterboard and hollow brick panes placed inside cover the solutions most used in Portugal. The pre-fabricated rehabilitation module, MRP, was also selected.

Table 4. Criteria for the different design alternatives studied for the façade.

| Options | U-Value<br>[W/(m <sup>2</sup> °C)] | D <sub>2m, nT, w</sub><br>[dB] | Msi<br>[kg/m <sup>2</sup> ] | Weight<br>[kg/m <sup>2</sup> ] | Thickness<br>[cm] |
|---------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------|
| O       | 1.90                               | 30                             | 150                         | 307                            | 24.0              |
| R1      | 0.65                               | 35                             | 150                         | 348                            | 30.0              |
| R2      | 0.67                               | 37                             | 150                         | 439                            | 35.0              |
| R3      | 0.34                               | 40                             | 150                         | 441                            | 41.0              |
| R4      | 0.20                               | 41                             | 150                         | 319                            | 42.8              |
| R5      | 0.48                               | 35                             | 75                          | 336                            | 29.3              |
| R6      | 0.57                               | 37                             | 75                          | 334                            | 32.2              |
| R7      | 0.48                               | 38                             | 150                         | 421                            | 41.5              |
| R8      | 0.42                               | 39                             | 150                         | 451                            | 39.4              |

The credibility degree matrix and the results of the outranking using Electre III method are presented in Table 5.

The credibility degree matrix gives a quantitative measure to the force of the statement “a outranks b” or “a is at least as good as b”. Number 1 indicates the full truthfulness of the assertion and 0 indicates that the assertion is false.

The ranking of the alternatives can then be determined based on the credibility degree matrix through a distillation procedure, where the alternatives are located firstly following their qualification going from the best to the worse one and then inversely, from the worse to the best one, defining two pre-ranks. Finally, the final ranking is achieved by using the results of these two pre-ranks.

Table 5. Credibility degrees matrix for the alternative solutions selected for the façade walls.

| Options | O    | R1   | R2   | R3   | R4   | R5   | R6   | R7   | R8   | Non-Dom |          | Ranking |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|----------|---------|
|         |      |      |      |      |      |      |      |      |      | A       | $\mu(A)$ |         |
| O       | -    | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | O       | 0.03     | R4      |
| R1      | 0.97 | -    | 1.00 | 0.50 | 0.20 | 0.88 | 1.00 | 0.80 | 0.62 | R1      | 0.35     | R3      |
| R2      | 0.73 | 0.94 | -    | 0.67 | 0.11 | 0.75 | 0.92 | 0.85 | 0.75 | R2      | 0.19     | R8      |
| R3      | 0.72 | 0.79 | 0.97 | -    | 0.83 | 0.77 | 0.80 | 1.00 | 1.00 | R3      | 0.83     | R7      |
| R4      | 0.85 | 0.85 | 0.92 | 1.00 | -    | 0.85 | 0.85 | 1.00 | 1.00 | R4      | 1.17     | R6      |
| R5      | 0.79 | 0.80 | 0.80 | 0.47 | 0.21 | -    | 1.00 | 0.72 | 0.63 | R5      | 0.36     | R5      |
| R6      | 0.70 | 0.80 | 0.80 | 0.50 | 0.31 | 1.00 | -    | 0.80 | 0.72 | R6      | 0.46     | R1      |
| R7      | 0.75 | 0.82 | 0.95 | 0.93 | 0.59 | 0.80 | 0.82 | -    | 1.00 | R7      | 0.59     | R2      |
| R8      | 0.71 | 0.79 | 1.00 | 1.00 | 0.68 | 0.75 | 0.83 | 1.00 | -    | R8      | 0.68     | O       |

Table 5 shows that option R4 (with the prefabricated rehabilitation module) is ranked as the best action and is “at least as good as” options R3, R7 and R9 in all criteria, as the number 1 in columns 5, 9 and 10 indicates. This rehabilitation solution has the lower U-Value and the higher acoustic insulation and is the lighter one, but is the thicker one.

The ventilated wall with 10 cm of XPS (R3) was ranked second. This is the rehabilitation option with second best thermal and acoustic performance, but is one of the heaviest and thicker ones.

The 6 cm of ICB and hollow brick pane with 11cm was ranked third. This option has the third best thermal and acoustic performance, but is the heaviest one.

The rehabilitation solutions with ETICs system and the ventilated wall with 4 cm of XPS were the worst ranked rehabilitation options. As expected the existent solution is the worst ranked option.

#### 4 CONCLUSION

This methodology allows, in an easy and quick way, to outrank construction solutions options according to a set of criteria pre-established and based on criteria weights and thresholds assigned to each one. The design team has the possibility to change the criteria, criteria weights and thresholds according to the objectives and constraints of the project which enable the use of this methodology to a vast set of possibilities (selection of materials, construction solutions, design alternatives, rehabilitation scenarios, etc.), based on different criteria, (U-value, acoustic insulation, useful area, glazing area, heating and cooling needs, etc.). This methodology is not specific to a country and can be used in an early stage of the design phase, when not all the building characteristics are defined.

Throughout the multi-criteria analysis performed, it was possible to verify that the rehabilitation solutions with lower U-values and higher airborne acoustic insulation and superficial mass, the prefabricated rehabilitation module, the ventilated wall with 10 cm of XPS and the 6 cm of ICB and hollow brick pane with 11 cm were the best rehabilitation options.

The rehabilitation solutions with ETICs system and the ventilated wall with 4 cm of XPS were the worst ranked options.

## REFERENCES

- European Standard EN 12354-3 2000. *Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - Airborne sound insulation against outdoor sound*, Belgium, CEN.
- CENSUS 2001. *XIV Recenseamento Geral da População, IV Recenseamento Geral da Habitação*. INE - Instituto Nacional de Estatística.
- Directive 2002/91/EC 2002. Directive of the European Parliament and of the Council from 16 of December, 2002 on the *Energy Performance of Buildings*, EPBD.
- Directive 2010/31/EU 2010. Directive of the European Parliament and of the Council, on the *Energy Performance of Buildings (recast)*, from 10 of May, 2010, EPBD-recast.
- Decree-Law N° 80/2006 2006. *Portuguese Building Thermal Legislation* (In Portuguese), RCCTE 2006, April 4th, Lisbon.
- Decree-Law N° 96/2008 2008. *Portuguese Building Acoustics Legislation* (In Portuguese), RRAE 2008, July 9th, Lisbon.
- Ehrgott, M. & Wiecek, M.M. 2005. *Multiobjective programming*, in: J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott (Eds.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, New York Springer.
- Kim, Sun-Sook; et al. 2005 Development of a housing performance evaluation model for multi-family residential buildings in Korea. *Building and Environment* 40, pp 1103–1116.
- Maystre, M., Pictet, J. & Simos, J. 1994 *Methodes multicriteres ELECTRE*. Lausanne, EPFL Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
- Monteiro Silva, S. 2009 *Building sustainability and Comfort* (in Portuguese). PhD Thesis. Guimarães, Universidade do Minho.
- Papadopoulos, A. & Karagiannidis, A. 2008. Application of the multi-criteria analysis method ELECTRE III for the optimisation of decentralised energy systems. *Omega - The International Journal of Management Science*, Vol. 36, pp 766-776.
- Pina dos Santos, C. & Matias, L. 2006. *U-Values of Building Envelope Elements*, Lisbon, LNEC.
- Rogers, M. & Bruen M. 1998 Choosing realistic values of indifference, preference and veto thresholds for use with environmental criteria within ELECTRE. *European Journal of Operational Research*. 107, pp. 542-551.
- Rogers, M. 2000 Using ELECTRE III to aid the choice of housing construction process within structural engineering. *Construction Management and Economics*, 18[3], 333-342
- Rohles, F. H. Woods, J. E. & Morey, P. E. 1987. Occupant Perception of the Work Environment. *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*, Vol. 31, n. 10, pp 1105-1108(4).
- Roulet, C.-A., et al. 1999. *ORME: Office Building Rating Methodology for Europe*. Office Project Report, Athens, University of Athens.
- Roulet, C.-A., Flourentzou, F., et al. 2002. ORME: A multicriteria rating methodology for buildings. *Building and Environment*, Vol. 37, pp 579-586.
- Roy, B. 1978 *ELECTRE III - Algorithme de classement base sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples*. Cahiers de CERO.
- Roy, B. & Bouyssson, D. 1993. *Aid multiple a la decision: methods et cas*. Paris, Económica.

# Method for energetic and economic analysis of buildings

Catarina Araújo

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*  
catarinaba7@gmail.com

Manuela Almeida

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*  
malmeida@civil.uminho.pt

Luís Bragança

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*  
braganca@civil.uminho.pt

**ABSTRACT:** Planet Earth is facing nowadays an environmental crisis without precedents. This is a matter of extreme importance and measures that allow reducing this problem have been discussed all over the world. One of the measures that have been appointed more often is the energy efficiency. In order to increase the energy efficiency, several technologies and legal documents have been developed. However, our society is facing, not only severe and unprecedented environmental crisis but also an economic crisis with similar magnitude. Therefore, it is of extreme importance to find methods that allow minimizing the environmental and economic impacts of the construction sector. The aim of this study is to find a method that allows the study of different measures relating their energy and economic performance.

## 1 INTRODUÇÃO

The emission of pollutants related with energy production is one of the most important causes of the current environmental crisis. The production and use of energy are responsible for 94% of CO<sub>2</sub> emissions (Isolani, 2008). This means that energy efficiency is a solution with an increasing importance in this matter (EC, 2010). The building sector is one of the biggest energy consumer and therefore one of the biggest contributors to the environmental crisis. The building sector was responsible for consuming approximately 40% (EU, 2010) of the final energy in Europe and it is expected that the dependence on the imported primary energy grows up to 70% by 2030 compared to 54% today (EEA, 2008).

However, despite of this scenario, it is also known that more than 50% of this consumption can be reduced through energy efficient measures (ADENE, 2009). This way, the building sector is one of the most influent concerning the energy efficiency matters not only because it is one of the biggest consumers but also because this consumption can be reduced through economic feasible measures (Almeida, 2009).

Aware of this situation, the European Commission has been promoting relevant measures to improve the energy performance of buildings. The European Directive n°2002/91/CE, Energy Performance Building Directive (EPBD), recently updated by 2010/31/EU (EPBD Recast), is an example of that. The EPBD was transposed into the Portuguese legislation through the review and subsequent adaptation of the thermal regulation constituted by three decrees-law (Decree-law no. 78/2006, Decree-law no. 79/2006 and Decree-law no. 80/2006).

The new thermal regulation has changed the building's design principles concerning the thermal comfort and energy efficiency. Nevertheless, it is very important that society understands what measures can improve the energy performance of their buildings and which are the best ones in an economically point of view.

This study presents a methodology that intends to compare different energy efficient measures in order to determine those having the best energy and economic performance. Thus, several parameters used by Decree-law no. 80/2006 (RCCTE - targeted to residential buildings) have been studied in order to select the most influent ones concerning the energy labelling calculation of residential buildings and in order to relate their energy performance with their economic performance.

## 2 METHODOLOGY

In order to fulfil the proposed objectives, a parametric and economic analysis has been developed. The parametric analysis was developed in order to study the influence of some parameters of the Portuguese legislation on energy performance of residential buildings, RCCTE (Decree-Law nº 80/2006), on the energy indexes (foreseen on the legislation) and on the final energy rating of the buildings. The goal of the economic analysis is to relate the energy and the economic performance of each solution.

### 2.1 Case Study

The study was carried out based on a case study building. This case study is a four room detached single family house with a heated area of 270 m<sup>2</sup>. It is located in Ponte de Lima (North-west of Portugal) at an altitude of 74m and about 25km away from the Atlantic Ocean coast. According to the Portuguese legislation, the climatic region of this building is I2/ V2 North (between the most severe, I3/V3, and the mildest one, I1/V1, climatic regions) and its thermal inertia is classified as strong (above 400 kg/m<sup>2</sup>). The case study building, which will be referred as the reference solution, accomplishes all the legislative thermal requirements and its energy label is B- (low thermal quality since it is the minimum allowed for new buildings).

### 2.2 Parametric Analysis

The parameters analysed were the following: i) the heat transfer coefficient (U) of walls and slabs belonging to the exterior and interior (separating heated from non heated spaces) envelope, thermal bridges and windows; ii) the number of indoor air changes per hour; iii) the windows solar factor; iv) the shading factor (Fs) of vertical and horizontal windows; v) the external walls absorption factor ( $\alpha$ ); vi) the efficiency of Domestic Hot Water (DHW) preparation systems ( $\eta_a$ ); vii) the contribution of solar systems to DHW preparation (Esolar); viii) the heating system efficiency ( $\eta_i$ ) and; ix) the cooling system efficiency ( $\eta_v$ ).

For each of the abovementioned parameters, alternative solutions to the conventional reference solutions were investigated. The selected alternative solutions include at least one high-performance solution, one low performance solution and two other different solutions. In any case, all the selected solutions are used and marketed in Portugal.

To each alternative solution, the four energy indexes foreseen in the Portuguese legislation (Ni – heating needs, Nv – cooling needs, Na – hot water needs and Nt – primary energy needs) were calculated and the results were compared to understand which are the best solutions regarding each one of these indexes.

As an example, the results for the analysis regarding the parameter “heat transfer coefficient of external walls” are presented in Table 1 and in Figure 1. The graph relative to Domestic Hot Water (DHW) energy needs (Na) is not presented since the parameter under evaluation has no influence in this index.

Table 1. Solutions under study to analyse the exterior walls heat transfer coefficient influence.

| Solution                                                                                     | U (W/m <sup>2</sup> ·°C) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 1 – Reference Solution: Double masonry wall 15+11(cm) with 4cm of extruded polystyrene (XPS) | 0,50                     |
| 1.1 - Double masonry wall 15+11(cm) with 3cm of XPS                                          | 0,58                     |
| 1.2 - Double masonry wall 15+11 (cm) with 8cm of XPS                                         | 0,32                     |
| 1.3 - Double masonry wall 22+22 (cm) with 8cm of XPS                                         | 0,28                     |
| 1.4 – ETICS (15 cm) with 4cm XPS                                                             | 0,58                     |
| 1.5 - ETICS (15 cm) with 8cm XPS                                                             | 0,35                     |
| 1.6 - ETICS (22 cm) with 8cm XPS                                                             | 0,33                     |

In Figure 1, the dark grey bar represents the maximum regulatory values for heating needs (Ni), cooling needs (Nv) and primary energy needs (Nt). The light grey bars represent the heating needs (Nic), cooling needs (Nvc) and primary energy needs (Ntc) of each solution.

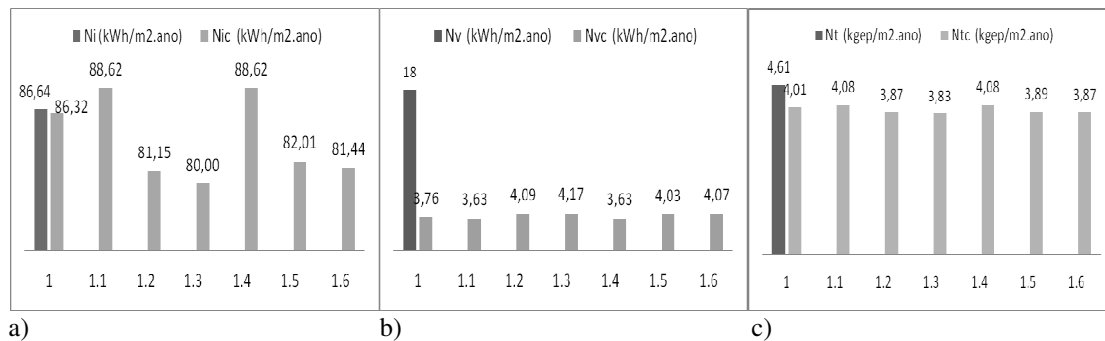


Figure 1. Obtained results for the analysed exterior walls solutions. a) Building heating needs (Nic). b) Building cooling needs (Nvc). c) Annual primary energy needs (Ntc).

Through this study it is possible to select solutions that have the best performance to each parameter under analysis. In addition, the difference between the best and the worst solutions were determinate to each parameter. Through this difference, the influence of each parameter in final rating of the buildings can be discussed.

### 2.3 Economic Analysis

To perform the economic analysis, the study focused on the price difference of each alternative solution compared to the reference solution. This price variation was compared with the correspondent variation of global energy performance, obtained in the parametric analysis.

The global performance of each alternative solution was determined through the value of the correspondent annual primary energy needs (Ntc). The price of each alternative solution was obtained through a life cycle analysis. The determination of the initial costs was done through a search about the prices in the national market. The life cycle cost was assessed through the determination of the solution's maintenance costs and the associated energy costs through the building life cycle (life cycle adopted - 50 years).

The difference in energy consumption during life cycle is related to the difference in the annual primary energy needs of each alternative solution compared to the reference solution. Relating to heating, cooling, DHW systems and solar collectors it was accounted their service life and the number of replacements needed over the 50 years building life cycle.

To improve the visualization and comparison between different solutions, the economic analysis was carried out through a bi-dimensional graphic representation (Figure 2). The horizontal axis represents the costs variation and the vertical axis represents the energy performance variation. An alternative solution is always represented by a point in the graph. The cheaper solutions will appear leftmost in the graph and the solutions with better energy performance will appear above. The reference solution is always represented by point (0,0).

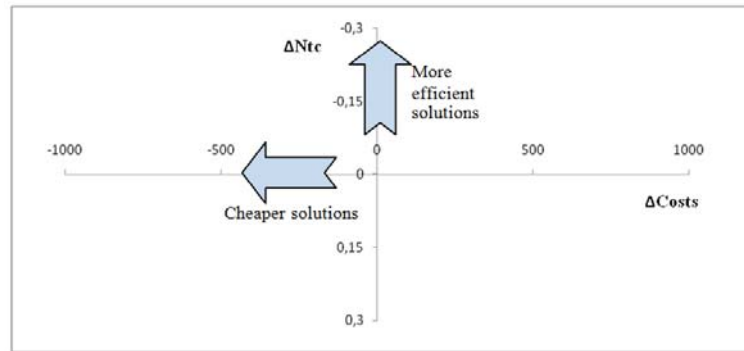


Figure 2. Graphic representation of economic analysis

This method has some important aspects regarding the comparison of solutions. When a solution is cheaper and has a better energy performance than other, it is easy to understand that it's better (in graph it appears on the upper left corner). However, compare alternatives when one of them is more expensive but also has a better energy performance may not be as obvious. To solve this problem it is necessary to find a comparison method that takes into account the value of money or the value of the improved energy performance. This comparison method will be useful to answer the question "To what extent is someone willing to pay for a certain improvement in energy performance of a building?". In numerical terms this will be the same as choosing an ideal cost-benefit ratio. To define this ratio it was used a payback time of 8 years (payback time considered as economically viable by Decree Law 79/2006). With this payback time it was possible to draw a line in the graph using equation 1, representing the value of money (Figure 3).

$$\Delta\text{Cost} = \Delta\text{Ntc} \times A \times \text{PT} \times \text{Fpu} \times \text{Ec} \quad (1)$$

Where:  $\Delta\text{Ntc}$  – Primary Energy Needs Variance  
 $A$  – Area  
 $\text{PT}$  – Payback Time  
 $\text{Ec}$  – Energy Cost  
 $\text{Fpu}$  – Conversion factor of useful energy into primary energy

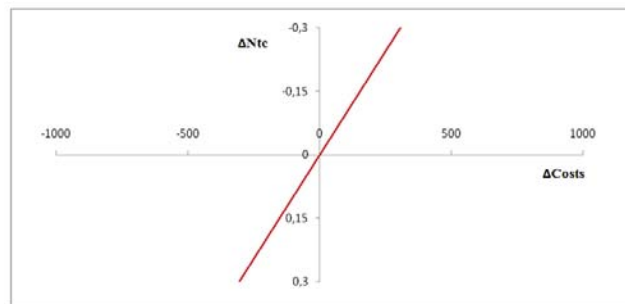


Figure 3. Graphic representation of the value of money reference line

Thus, it was possible to compare different solutions through the distance of each point to the line. The more up and left a point is located, the better is the correspondent solution (cheaper and more efficient).

### 3 PARAMETRIC ANALYSIS

To each parameter it was compared the differences in energy indexes between the alternatives solutions with best and worst energy performance. In Figure 4 it was presented those differences, in absolute and relative values, concerning the four energy indexes.

The relative values presented in Figure 4 correspond to the ratio between the difference between the best and the worst solution and the reference solution as presented in equation 1.

$$\text{Relative Difference} = \frac{\text{Best Solution Value} - \text{Worst Solution Value}}{\text{Reference Solution Value}} \quad (1)$$

It can be observed in Figure 4 that the most influent parameters concerning Nic value are the U-value of slabs, air change rate, U-value of external walls and U-value of windows. Although in a less significant way, the solar factor has also some influence on this index.

The influence of the heat transfer coefficient of slabs was very high. However, this parameter is not so influent on other types of buildings, like apartments, where the slab has no impact on their thermal performance.

It was observed in Figure 4 that concerning cooling needs, the solar factor has a significant influence on their determination. It was also observed that the modification of the solar protection has a greater influence than the modification of glass type. This was expected because the glass type accounts only for 30% for the solar factor value while the solar protection accounts for 70% (according to the methodology imposed by legislation). The air renovation rate and the obstruction factor have also a significant influence on this index.

| Parameter                                          | Energy Indexes          |    |                         |     |                         |    |                          |    |
|----------------------------------------------------|-------------------------|----|-------------------------|-----|-------------------------|----|--------------------------|----|
|                                                    | Nic                     |    | Nvc                     |     | Nac                     |    | Ntc                      |    |
|                                                    | kWh/m <sup>2</sup> .ano | %  | kWh/m <sup>2</sup> .ano | %   | kWh/m <sup>2</sup> .ano | %  | kgep/m <sup>2</sup> .ano | %  |
| Heat transfer coefficient of exterior walls        | 8,6                     | 10 | 0,5                     | 14  | 0,0                     | 0  | 0,2                      | 6  |
| Heat transfer coefficient of interior walls        | 0,0                     | 0  | 0,0                     | 0   | 0,0                     | 0  | 0,0                      | 0  |
| Heat transfer coefficient of slabs                 | 15,9                    | 18 | 0,0                     | 0   | 0,0                     | 0  | 0,5                      | 11 |
| Heat transfer coefficient of thermal bridges       | 0,7                     | 1  | 0,0                     | 1   | 0,0                     | 0  | 0,0                      | 0  |
| Heat transfer coefficient of glazing               | 8,4                     | 10 | 1,0                     | 27  | 0,0                     | 0  | 0,2                      | 6  |
| Number of indoor air changes per hour              | 12,0                    | 14 | 2,8                     | 73  | 0,0                     | 0  | 0,3                      | 8  |
| Summer Solar Factor (Glazing analysis)             | 3,2                     | 4  | 1,5                     | 39  | 0,0                     | 0  | 0,1                      | 3  |
| Summer Solar Factor (External protection analysis) | 0,0                     | 0  | 4,2                     | 113 | 0,0                     | 0  | 0,0                      | 1  |
| Winter Solar Factor                                | 6,5                     | 8  | 0,0                     | 0   | 0,0                     | 0  | 0,2                      | 4  |
| Shading factor (Horizontal shading)                | 3,6                     | 4  | 2,3                     | 60  | 0,0                     | 0  | 0,1                      | 2  |
| Shading factor (Vertical shading)                  | 2,3                     | 3  | 0,5                     | 13  | 0,0                     | 0  | 0,1                      | 2  |
| Absorption coefficient ( $\alpha$ )                | 0,0                     | 0  | 1,3                     | 34  | 0,0                     | 0  | 0,0                      | 0  |
| DHW preparation systems efficiency ( $\eta_a$ )    | 0,0                     | 0  | 0,0                     | 0   | 10,9                    | 64 | 1,7                      | 42 |
| Contribution of solar systems to DHW preparation   | 0,0                     | 0  | 0,0                     | 0   | 9,9                     | 58 | 0,9                      | 21 |
| Heating system efficiency ( $\eta_i$ )             | 0,0                     | 0  | 0,0                     | 0   | 0,0                     | 0  | 1,9                      | 48 |
| Cooling system efficiency ( $\eta_v$ )             | 0,0                     | 0  | 0,0                     | 0   | 0,0                     | 0  | 0,0                      | 0  |

Figure 4. Differences between solutions with the highest and the lowest U-values

The obstruction factor has an important influence both on heating and cooling needs. However, the shading devices decreases the energy needs in summer but increases these needs in winter. It was difficult to find a solution that is both positive in summer and winter. The solution is the adoption of movable shading devices.

It was observed in Figure 4 that there are only two parameters that influence the DHW energy needs, the efficiency of DHW preparation systems and the contribution of solar systems to DHW preparation. Both of them have a great influence on this index.

It was observed in Figure 4 that the parameters that most influence the primary energy needs are the heating system efficiency, the efficiency of DHW preparation systems and the contribution of solar systems to DHW preparation.

Both heating and cooling systems efficiency are multiplicative factors of the correspondent needs. However, the heating needs are greater than the cooling needs. For this reason the heating system efficiency has a bigger influence than the cooling system efficiency. This situation occurs in buildings with a medium or strong thermal inertia (the most common in Portugal), in which the Nic index is much higher than the Nvc index.

The heat transfer coefficient of walls belonging to the exterior envelope has also some influence on primary energy needs as well as the air change rate.

Due mainly to political reasons, translated into the regulation calculations, the parameters related with DHW preparation have a huge influence on the primary energy needs in opposition to the cooling and heating needs caused by the envelope characteristics. For this reason, the importance of parameters related with the envelope performance is low.

#### 4 ECONOMIC ANALYSIS

As an example, it is presented below the detailed economic analysis performed for the parameter U-value of external walls. The values used in this analysis are shown in Table 2. In the second and third columns are presented the cost and the Ntc index of each alternative solution (in a life cycle basis). In the fourth and fifth column are presented the price and Ntc variations of each solution in comparison with the reference solution. In the last column it is presented the distance between the point representative of each solution and the value of money reference line, following the methodology presented before.

Table 2. Economic analysis for the U-value of external walls

| Solution     | Cost (€) | Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano) | $\Delta$ Cost | $\Delta$ Ntc | d     |
|--------------|----------|--------------------------------|---------------|--------------|-------|
| Solution 1   | 5189     | 4,01                           | 0             | 0            | 0,00  |
| Solution 1.1 | 5169     | 4,08                           | -20           | 0,07         | 0,05  |
| Solution 1.2 | 5660     | 3,87                           | 471           | -0,15        | 0,18  |
| Solution 1.3 | 6019     | 3,83                           | 830           | -0,18        | 0,39  |
| Solution 1.4 | 6996     | 4,08                           | 1807          | 0,07         | 1,30  |
| Solution 1.5 | 5181     | 3,89                           | -8            | -0,12        | -0,13 |
| Solution 1.6 | 5543     | 3,87                           | 353           | -0,14        | 0,10  |

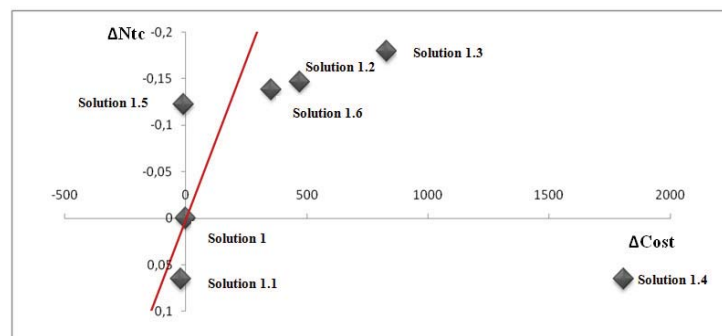


Figure 5. Graphic representation of economic analysis for the U-value of external walls

Figure 5 presents the economic analysis for the U-value of external walls. Like it was explained before, in this graph, the solutions that have a bigger negative distance from the reference line (that are above and to the left) are the best solutions. It was observed that the solutions 1.2 and 1.6 have a similar energy performance. However, the solution 1.6 is better because it carries lower costs. Concerning to solution 1.3, it presents a worse performance than solutions 1.2 and 1.6 since it is more expensive and its increase in energy performance is not rewarding.

#### 4.1 Economic analysis results

In Figure 6 it is presented the distance between the best and the worst solutions for each parameter. This value indicates the economic performance variation that could be obtained through the choice of different alternatives solutions in each parameter. It can be observed in the figure that the parameters 11, 12 and 13 are those who should be studied in more detail in order to improve the building quality. The choice of one solution for these parameters can result in a higher energy/economic performance variation. It was verified that the solutions for parameters 7.2 and 8 require also a conscious evaluation.

In Figure 6 it is presented the distance between the best and the worst solutions for each parameter. This value indicates the economic performance variation that could be obtained through the choice of different alternatives solutions in each parameter. It can be observed in the figure that the parameters 11, 12 and 13 are those who should be studied in more detail in order to improve the building quality. The choice of one solution for these parameters can result in a higher energy/economic performance variation. It was verified that the solutions for parameters 7.2 and 8 require also a conscious evaluation.

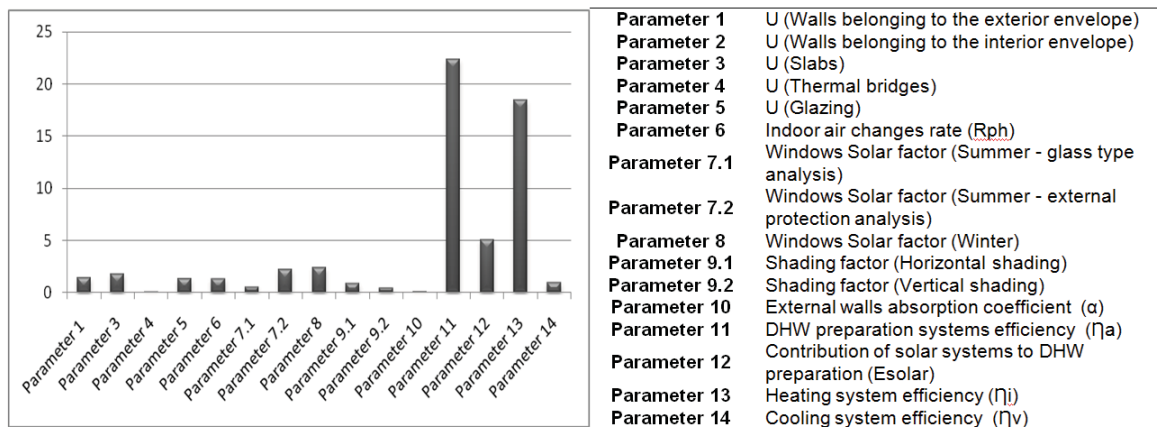


Figure 6. Distance between the solutions with better and worst performance for each parameter

This economic analysis allows the comparison of different alternative solutions from different standpoints, taking into account the life cycle costs. Depending on the line's gradient, it is possible to perform the analysis from the point of view of the promoter, user or other stakeholder, through the use of different values of money.

However it was observed that sometimes, the cheaper solutions, even with a lower energy performance, prevailed compared with other that are more expensive and that have a better energy performance. This occurs because the money line that was used had a high slope, meaning that the value of money is higher than the value of a better energy performance. However, this gradient reflects the actual economic crisis and the importance that people attribute to money. Nevertheless, a great energy performance means also lower energy consumption and consequently a better economic performance (since life cycle costs are accounted).

## 5 CONCLUSIONS

Through this study it was possible to verify that the methodology developed allow to compare different solutions regarding their energy performance and life cycle costs enabling the selection of the best solutions.

The slope of the "values of money" reference line obtained through the payback time of 8 years gives more importance to the economic performance than the energy performance. This situation represents the reality marked by a big economic crisis. However, the methodology

presented can be changed and adapted to other realities through the alteration of the reference line slope.

## REFERENCES

- EEA 2008. Energy and environment report 2008, Report No 6/2008. Copenhagen 2008. ISBN 978-92-9167-980-5.
- EC, 2010; European Commission, Directorate-General for Energy and Transport (DG TREN); EU Energy in figures 2010 - CO2 emissions by sector, available online on [http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/statistics/ext\_co2\_emissions\_by\_sector.pdf] at 18 March 2011;
- ADENE, 2009, Agência para o ambiente; Certificação Energética e Ar Interior de edifícios, available online on [http://www.adene.pt/ADENE/Canais/SubPortais/SCE/Apresentacao/Enquadramentoobjectivos/Enquadramento+e+objectivos.htm], at 5 November 2009;
- Almeida, Manuela; Certificação Energética O Novo Enquadramento Europeu; Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2009;
- Decree-Law nº 79/2006 – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização de Edifícios; Diário da República nº 67 Série I–A de 4 de Abril de 2006; 2006;
- Decree-Law nº 80/2006 – Regulamento das Características de Conforto Térmico de Edifícios; Diário da República nº 67 Série I–A de 4 de Abril de 2006; 2006;
- Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings; Official Journal of the European Communities;
- EU, 2010, Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação); Jornal Oficial da União Europeia;
- Isolani, Pieraldo, 2008, Manual do Consumidor – Eficiência energética nos edifícios residências; Lisboa;

# Energy Rehabilitation of Portuguese Residential Building Stock Through its Transformation into NZEB

**Joana Sousa**

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal  
joana.r.b.sousa@gmail.com*

**Sandra Silva**

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal  
sms@civil.uminho.pt*

**Manuela Almeida**

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal  
malmeida@civil.uminho.pt*

**ABSTRACT:** The first global oil crisis, led the European Union to start the necessary procedures in order to control and reduce the energy consumption of buildings. In Europe the energy consumption of residential buildings increased since 1990 until 2003 1.3% per year and it is expected that, by 2050, the energy consumption of buildings will have increased by 40%.

According to the EPBD-recast all member states should adopt the necessary measures so that buildings become highly efficient - nearly Zero Energy Buildings (nZEB's). Nevertheless, quantitative standards are not appointed, so each member state should establish the minimum requirements for energy performance in buildings attending to the local conditions. However before establishing these requirements it is necessary to evaluate the building stock and its energy efficiency.

As most of the Portuguese residential buildings are old and degraded an opportunity arises for the energy rehabilitation of the building stock, implementing EPBD-recast principles, making it more energy efficient and comfortable.

The aim of this study was to describe the current conditions of the building stock in order to identify whether there are suitable conditions for energy rehabilitation of buildings. The analysis performed showed that although there are a significant potential for building energy rehabilitation, there are also some constraints, namely the lack of credit and loans financing of banks.

## 1 INTRODUCTION

The first global oil crisis, in 1973, raised the first concerns over the excessive energy consumption in buildings.

The Directive 2002/91/CE (EPBD - Energy Performance of Buildings Directive) (EPBD 2002) was the first European regulation on the energy performance of buildings. The EPBD defined the procedures in order to establish the requirements for energy performance in buildings to be followed by the member states. In May 2010, came into force the EU Directive 2010/31/EU (EPBD-recast), which targets are to reduce the greenhouse gas emissions in 20% by 2020 and in 80% until 2050, in relation to the 1990 emissions levels, in order to achieve the goals outlined in the Kyoto Protocol (EPBD 2010).

The concept of nearly Zero Energy Building (nZEB) arises not only at European level but in a global context due to the significant impacts of the buildings on the energy consumption and on the environment worldwide. For example, in the United States of America (USA) commercial and residential buildings consume almost 40% of the primary energy and about 70% of all the electricity produced, and it is expected that the consumption of this sector increase by 2025 more than 50% (Tortellini 2006).

In Europe it is estimated that 40% of total energy consumption within the European Union is consumed in buildings. Therefore the buildings are responsible for a significant amount of

greenhouse gas (GHG) emissions. According to several forecasts the GHG emissions will continue to increase until the year 2050 (EPBD 2010).

To accomplish the EPBD recommendations, the Portuguese government defined as targets to increase in 40% the energy efficiency of buildings through the National Action Plan for Energy Efficiency (*Resolution of the Ministers Council of n.º 80/2006*), the review of the Thermal Regulations, for residential (RCCTE, *Decree-Law n.º 80/2006, 4<sup>th</sup> April*) and office buildings (RSECE, *Decree-Law n.º 79/2006, 4<sup>th</sup> April*), and through the introduction of the National System for Energy and Indoor Air Quality Certification of Buildings (SCE, *Decree-Law n.º 78/2006, 4<sup>th</sup> April*) (PORTUGAL & RCCTE & RSECE & SCE, 2006).

Nowadays all residential or small office buildings undergoing major refurbishments or changes in its envelope are required to accomplish the requirements defined in the RCCTE (RCCTE 2006). The implementation of these measures is intended to reduce the energy consumption levels through more accurate calculations. The 2006 version of RCCTE (RCCTE 2006) set greater requirements for the thermal quality of buildings which has resulted in the improvement of the thermal comfort of residential buildings.

## 2 OVERVIEW OF THE CURRENT SITUATION OF THE BUILDING STOCK

### 2.1 Residential Buildings

For decades there was an almost absence of interventions and investments in the rehabilitation of the Portuguese building stock, particularly when compared with similar European countries (IHRU 2004). This is the main reason for the current poor state of repair of a significant part of the Portuguese buildings that, in average, were, in 2001, 33.92 years old (INE 2001). In average the most recent buildings in Portugal were located in Autonomous Region of Madeira with an average of 32.33 years old, while the Autonomous Region of Azores had in average the older buildings with 34.26 years old. The buildings in Continental Portuguese territory had an average of 33.95 years old (INE 2001).

There were multiple factors that led to such situation. It is recognised by many actors in the construction sector that the rehabilitation of the residential building stock is needed (Corvacho 2010). The freezing of rents prior to 1990 has been the main reason for the lack of maintenance in the residential buildings. The absence of public policies contributing to stimulate the rental market and the low interest rates on loans for house acquisition were the other reasons for the lack of attractiveness of the rental market for families looking for a house.

Currently a new dynamic on the housing rental market is arising, with the increase in the number of families looking to rent a house rather than buying one, in a country which has a strong tradition of homeownership (IHRU 2007). In some areas, there are more people interested in renting houses than houses available. However, and according to provisional data from the 2011 Census, the number of houses available to rent increased 37.6%, while the rented housing stock grew only by 6.3% since 2001 (INE 2011).

This new trend is due to the current economic and financial crisis in the country, which led to a strong reduction in the loans granted by the banks for buying houses. Thus, this can be a unique opportunity to correct past mistakes. The energy rehabilitation appears as an opportunity to upgrade the existing building stock increasing their energy efficiency, comfort conditions and market value.

The energy rehabilitation of the Portuguese residential buildings would allow addressing residential buildings and social problems and also the energy dependency of the country. The rehabilitation would bring back to the market, unoccupied or energy inefficient buildings, increasing also its real-estate value.

In response to social needs, the investment on rehabilitation would contribute to increase the quality of life of the residents and to create new job opportunities. The reduction of the energy consumptions, that might be achieved, would be economically advantageous, both for the residents and for the country.

Furthermore, energy rehabilitation would also ensure the intergenerational sustainability of the building stock. It is necessary to make a good use of the existing energy resources and de-

velop new forms and concepts of building constructive technologies, so that there will be a solution for energy rehabilitation of any building built before 2006, taking into account the life cycle of each building in the decision making process.

Notwithstanding the positive effects for the society, the rehabilitation in general and the energy rehabilitation of buildings in particular, had not a significant role in the Portuguese construction market. The absence of a widespread awareness about the subject is perhaps one of the most important difficulties to its promotion. Other of the reason for the lack of investment in the rehabilitation is the lack of specialized workmanship in the sector. Frequently, technicians are not aware of the technical solutions available on the market and of the benefits of undertaking energy rehabilitation. About 40% of the anomalies in building are due to design defects and to wrong selection of technical solutions (Paiva 2002).

## 2.2 Potential for Thermal Rehabilitation

According to data from the 2001 Census, about 51% of the residential building stock that were built in Portugal in the 1960s, 1970s and 1980s needed some kind of reparation (Figure 1) (INE 2001).

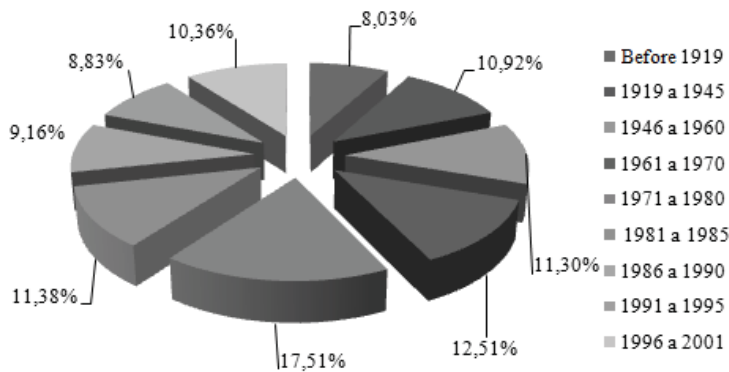


Figure 1. Rehabilitation needs in buildings (%) per decade (INE 2001).

Additionally, the first national thermal regulation only came into force in 1991. Before that the buildings were built without any specific concerns related to the thermal insulation of the envelope or to their thermal behavior. A significant number of these buildings have nowadays an inefficient thermal behavior and have energy rehabilitation needs.

Between 1990 and 2001 were built, 19% of existing residential buildings (INE 2001). Even that the Census statistics are not updated, the actual value should not be significantly higher, due to the slowdown of the construction of new buildings, after middle of 2008, due to the economic crisis.

The market of new residential buildings' has been forced to adapt itself to a new reality after a long period of growth in which more than the necessary buildings were built. Thus the number of licenses for the construction of new residential buildings has been decreasing. The forecast number of new residential building permits indicates a stagnation scenario that will be the near future reality of the Portuguese construction market. In 2006 were conceded 43,200 permits for apartments and 26,400 permits for housing (one and two dwellings), in a total of 69.600 permits. Since then the number of conceded permits has been reducing gradually. In 2007, were conceded 63,000 permits, about less 9.50% than the year before. In the year of 2008, 46.900 new permits were considered and in 2009 the numbers of permits continue to decrease to 34.700 new permits (EUROCONSTRUCT 2009).

Besides the studies indicated that this negative tendency will start to bounce back in 2011 and 2012, this reality was not confirmed and the decrease tendency continues due to a negative macroeconomic scenario (EUROCONSTRUCT 2009).

As, in Portugal the construction market has stagnated and the majority of the housing stock built before 2006 needs energy rehabilitation, this is an opportunity to enforce the goals of the EPBD-recast.

In Portugal the energy rehabilitation of buildings faces another challenge, as the large amount of private properties with several owners in the same building, not sensitized and informed, have different perspectives and some owners do not have capital available to perform the energy rehabilitation of their dwellings.

Although there is a market for energy rehabilitation of the existing buildings, it will be harder to apply the nZEB principles in buildings to retrofit than in new buildings, not only due to technical issues but also for economic reasons, among other reasons (ECEEE 2011).

### 2.3 *Energy Rehabilitation of Facades and Roofs*

In 2001, 38% of the building stock needed some kind of repair, and 3% of the buildings were extremely degraded (INE 2001). The majority of the rehabilitation interventions needed refers to the exterior envelope of the buildings, specially the window frames. About 47% of the residential buildings needed rehabilitation works in its facade. The second major retrofit interventions were needed in building roofs (representing in 2001 about 40%).

In 2010, 79% of the classic familiar residential buildings did not have any kind of thermal insulation in the exterior walls and about 89% did not had any kind of insulation in the roof (INE & DGGE 2011).

According to the Inquiry of Energy Consumption in the Domestic Sector (INE & DGGE 2011), in 2010, more than 75% of the south oriented windows were single glazed and only about 6% of the east and west orientated windows had double glazing with thermal cut (95% of single or double glazed windows didn't had any kind of thermal cut).

It is estimated that energy losses through the windows represent 35% to 40% of the total heat losses in a residential building during the heating season (Paiva 2000).

To improve the energy efficiency of the windows and reduce the thermal losses through the windows it is necessary to improve the thermal insulation and air tightness. Some measures, like the increasing of the thermal quality of the frame and/or the glazing and also the study and the installation of shading systems (fins and overhangs and venetian blinds, shutters, etc.), can be adopted.

The increasing efficiency of the exterior envelope of the buildings would allow reducing the energy bill of the buildings and would also allow correcting some pathologic situations due to humidity and condensations.

The numbers presented reflect the necessity and the urgency for energy rehabilitation in Portugal. But, in general, the energy rehabilitation performed in roofs and facades is mainly related to the application or reinforcement of thermal insulation. In facades the replacement of single by double glazed windows is also a common used energy rehabilitation measure.

There are many solutions to increase the thermal insulation levels of the facades. The most common systems used in this kind of intervention are the ETICS system and the ventilated facades system (Corvacho 2010). Nowadays besides the conventional systems like the ETICS system there are also some unconventional energy rehabilitation solutions developed to be applied in facades like prefabricated panels with pipes and windows included (IEA ECBCS 2011). When it is impossible to apply the insulation in the outside of the buildings for example in multifamily buildings, there is always the possibility to apply the insulating in the inside.

However, the improvement of the thermal insulation of the envelope of the building might not be enough to guarantee that the building is energetically efficient. In the majority of the situations the referred measures must be analyzed and an integrated approach must be considered. It is then necessary to analyze each situation individually to better decide which are the best energy rehabilitation solutions for each building.

Other measures, like the installation of thermal solar panels to heat the domestic hot waters, the implementation of measures that take into account the shape and orientation of the building

site, the replacement of individual HVAC systems for centralized ones and the improvement of the indoor environmental quality should be also considered during the design. These factors would contribute to the global quality of the buildings and not only to their energy efficiency.

### 3 NZEB BUILDINGS – ENERGY REHABILITATION THROUGH BUILDINGS TRANSFORMATION

The recast of the European Directive about the energy efficiency in buildings, Directive 2010/31/EU (EPBD-recast), established that all the member states should adopt the necessary measures to improve the energy performance of the buildings. However the Directive did not established neither a definition nor a quantification of what considers being highly efficient. It refers that each member state has the responsibility to establish its own definition of highly efficient buildings based on a particular method to be established and adopted (EU 2010).

Although there is not a global definition of low energy consumption buildings in a generic and widely accepted way (EU 2009) there are buildings with an energy performance above the average performance of new buildings, built in accordance with the standards of local thermal regulations. It is estimated that energy savings in these buildings reaches 80% of operating costs compared with the conventional buildings.

In this framework, a new concept of buildings has emerged – the zero energy buildings (ZEB) and the nearly zero energy buildings (nZEB). In its essence the concept of nZEB building is based on the idea that these buildings can satisfy all their energy needs using local available resources, which should be sustainable and clean, including renewable energy sources.

A zero or nearly zero energy building (ZEB or nZEB) is a building with residential or commercial purposes with energy needs extremely reduced, due to its efficiency (thermal quality of the envelope and efficiency of the systems). The optimal concept of nZEB implies that the building produces enough energy to supply all the local needs, equaling or exceeding its annual energy consumption.

The nZEB buildings have energy consumption and emission of greenhouse gases associated, even that they are very low, mainly due to the use of renewable energy sources produced locally. Besides the energy consumption is almost zero they can interact with the network, consuming energy but also returning energy to the grid, when more than the needs that the building requires is produced.

The above referred motives show the urgent need to energetically refurbish the Portuguese residential building stock. However to achieve high levels of energy efficiency in the rehabilitation of the buildings it is necessary to develop new techniques and new concepts of rehabilitation to avoid that it only will tackle the maintenance and aesthetic aspects.

The rehabilitation of a building assumes not only that the initial building should be restored but also that its quality should be improved so that the final quality can be compatible with the current requirements and quality standards.

Nowadays there is a growing awareness of the need to reduce the energy consumption in the building stock and to reduce the planet global warming. These concerns lead to the need to find new and better ways to reduce the energy needs of the buildings and to produce the consumed energy locally.

Portugal, presents favorable conditions for using the energy rehabilitation of buildings to convert the building stock into ZEB or nZEB buildings. Due to its favorable geographic situation, with a high number of hours of solar exposition and high irradiation levels (Figure 2), Portuguese buildings can use solar thermal and photovoltaic panels to heat the domestic hot waters (DHW) and locally produce electricity.

The installation of solar thermal panels is mandatory (RCCTE 2006). The implementation of photovoltaic panels is not significant due to the high initial investment necessary and the time required to amortize the investment made. The installed area of solar thermal panels it is small, despite the existing potential of some Portuguese regions, especially in the South. However, in a general way the whole country presents favorable conditions, to produce energy, through the sun.

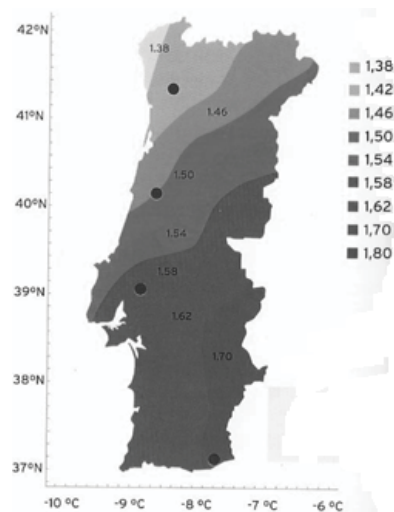


Figure 2. Index of the Average Solar Radiation received in Portugal (NOGUEIRA 2010).

The adoption of specific measures in buildings retrofit would allow, not only, real energy savings to the building owners, but also boosting the economy (ITIC 2009). For example the replacement of the existing single glass windows by windows with double glazing and thermal cut in every residential building would involve an economic activity about 2.358,50 million Euros. The application of thermal insulation on the façade will represent investments of 6.486,5 to 9.508,1 Million Euros and the investment in the roof thermal insulation would represent about 2.488,7 Million Euros (ITIC 2009).

#### 4 CONCLUSION

A large part of the Portuguese building stock is outdated and it is very energy inefficient. This leads to negative consequences, high energy consumption and lack of comfort conditions of the populations, reduction of their quality of life, high levels of greenhouse gases emissions and the associated risk of failing the emission levels agreed by the country under the Kyoto Protocol.

The main measures of energy efficiency that could be adopted to transform existing buildings into nZEB buildings through energy rehabilitation would be:

- Replacing the single glass windows by double glazing with thermal cut windows;
- Placement of adequate shading devices;
- Increasing of the thermal insulation levels of the facade walls;
- Increasing the roof thermal insulation levels;
- Installation of thermal solar panels for DHW heating;
- Replacement of individual air conditioning systems by centralized HVAC systems, with high efficiency;
- Integration of passive solar design and natural ventilation techniques in buildings;
- Installation of photovoltaic panels and micro wind turbines, which could produce energy through microgeneration.

The introduction of renewable energy production in buildings, such as photovoltaic panels to produce electricity, is also one of the possible measures to take in account in the energy rehabilitation of buildings. However, some of these technologies have a significant initial cost that discourages and restricts its implementation.

In addition to the upgrade of the building stock, the energy rehabilitation is an opportunity to create jobs and boosting the economy. In reality there are several advantages to make energy rehabilitation, however the constraints that faces are still significant. Given the current

economic crisis, the lack of capital to invest is one of these obstacles but the greatest one still is the lack of awareness of the society to this problem.

## REFERENCES

- CORVACHO 2010. Corvacho, Helena; Abreu, Isabel. *Os novos desafios tecnológicos na Reabilitação Energética de paredes exteriores de Edifícios*. (The challenges in the Energy Rehabilitation of exterior, in Portuguese). Construction Magazine, n.º35, January/ February 2010. pp. 23-28.
- ECEEE 2011. *Nearly Zero Energy Buildings: achieving the EU 2020 target*. 8<sup>th</sup> February 2011. Sweden: European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE).
- EEA 2006. *Energy and Environment in the European Union. Tracking progress towards integration*. EEA Report n.º8/2006. 2006. Copenhagen: European Environment Agency.
- EPBD 2002. *European Directive 2002/91/CE of the European Parliament and the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings*. Official Journal of the European Communities n.º L 1 of January 4, 2003, pp. 65-71. Brussels: European Union.
- EPBD 2010. *European Directive 2010/31/EU of the European Parliament and the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)*. Official Journal of the European Communities n.º L 153, of June 18, 2010. pp. 1-26. Brussels: European Union.
- EU 2009. *Low Energy Buildings in Europe: Current State of play, definitions and best practice*. 25 September, 2009. Brussels. pp.1-5.
- EUROCONSTRUCT 2009. *Euroconstruct Country Report*. November 26–27, 2009. Zurich.
- INHR 2007. *Atlas da Habitação de Portugal*. (Housing Atlas of Portugal, in Portuguese). Portuguese Catholic University, Faculty of Engineering. December 2007. Lisbon: Institute of Housing and Urban Rehabilitation.
- IEA ECBCS 2011. *IEA ECBCS Annex 50 Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings - Retrofit Module Design Guide*. March 2011. Empa, Building Science and Technology Lab: Duebendorf.
- INE 2001. *Censos 2001: resultados definitivos - XIV recenseamento geral da população - IV recenseamento geral da habitação*. (Census 2001 final results, in Portuguese). 2001. Lisbon: National Institute of Statistics.
- INE 2011. *Censos 2011 – Resultados Provisórios*. (Provisional Results, in Portuguese). December 2011. Lisbon: National Institute of Statistics.
- INE & DGGE 2011. *Inquérito ao Consumo de Energia no sector doméstico 2010*. (Survey on Energy Consumption, in Portuguese). 2011. Lisbon: National Institute of Statistics and General Directorate for Energy and Geology.
- INHR 2004. *O Sector da Habitação no Ano de 2003*. (The Housing Sector in the Year 2003, in Portuguese). January 2004. Lisbon: Ministry of Public Works, Transportation and Housing. State Office of Housing. National Housing Institute.
- ITIC 2009. Martins, Bárbara; Vital, Conceição; Adão, Donzília; Neves, Firmino das; Martins, Lina; Ramalho, Margarida; Afonso, Fernando. *O Mercado da Reabilitação – Enquadramento Relevância e Perspectivas*. (The Rehabilitation Market, in Portuguese). 2009. Lisbon: AECOPS.
- NOGUEIRA 2010. Nogueira, Hilário Dias. *Manual das Energias Renováveis (Energia eólica, solar e fotovoltaica). O futuro do Planeta*. (Renewable Energy Guide, in Portuguese). 2010. Lisbon: AECOPS (Companies Association of Construction, Public Works and Services).
- PAIVA 2000. Paiva, José A. Vasconcelos de. *Medidas de Reabilitação Energética em Edifícios. Comunicação apresentada ao Workshop “Reabilitação energética de edifícios em zonas urbanas: O caso da habitação social”*. (Measures of Energy Rehabilitation, in Portuguese). March 2000. Lisbon: National Laboratory of Civil Engineering.
- PAIVA 2002. Paiva, José A. Vasconcelos de. *Enquadramento Legal da Atividade de Construção e Reabilitação de Edifícios*. (Framework of Rehabilitation of Buildings, in Portuguese). 2002. Lisbon: National Laboratory of Civil Engineering.
- PORTUGAL 2006. *Plano Nacional de Eficiência Energética (National Energy Efficiency Plan in Portuguese)*. Lisbon: Presidency of the Council of Ministers. Resolution of the Council of Ministers n.º 80/2006.
- RCCTE 2006. *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*. (Thermal Buildings Regulation, in Portuguese). Decree-Law n.º 80/06, of April 4<sup>th</sup>, 2006.
- RSECE 2006. *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RCESE)*. (Regulation of Energy Systems Air Conditioning, in Portuguese), Decree-Law n.º 79/2006, of 4<sup>th</sup> April, 2006.
- SCE 2006. *Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios (ECS)*. (Building Certification System, in Portuguese), Decree-Law n.º 78/2006, of 4<sup>th</sup> April, 2006.

TORTELLINI 2006. Tortellini P., Pless S., Deru M., Crawley. *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*. Conference paper NREL/CP-550-39833 June 2006 to be presented at ACEEE Summer Study. August 14-18, 2006. Pacific Grove, California: National Renewable Energy Laboratory. U.S. Department of Energy.

# Enquadramento Energético do Sector Residencial Português

**Joana Sousa**

*Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal*  
*joana.r.b.sousa@gmail.com*

**Sandra Silva**

*Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal*  
*sms@civil.uminho.pt*

**Manuela Almeida**

*Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal*  
*malmeida@civil.uminho.pt*

**RESUMO:** Portugal não possui reservas de energias fósseis, pelo que importa grande parte dos recursos energéticos que consome. Nos últimos anos tem sido feita uma aposta na instalação de sistemas de produção de energia a partir de energias renováveis no sentido de reduzir a dependência energética nacional. Contudo, os níveis de dependência, em 2010, ainda eram muito elevados principalmente devido à importação de petróleo.

O sector residencial é o que apresenta o terceiro maior consumo energético. Tendo-se verificado nos últimos anos um aumento crescente dos consumos, em especial de eletricidade.

Através da avaliação da tendência de evolução do consumo energético das habitações, é possível determinar qual a melhor forma de reduzir esses consumos aquando da reabilitação energética dos edifícios.

O estudo apresentado tem por objetivo analisar os consumos energéticos do sector residencial, de forma a saber em que fatores intervir para aumentar a eficiência energética do parque habitacional Português.

## 1 INTRODUÇÃO

Portugal é um país sem fontes de energia não renováveis nomeadamente, petróleo, carvão e gás natural. Por esse motivo, é um país dependente da importação de recursos energéticos, o que o coloca numa posição económica vulnerável a nível internacional.

Esta vulnerabilidade nota-se particularmente em cenários de crises petrolíferas internacionais, como as que ocorreram no início da década de 1970 e mais recentemente em 2008, em que se verificou um significativo aumento do preço do barril de petróleo (DGGE 2010).

Consciente desta realidade, o Governo Português adotou medidas no sentido de investir na produção de eletricidade através de fontes de energias renováveis. Este esforço tem sido patente nos últimos anos, sendo que, em 2009, Portugal detinha 2,2% da capacidade mundial instalada acumulada de energia eólica (DGGE 2011).

Contudo, apesar dos esforços efetuados no sentido de reduzir a fatura energética Portuguesa constatou-se que em 2010, a dependência energética do exterior aumentou 29% face aos valores de 2009 (DGGE 2010), o que significa que a dependência e vulnerabilidade do país se mantêm. Portugal é principalmente dependente da importação de petróleo bruto e seus derivados (81,5%), mas também depende da importação de gás natural (14%) (Figura 1).

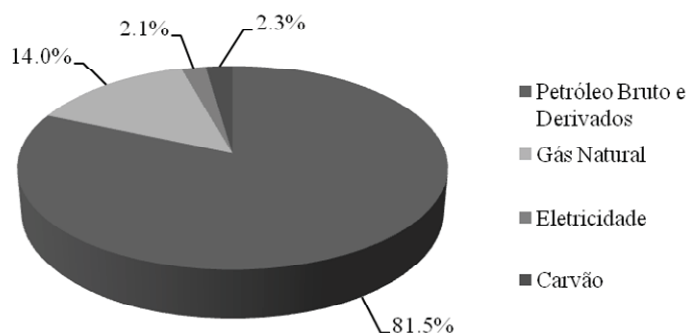


Figura 1. Importação de Recursos Energéticos, em 2010 (%) (DGGE 2010).

Apesar do consumo energético do sector residencial não ser o maior a nível nacional, a tendência do sector têm sido de aumento do consumo de energia. É assim necessário efetuar um estudo minucioso dos consumos energéticos do sector residencial em Portugal de modo a perceber quais são os fatores que levaram ao constante crescimento do consumo energético, com o objetivo de identificar os maiores consumos para assim tomar as medidas de eficiência energética mais adequadas aquando da realização de uma reabilitação.

O parque habitacional Português está envelhecido e degradado, pelo que é fundamental aquando da análise da eficiência energética do mesmo, considerar a época de construção dos edifícios, uma vez que existe uma relação direta entre o consumo de energia e a idade dos mesmos (INE & DGGE 2011). Quanto mais antigas forem as habitações maiores são os consumos energéticos, pois também são maiores as perdas de energia através da envolvente (exceto se entretanto os edifícios tiverem sido alvo de reabilitação energética).

Em 2010 num universo total de 3,932,010 habitações apenas cerca de 21,1% dos alojamentos familiares de residência principal tinham isolamento nas paredes exteriores e cerca de 17,1% nas coberturas (INE & DGGE 2011). A maioria destes alojamentos foi construída antes de 1991, data em que entrou em vigor a primeira legislação relativa ao desempenho térmico dos edifícios (RCCTE 1990). Até essa data os edifícios apenas tinham de respeitar o Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU 1951) com diretrizes genéricas no que diz respeito a esta matéria específica. Pelo que existe um amplo potencial para a reabilitação energética de edifícios em Portugal.

Neste trabalho apresenta-se uma análise dos consumos energéticos em Portugal, com particular destaque nos consumos energéticos do sector residencial, de forma a ter uma melhor percepção das medidas de reabilitação energética que deverão ser adotadas, no sentido de possibilitar uma maior eficiência energética do parque habitacional Português.

## 2 ENQUADRAMENTO ENERGÉTICO PORTUGUÊS

Portugal, em 2010, importava mais recursos energéticos do que produzia (o saldo importador foi de +13,8% em 2010) e continuava a ser um país com balança comercial negativa (Figura 2). Verificou-se um aumento de 29% nas importações de produtos energéticos face ao ano anterior, que se traduziu num saldo importador de 5,561 Milhões de Euros (€) em recursos energéticos (DGGE 2010).

Da análise da Figura 2, verifica-se que 2008 foi o ano em que o custo das importações energéticas foi maior, devido ao aumento que se fez sentir no preço de barril de petróleo consequência da crise petrolífera e da instabilidade dos mercados.

Em 2010 existiu um aumento generalizado dos custos de importação dos produtos energéticos nos mercados internacionais face a 2009 (mas não tão elevados como em 2008), que associado à desvalorização do euro face ao dólar, fez aumentar o preço dos produtos energéticos.

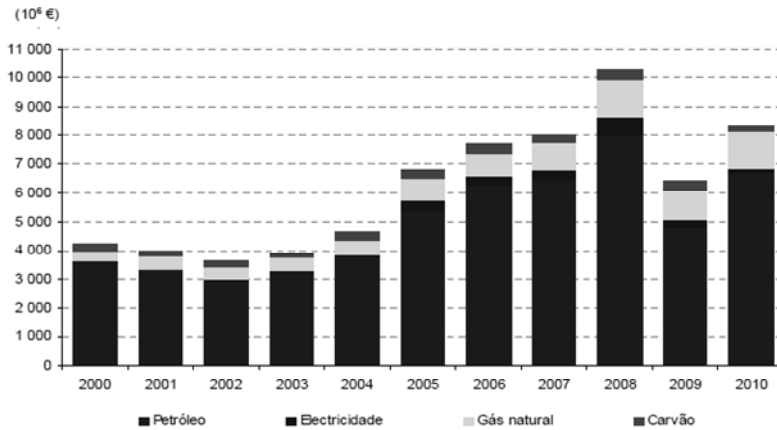


Figura 2. Custo de Importação Bruta de Energia entre 2000 e 2010 (106 €) (DGGE 2010).

A elevada fatura energética Portuguesa resulta, maioritariamente, do peso que a importação de petróleo tem na economia nacional. Em 2010, a importação de petróleo bruto e seus refinados representava, cerca de 38,7% das importações e o gás natural cerca de 15,8%.

Em 2010, o sector dos transportes tinha o maior peso no consumo global de energia em Portugal, representando cerca de 37,5% do consumo (Figura 3). Em segundo lugar, surgia o sector industrial que era responsável pelo consumo de 30,5% dos recursos energéticos consumidos e o sector doméstico representava o terceiro maior consumo energético com 17,7% do total de energia consumida, apresentando uma taxa média de crescimento anual de 1,5% entre 1989 e 2009 (Figura 3).

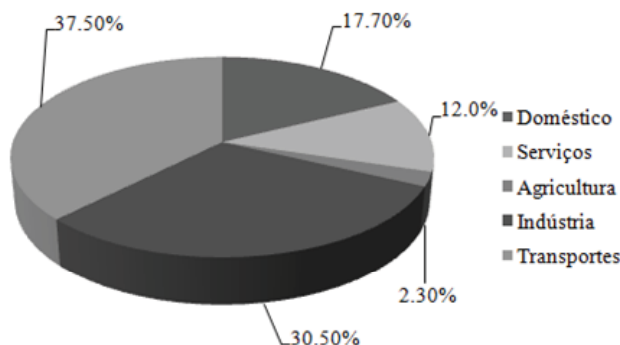


Figura 3. Consumo de Energia por Sector, em 2010 (%) (INE & DGGE 2011).

O sector dos transportes tem o maior consumo de recursos energéticos, pois depende do consumo de petróleo. O sector da indústria também depende de várias fontes energéticas, no entanto, devido à globalização existe um controlo mais rigoroso da fatura energética, para que os produtos produzidos atinjam preços mais competitivos no mercado global. No sector residencial o consumo de eletricidade tem vindo a crescer ao longo dos anos devido aos novos hábitos de consumo, sendo que este sector depende essencialmente da eletricidade que pode ser produzida através de energias renováveis (solar, eólica, hídrica) ou em centrais térmicas.

### 3 EVOLUÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SECTOR RESIDENCIAL

Nas últimas décadas têm-se assistido a uma profunda alteração dos hábitos de consumo energéticos das famílias Portuguesas. Com o aumento do poder económico e com a melhoria das condições de vida, as populações procuraram ter melhores condições de conforto, o que conduziu a um aumento significativo nos consumos energéticos nos edifícios.

Nos alojamentos Portugueses, a principal fonte de consumo de energia é a eletricidade, seguida da lenha, representando respetivamente 42,6% e 24,2% do consumo de energia do sector (INE & DGGE 2011).

De notar que o consumo energético associado à eletricidade tem sido aquele que mais tem aumentado nos últimos anos. Pelo contrário o consumo de lenha enquanto fonte energética tem vindo ao longo dos anos a perder importância (Figura 4). Em 2010, o consumo médio de eletricidade por alojamento foi de 3673 kWh, que correspondeu a uma despesa anual média de 523€ por alojamento (INE & DGGE 2011).

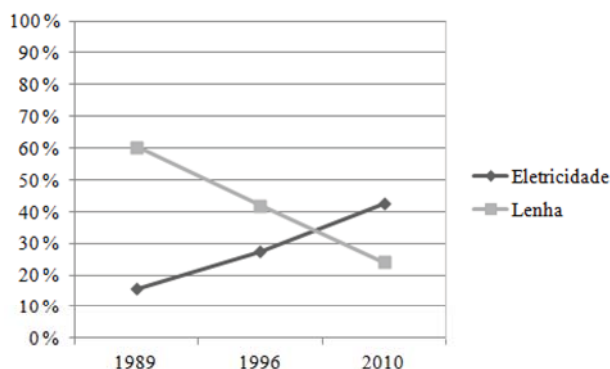


Figura 4. Evolução do Consumo Energético da Eletricidade e da Lenha entre 1989 e 2010 (%) (INE & DGGE 2011).

O crescimento contínuo do consumo energético no setor residencial está ligado ao crescente consumo de eletricidade nas habitações, originado pela introdução de novos equipamentos que visam proporcionar o aumento das condições de vida das populações e o conforto térmico dos ocupantes. No entanto a introdução de novos equipamentos, veio aumentar a fatura energética e a dependência do exterior. Esta tendência de crescimento de consumo de energia elétrica tenderá a continuar a aumentar, devido ao crescimento do número de equipamentos elétricos utilizados correntemente nas habitações.

A cozinha tem o maior peso em termos de consumo de energia da habitação, cerca de 39% seguida pelo aquecimento de águas sanitária (AQS) com 23% (Figura 5). A fonte de energia difere consoante o tipo de uso, no entanto, o consumo de eletricidade prevalecente quer na cozinha tal como no aquecimento de águas quentes sanitárias (INE & DGGE 2011). A energia despendida para aquecimento e arrefecimento do ambiente interior dos espaços representava quase um quarto (22%) do consumo total de energia da habitação em 2010 (INE & DGGE 2011).

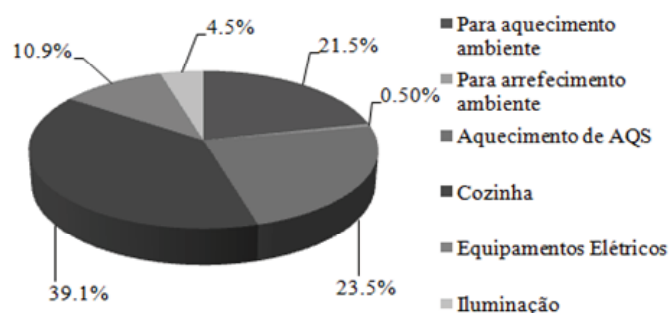


Figura 5. Fonte de Energia Consoante o Tipo de Uso, em 2010 (%) (INE & DGGE 2011).

O consumo médio de energia para aquecimento do ambiente interior foi de 0,0037 tep/m<sup>2</sup> e para arrefecimento de 0,0004 tep/m<sup>2</sup> (INE & DGGE 2011). Relativamente aos sistemas de aquecimento, em 2010, a maioria dos alojamentos era aquecida através de aquecedores elétricos individuais, seguidos das lareiras abertas e das lareiras com recuperador de calor (Figura 6). Os

sistemas de ar condicionado e os sistemas centralizados ainda têm uma implementação relativamente baixa para aquecimento dos alojamentos, entre 7 e 10% (Figura 6) (INE & DGGE 2011).

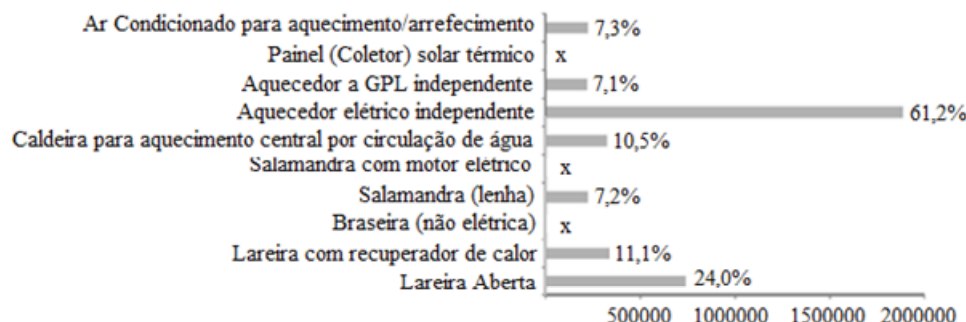


Figura 6. Sistemas de Climatização (aquecimento) Existentes nos Alojamentos, em 2010 (%) (INE & DGGE 2011).

No que diz respeito ao arrefecimento do ambiente interior, a maioria dos alojamentos (cerca de 70%) utilizava, em 2010, ventiladores (INE & DGGE 2011). Contudo, também eram utilizados sistemas de ar condicionado mono split e com bomba de calor (Figura 7).

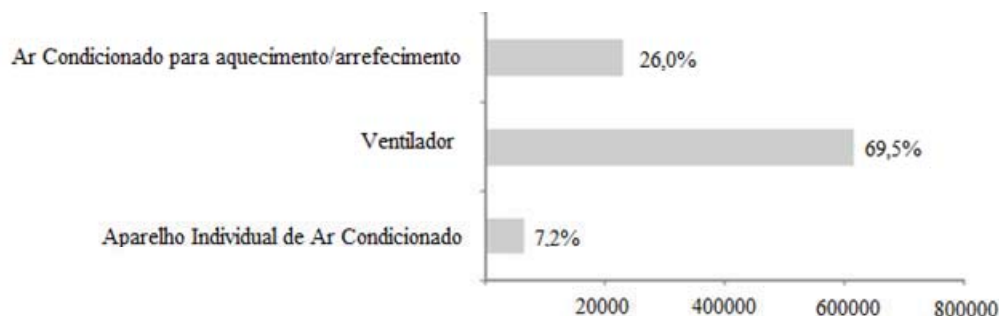


Figura 7. Sistemas de Climatização (arrefecimento) Existentes nos Alojamentos, em 2010 (%) (INE & DGGE 2011).

Em relação ao aquecimento de águas sanitárias verifica-se que a incidência da utilização da energia solar térmica, em 2010, ainda era muito reduzida nos alojamentos Portugueses (cerca de 2%). Apesar da segunda versão do RCCTE (RCCTE 2006), que define a instalação de painéis solares térmicos como obrigatória, ter entrado em vigor em 2006, a crise económica que se seguiu teve início no Verão de 2007, levando muitos promotores a desistirem dos seus investimentos.

Em média os painéis solares térmicos possuíam uma área de 3,8 m<sup>2</sup> por habitação, predominando os sistemas termossifão que utilizam a eletricidade como energia de apoio. Como é possível observar na Figura 8 a maioria dos edifícios em Portugal utilizava, em 2010, um esquentador para aquecimento das AQS (79%).

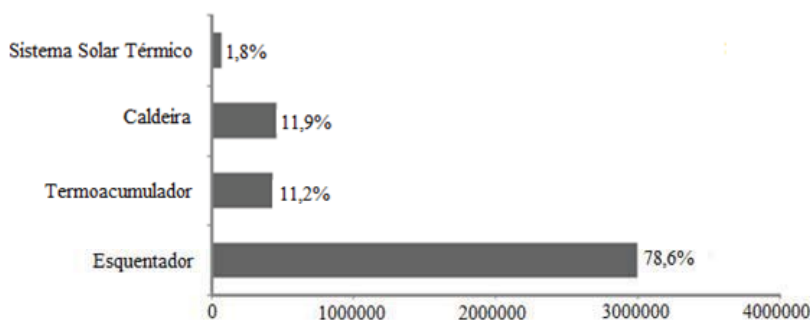


Figura 8. Sistemas de Aquecimento de AQS Existentes nos Alojamentos, em 2010 (%) (INE & DGGE 2011).

Na Figura 9, é possível verificar que, em 2010, o aquecimento das AQS, no que diz respeito à fonte de energia, era maioritariamente realizado através de eletricidade seguida de GPL (garrafa butano).

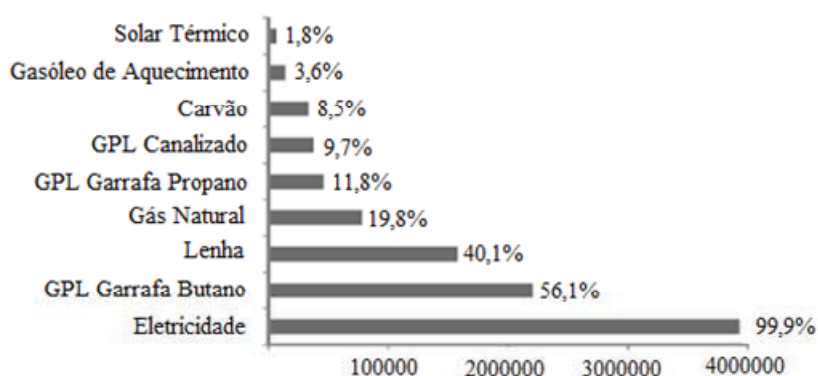


Figura 9. Fonte de Energia dos Sistemas de Aquecimento de AQS, nos Alojamentos, em 2010 (%) (INE & DGGE 2011).

Em 2010, um alojamento com uma área média de 50,6 m<sup>2</sup> consumia 0,316 tep, o que corresponde a uma despesa global por alojamento, de 840 € (INE & DGGE 2011).

#### 4 EVOLUÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO RESIDENCIAL, POR TIPO DE FONTE

Observando a evolução do consumo de energia no sector doméstico, por tipo de fonte (Figura 10), verifica-se que, em 2010, a eletricidade foi a principal fonte de energia consumida, representando 42,6% do total de energia consumida neste sector, seguindo-se a lenha com 24,2%. O GPL Garrafa, era a terceira fonte de energia mais utilizada, com 19% (gás butano com 81,9% e o gás propano com 18,1%), o gás natural representava cerca de 9% do consumo de energia e o gasóleo de aquecimento 3,6% (INE & DGGE 2011).

As fontes de energia menos representativas no consumo energético dos alojamentos eram o GPL canalizado que representava 2,4% do consumo e o carvão (maioritariamente vegetal) com 0,2% do consumo energético (Figura 10) (INE & DGGE 2011).

As fontes de energia mais consumidas não coincidem totalmente com as fontes de energia mais dispendiosas. Assim, as fontes de energia mais consumidas são a eletricidade, a lenha e o GPL de garrafa enquanto as fontes de energia mais dispendiosas são o gasóleo de aquecimento (765 €/alojamento), a eletricidade (523 €/alojamento), o GPL de garrafa (gás propano 312 €/alojamento) e o GPL canalizado (297 €/alojamento). A lenha é a segunda fonte de energia mais utilizada, por ser uma fonte de energia barata (171 €/alojamento), apenas o carvão é mais barato com uma média de 21 €/alojamento.

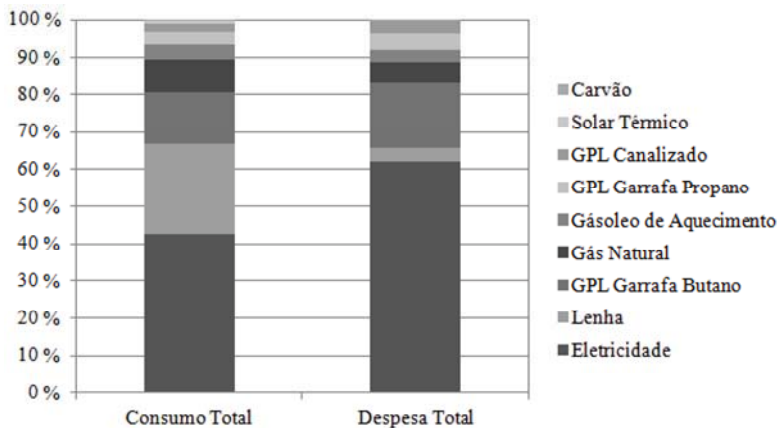


Figura 10. Consumo (tep) e Despesa (€) total, nos Alojamentos, em 2010 (INE & DGGE 2011).

O consumo de fontes de energia renováveis (tendo sido também considerados o carvão vegetal, lenha e solar térmico), no sector doméstico, representava em 2010, cerca de 25% do consumo total de energia nos alojamentos, sendo a contribuição da lenha o fator mais relevante. A energia solar térmica apresenta ainda uma reduzida expressão no consumo de energia nos alojamentos, correspondendo a apenas 0,7% do consumo total (INE & DGGE 2011).

O total das emissões de CO<sub>2</sub>, em 2010, foi estimado em 11,5 milhões de toneladas, sendo que 21,5% do total de emissões estavam associados ao consumo de energia nos alojamentos (2,5 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> e 628 kg CO<sub>2</sub>/alojamento). Contudo a grande fatia estava associada ao consumo de combustíveis em veículos afetos aos indivíduos residentes nos alojamentos, com 78,5% do total das emissões de CO<sub>2</sub> (INE & DGGE 2011).

Verifica-se assim que uma vez que a eletricidade é a fonte de energia mais utilizada nos alojamentos residenciais, existe potencial para a instalação de painéis fotovoltaicos e de microturbinas eólicas para a produção local de energia elétrica e assim diminuir a dependência do consumo desta fonte.

## 5 CONCLUSÃO

O consumo energético dos edifícios residenciais tem crescido nos últimos anos. Este crescimento está maioritariamente associado ao aumento das exigências de conforto térmico nos edifícios e devido ao crescente número de equipamentos elétricos introduzido nas habitações.

Verificou-se que a principal fonte de energia utilizada nas habitações, em 2010, foi a eletricidade, sendo predominantemente utilizada nos equipamentos de cozinha, no aquecimento de AQS e no aquecimento e arrefecimento ambiente.

Os esquentadores são o sistema mais utilizado para o aquecimento de AQS (em 2010), sendo a taxa de implantação de coletores solares térmicos muito reduzida. Esta baixa implementação deve-se ao fato de apenas terem decorrido quatro anos desde a implementação da segunda versão do RCCTE (RCCTE 2006) (que tornou obrigatória a utilização destes equipamentos) e à crise que se fez sentir no setor da construção.

Relativamente ao aquecimento ambiente, a maioria dos alojamentos possui unidades de aquecimento individuais (aquecedores a eletricidade), seguindo-se a utilização de lareiras abertas e das lareiras com recuperador de calor. As lareiras são uma fonte de aquecimento dos espaços muito utilizada, quer devido à sua ampla difusão, uma vez que são o sistema de aquecimento mais antigo que existe, quer devido aos menores custos da fonte energética (a lenha).

Os sistemas de climatização central para aquecimento dos espaços ainda são pouco utilizados. Relativamente aos sistemas de arrefecimento os ventiladores, são o sistema mecânico mais utilizado.

Uma vez que a maioria dos edifícios em Portugal foi construída numa época em que não existia qualquer regulamentação específica no âmbito do desempenho térmico de edifícios, existe no parque habitacional um enorme potencial para a reabilitação energética dos mesmos.

Devido à grande degradação e falta de condições no parque habitacional, a introdução de energias renováveis nos edifícios, nomeadamente, da energia solar térmica para aquecimento de AQS mas também para aquecimento dos espaços (neste caso, associada a um sistema central) constituiria um importante contributo para eficiência energética dos edifícios, e consequente diminuição da fatura energética das habitações Portuguesas, aumentando também as condições de conforto térmico dos ocupantes.

## REFERÊNCIAS

- DGGE. 2010. Maio de 2011. *A fatura energética Portuguesa (2010)*. N.º 26. Lisboa: Direcção-Geral de Energia e Geologia, Ministério da economia da inovação e do desenvolvimento.
- DGGE. 2011. Direcção Geral de Geologia e Energia - <http://www.dgge.pt/>, site consultado a 29 de Janeiro de 2011.
- INE & DGGE. 2011. *Inquérito ao Consumo de Energia no sector doméstico 2010*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística I.P. e Direcção-Geral de Energia e Geologia.
- RCCTE. 1990. *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*, Decreto-Lei nº 40/90, de 6 de Fevereiro de 1990. Lisboa.
- RCCTE. 2006. *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*, Decreto-Lei nº 80/06, de 4 de Abril de 2006. Lisboa.
- RGEU. 1951. *Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU)*, Decreto-Lei n.º 38382, de 7 de Agosto de 1951. Lisboa.

# Princípios de racionalização energética na arquitectura vernacular

Jorge Fernandes

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal*  
*jepfernandes@sapo.pt*

Ricardo Mateus

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal*  
*ricardomateus@civil.uminho.pt*

**RESUMO:** A arquitectura vernacular caracteriza-se por materializar formalmente uma pluralidade de condicionalismos – geográficos, climáticos e económicos – dos locais onde se insere. Estas implicações traduzem-se na diferenciação regional das estratégias usadas para mitigar os efeitos do clima. Apesar das condições de conforto destas construções não se enquadrarem nos parâmetros actuais, as estratégias adoptadas apresentam potencial de evolução e adaptação à contemporaneidade. Na altura, a fragilidade económica de grande parte das famílias levava à adopção de soluções pragmáticas e de profunda racionalização dos recursos disponíveis. O abandono destas abordagens arquitectónicas em detrimento de uma arquitectura universal baseada em materiais industriais, desarraigada do seu meio, levou a um tipo de construção muito dependente de energia para se garantirem os requisitos de conforto dos ocupantes. Num momento de viragem, promovido pelos actuais contextos ambiental e económico, em que se procuram formas de energia mais limpas e edifícios mais eficientes, é pertinente voltar ao passado para estudar e compreender estas formas de construção intrínsecas ao lugar, com o intuito de adaptar e desenvolver as suas mais-valias na descoberta das formas do futuro.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o conceito de eficiência energética tornou-se um tema dominante no debate da Arquitectura e edificação. A questão é particularmente relevante quando o parque edificado representa cerca de 40% do consumo total de energia na União Europeia (EPBD, 2010), sendo a indústria da construção um dos maiores e mais activos sectores em toda a Europa, representando 28,1% e 7,5% do emprego na indústria e em toda a economia europeia, respectivamente (Torgal & Jalali, 2010). Ao nível do impacte ambiental, esta indústria de elevada intensidade energética é responsável por cerca de 30% das emissões de carbono (Torgal & Jalali, 2010). Adicionalmente, a nível mundial, a indústria da construção consome mais matérias-primas (quase 50% em massa) que qualquer outra actividade económica. Com o intuito de mitigar esse impacte, a União Europeia traçou um caminho para uma construção mais eficiente, estabelecendo como objectivos de médio prazo a redução de 50% do consumo de energia, a redução de 30% das matérias-primas e a redução de 40% da produção de resíduos (Torgal & Jalali, 2010). Este objectivos seguem no sentido da promoção da utilização eficiente dos recursos naturais disponíveis – em vários casos com reservas apenas para escassas dezenas de anos – e consequentemente que se encare de outra forma uma das principais causas de esgotamento, a construção (Bellanger & Lallement, 2008). Este problema tem-se agudizado com a pressão causada pelo crescimento exponencial da população mundial e as consequentes necessidades em termos de construção de edifícios e de outras infraestruturas.

Para complementar os objectivos anteriormente referidos é premente encontrar novas formas de construir, mas torna-se pertinente pensar o futuro da construção assente na reflexão sobre o que foi o seu passado, segundo alguns autores, mais sustentável.

A arquitectura vernácula é um exemplo de um tipo de construção do passado que importa

analisar. Baseada na repetição de soluções, e aprimorada ao longo de sucessivas gerações de artificios, é o reflexo de um tempo em que ainda se sabia como lidar com os poucos recursos de que se dispunha, o que permitia tirar partido dessa aparente desvantagem. Com as tecnologias possíveis e materiais locais, estas construções tornaram-se elementos caracterizadores dos lugares assimilando “o contexto dos homens e dos sítios” (Ribeiro, 2008). Na *Carta sobre o património vernáculo* este tipo de arquitectura é caracterizado como “a expressão fundamental da cultura de uma comunidade, do seu relacionamento com o seu território”, representando “a forma tradicional e natural pela qual as comunidades habitavam” num “processo contínuo que inclui as necessárias modificações e adaptações contínuas como resposta às restrições sociais e ambientais” (AAVV, 1999).

Numa época de globalização – iniciada com a Revolução Industrial e agudizada com o Movimento Moderno –, que contribui para uma homogeneização insípida das culturas e, por consequência, dos seus modos de construir (Ribeiro, 2008), a arquitectura vernacular afirma-se cada vez mais como sendo um elemento-chave para o reatar da discussão sobre a identidade e sobre a pertinência de se voltar a uma construção intrínseca ao lugar. Esta poderá contribuir para a redução do desperdício e dos consumos energéticos através da utilização de técnicas tradicionais e materiais locais, desenvolvidos com base na necessidade de adaptação a um território e clima específicos (Ribeiro, 2008).

Com este trabalho pretende-se demonstrar que a arquitectura vernacular poderá contribuir para melhorar a eficiência energética na construção. As estratégias de adaptação ao clima, e demais variáveis dos contextos em que se inserem, por possuírem um reduzido índice tecnológico e pouco dependentes de energias não renováveis, possuem um potencial de aplicação à contemporaneidade e, como tal, são pertinentes casos de estudo.

## 2 DA ARQUITECTURA VERNACULAR AOS DESAFIOS DA ACTUALIDADE

### 2.1 *Enquadramento*

No passado, os edifícios eram construídos usando medidas passivas, simples e engenhosas, devido à carência de tecnologia que permitisse a maximização das condições conforto sem a utilização dos recursos naturais disponíveis. Estas medidas passavam por preocupações pertinentes, advindas, entre outras, das características geográficas, insolação, orientação, geometria, forma e materiais; presentes desde que o Homem teve necessidade de construir um abrigo para se proteger. Ainda sem dominar o conceito de energia térmica, nem conhecer as leis da termodinâmica, o Homem tinha, por via sensorial e empírica, a noção da relação existente entre o clima, forma, material de construção e o bem-estar físico. Muitas gerações foram necessárias para que os povos das mais diversas culturas chegassem, empiricamente, à criação de formas e processos de construção, com estilos e características próprios, relacionados perfeitamente com os diferentes tipos de clima e com as diversas características geográficas. Alguns desses exemplos são os casos que se apresentam na Figura 1: as torres de vento do Irão são um exemplo de um sistema de arrefecimento passivo em que o vento captado é arrefecido pelo contacto com as paredes da torre e com vasos porosos, ou pequenas fontes, contendo água e posteriormente distribuído pelas diversas divisões do edifício removendo as cargas térmicas existentes (Testard-Vaillant, 2007); as casas de madeira típicas dos países nórdicos, onde as florestas abundam, utilizam este material há milhares de anos porque permite proteger do calor do verão e isolar do frio invernal; os yurts, habitações transportáveis da Ásia central e da Mongólia, são compostas por uma estrutura de madeira coberta de tecido impermeabilizado com leite de burra fermentado e correias tecidas em lã. Este tipo de habitação apresenta uma grande resistência aos invernos polares, aos ventos fortes e ao calor tórrido das planícies (Testard-Vaillant, 2007).

Durante milhares de anos, desde o aparecimento dos primeiros aglomerados populacionais no Neolítico, a arquitectura vernacular evoluiu parcimoniosamente em função das necessidades das populações. As competências inerentes a esta foram sendo transmitidas pelas comunidades de geração em geração, até ao momento em que a Revolução Industrial e as grandes alterações consequentes quebraram esta linha evolutiva do conhecimento vernacular.

Na segunda metade do séc. XVIII, a Revolução Industrial marca o início de uma nova era, com profundas alterações a todos os níveis. A crescente euforia tecnológica dá início à ruptura com as tradições. As populações rurais, na expectativa de uma vida melhor nos meios urbanos, iniciam



Figura 1. (à esquerda) Torre de vento (Gryffindor, 2008); (ao centro) Habitação tradicional norueguesa (PhotoXpress, 2011); (à direita) Yurt mongol (Adagio, 2007)

um êxodo rumo às cidades para se tornarem parte da mão-de-obra das novas indústrias. A desertificação dos meios rurais levou a que estratos de conhecimento e experiência, acumulados ao longo de milhares de anos, se comesçassem a perder. Ao mesmo tempo que as fábricas proliferavam surgia também a necessidade de albergar a sua mão-de-obra. Os chamados bairros operários cresciam proporcionalmente com a indústria e caracterizavam-se por apresentarem condições miseráveis e desumanas de habitabilidade, pois para além da grande densidade, quase não possuíam luz nem ventilação (Figura 2). Este constitui um período negro na história da habitação do homem (Goitia, 1996).

A industrialização proporcionou o surgimento de novos materiais e o desenvolvimento tecnológico de outros, de onde se destacam o vidro, o cimento e o aço. A utilização crescente destes novos materiais industrializados e padronizados, homogeneizaram as distintas formas de construção – assim como os modos de viver –, até então dependentes dos materiais disponíveis no lugar.

Mas é no séc. XX que as raízes com o passado vernacular são definitivamente quebradas. No início do século, a transparência, a luz, o ar e o sol tornaram-se as bandeiras do Movimento Moderno. Artistas e arquitectos propagaram estruturas cristalinas como modelos ideais higienistas em antítese às cidades sujas e negras da revolução industrial. A proliferação global deste pensamento, revolucionário e necessário, lentamente se começou a interiorizar nas diversas culturas. As imagens fortes de uma arquitectura que se assumia como universal – aplicável a qualquer geografia – e alguns erros de mimetização de modelos começaram a erodir as culturas mais tradicionais, por vezes mais pobres, que viam nestes o reflexo de uma vida melhor. A inadequação destes modelos a contextos diferentes daqueles para os quais tinham sido inicialmente pensados, levou à descaracterização e ao esquecimento de formas e modos de construir vernaculares (Cerqueira, 2005).

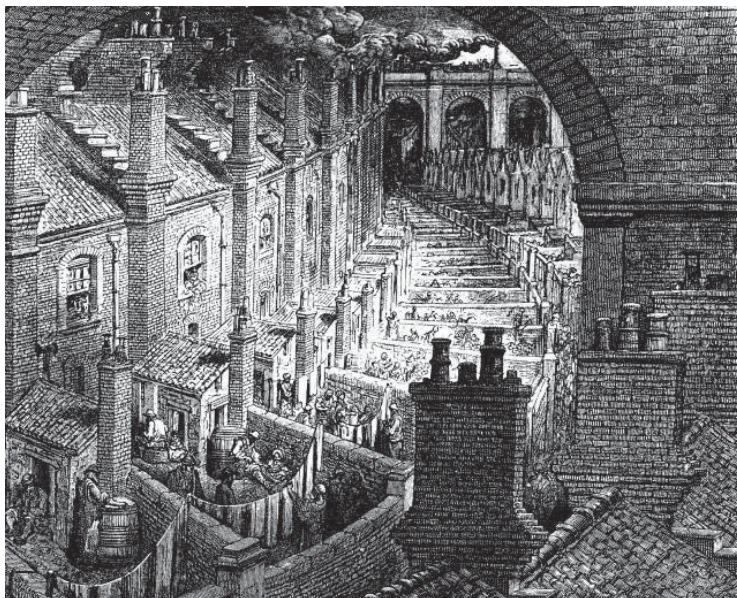


Figura 2. Ilustração de bairro londrino do séc. XIX (Gustave Doré, “Over London by rail”, 1872).

A Arquitectura Moderna, ao basear-se em materiais industriais com fracas resistências térmicas, com destaque para as grandes superfícies envidraçadas, era muito vulnerável às oscilações das temperaturas exteriores e consequentemente muito dependente de sistemas mecânicos de climatização para garantir as condições de conforto interior. No entanto, em 1926, a descoberta do *freon* e das demais tecnologias de arrefecimento, levou a crer que o conforto térmico no interior dos edifícios poderia ser alcançado recorrendo exclusivamente a meios mecânicos. A arquitectura do séc. XX atingia assim o prodígio de tornar confortável o ambiente interior dos edifícios, independentemente do quão desfavorável fossem o ambiente exterior e as tecnologias construtivas utilizadas.

Os anos 40 foram fulcrais para disseminação das novas tecnologias de climatização. A descoberta de novos poços de petróleo fez a economia de certos países florescer e permitiu a produção e distribuição massiva da electricidade. A disponibilidade fácil e barata de combustíveis fósseis e de energia eléctrica favoreceu a célere adopção destas tecnologias, colocando em causa uma cultura arquitectónica que até então se baseava na relação directa entre os requisitos funcionais, sociais e de adaptação dos edifícios às condições locais. Entendidos como um reflexo de subdesenvolvimento e pobreza, os edifícios tradicionais foram sendo abandonados (Gallo *et al*, 1998).

Nos países industrializados, no início da segunda metade do séc. XX, as medidas activas de climatização ganharam predominância. Esta situação atingiu o seu auge durante o *boom* de construção pós-Segunda Guerra Mundial, em que as medidas activas eram consideradas como um meio simples e eficaz para satisfazer as necessidades de conforto nos edifícios. Neste processo, a arquitectura perdeu a sua ligação ao “sítio” e esqueceu definitivamente as suas raízes, resultado da desatenção em relação aos verdadeiros custos desta forma de “progresso”.

Em 1973, a crise energética vem demonstrar a dependência de combustíveis fósseis e a finitude destes recursos. Esta crise levantou questões, até aí equacionadas por poucos, sobre a necessidade de construir tendo em atenção o clima do lugar. Um ano antes, o Clube de Roma publicou o seu primeiro relatório, com o título “The Limits to Growth” (Meadows, D. L. *et al*, 1972), lançando avisos sobre a necessidade de pensar nos limites do crescimento sendo, inicialmente, ignorado pela Arquitectura. Este relatório lançou as bases sobre as quais se desenvolveu o então chamado edifício ecológico. Os seus tópicos eram o regresso às formas de construção tradicionais, o uso de materiais naturais, fontes de energias renováveis e energia solar. No entanto, a descoberta de novas jazidas de petróleo nos anos seguintes esbateu a crise e a vontade de concretizar estas ideias (Schittich, 2003).

Apesar da aparente abundância de petróleo, a investigação sobre a eficiência energética não cessou e na década de 90 a arquitectura que acompanhava a tendência caracterizava-se por apresentar um elevado índice tecnológico. Aos grandes gabinetes de projecto foi incumbida a tarefa de elaborar soluções engenhosas, de qualidade formal e de utilização optimizada dos recursos energéticos, com base em energias renováveis e não poluentes. Mas o objectivo da sustentabilidade energética concentrava-se primordialmente no desenvolvimento de soluções inteligentes e activas para a envolvente, que combinavam sensores com novos materiais em sistemas cada vez mais complexos (Abalos, 2009). No entanto, por vezes, esta procura de soluções tecnologicamente avançadas dá origem a ambiguidades. A proliferação de tecnologia sem critérios gerou edifícios controlados por essa mesma tecnologia, perdendo-se a relação com o lugar e com o clima deste.

Pode-se afirmar que os materiais industrializados baratos foram essenciais para atingir a economia e rapidez de construção. Esta forte disseminação permitiu que estes se impusessem no mercado e que as técnicas e materiais tradicionais se tornassem, como ainda são, marginais em relação ao comum na construção.

No início da segunda década do séc. XXI, são prioridades inadiáveis a redução das emissões de CO<sub>2</sub> e a re(criação) de uma arquitectura sustentável. No momento em que a sociedade se depara com a necessidade premente de reduzir os custos energéticos dos edifícios é pertinente olhar as estratégias utilizadas em tempos mais remotos, em que a energia não estava prontamente disponível e em que as máquinas não existiam, onde os artificios tinham de estudar e experimentar outros sistemas que optimizassem o conforto do ambiente interior dos edifícios.

## 2.2 As culpas do Movimento Moderno

O Movimento Moderno emerge no contexto revolucionário das artes plásticas do início do séc. XX, que se caracterizam por uma ruptura com a tradição académica, ao qual este movimento

arquitectónico não é indiferente. Inebriada pelos novos progressos tecnológicos, como o automóvel, a arquitectura moderna despoleta uma ruptura com o passado e com as formas tradicionais de construção, crente que as transformações no espaço de habitar se reflectiriam na transformação da vida de cada habitante e da sociedade em geral. Animados por esta crença, os arquitectos modernos pretendiam ensinar as pessoas a viver sem tentarem compreender previamente as condicionantes históricas específicas que moldaram os modos de habitar de cada população, entendendo que todos os seres humanos apresentam as mesmas necessidades independentemente da cultura e geografia onde se encontram (Montaner, 2001). Estes partiam do princípio que as formas e o espaço racionalista são universais e aplicáveis a qualquer zona da Terra e que a arquitectura tinha a obrigação de contribuir para o esbatimento das diferenças culturais e das desigualdades sociais, uma homogeneidade que tornaria o mundo um local melhor para se viver (Cerqueira, 2005). O ser humano foi interpretado como um indivíduo de comportamentos previsíveis e tipificados cuja casa seria uma “máquina de habitar”, conforme descreveu Le Corbusier. A casa-máquina, para além dos argumentos filosóficos e estéticos, tinha a seu favor a rapidez de construção e o custo reduzido, que serviam os objectivos da sociedade da época. O resultado foi a proliferação de monótonas tipologias de construção, indiferentes ao local onde se inseriam, pensadas apenas para responder às necessidades de um habitante idealizado, mais tarde explicitado pelo sistema de proporções antropométricas “Modulor” de Le Corbusier (Montaner, 2001; Cerqueira, 2005), que se encontra apresentado na Figura 3.

As grandes linhas orientadoras do movimento foram estabelecidas no Congresso Internacional da Arquitectura Moderna (CIAM), que, na Declaração de La Sarraz de 1928, enfatiza a necessidade de uma economia e de uma industrialização planeadas, defendendo a introdução de dimensões normativas e métodos de produção eficientes como um primeiro passo para a industrialização da construção, requisito inicial para que a construção de edifícios aumente e os métodos da era artesanal sejam abandonados (Frampton, 2003).

Apesar das preocupações de alguns na adaptação dos edifícios ao clima, os princípios formais do Movimento Moderno e do International Style – transparência das fachadas, paredes de vidro, a planta livre, a arquitectura do volume como um jogo de planos mais do que como massa (Montaner, 2001) – são susceptíveis de gerar edifícios com mau desempenho térmico e inadequados aos climas dos lugares. Se atentarmos a estes princípios formais em contraponto com as suas consequências energéticas, encontram-se vários pontos fracos em termos de adaptação ao clima. A utilização da planta livre permite uma relação mais directa entre o interior e o invólucro exterior, o que conduz a uma maior perda de calor; a libertação da fachada em relação à estrutura e a adopção de grandes envidraçados dá origem a edifícios de inércia fraca, resultando em maiores flutuações da temperatura interior entre o dia e a noite, com ganhos solares elevados (benéfico no Inverno) mas com elevadas perdas de calor devido à fraca resistência térmica do vidro, ferro e betão (Graça, 2000). No entanto, saliente-se que a mentalidade da época considerava que o petróleo era ilimitado e, como tal, as preocupações energéticas não eram uma premissa, o que não invalida a análise dos seus erros, mesmo que inconscientes.

A ausência de relação entre a arquitectura e o lugar levou à rejeição do Movimento Moderno por parte dos cidadãos. Desta rejeição nasce a necessidade de se redefinir o espaço de habitar tomando em consideração o passado vernacular (Montaner, 2001).

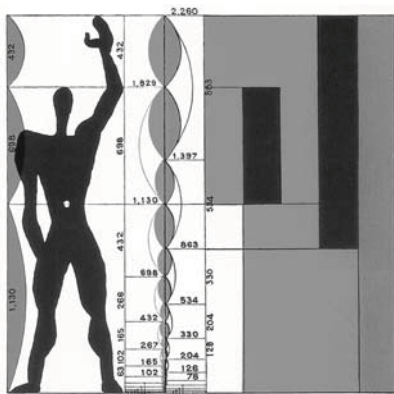


Figura 3. Modulor, Le Corbusier (1942) (Corbusier, 1998)

### 2.3 O contributo da arquitectura vernacular para a eficiência energética na construção

A arquitectura vernacular é um dos mais significativos e marcantes aspectos da intervenção humana na paisagem, em que, na sua pluralidade de tipos, se manifestam diversos condicionamentos – geográficos, económicos, sociais, históricos e culturais – dos locais e dos grupos populacionais que as constroem e habitam (Oliveira & Galhano, 1992). Este tipo de construção caracteriza-se por ser um produto imediato da relação do Homem com o meio natural envolvente, na necessidade básica de um abrigo para o primeiro e na procura de harmonia com o segundo. Estas implicações traduzem-se numa diferenciação regional pela utilização de materiais e técnicas locais, pela adaptação às especificidades climáticas, à estrutura familiar e respectiva actividade económica e aos costumes da comunidade (Oliveira & Galhano, 1992; Cerqueira, 2005).

Esta arquitectura moldada por múltiplos condicionamentos pauta-se pela optimização dos poucos recursos que as populações possuíam. Nada era preferido, preterido ou ignorado porque as comunidades tinham a noção, por via empírica, que o seu bem-estar dependia intrinsecamente do equilíbrio com o meio envolvente. Por estes motivos, o conhecimento inerente a este tipo de arquitectura deverá constituir a base de um desenvolvimento sustentado (Pinto, 1998; Ribeiro, 2008).

A temática da arquitectura vernacular continua a suscitar interesse a nível internacional, surgindo actualmente associado à consciência da necessidade de promoção de uma construção sustentável (Ribeiro, 2008). A título de exemplo referem-se os trabalhos publicados por Testard-Vaillant (2007) e Cañas & Martín (2004).

O reconhecimento da importância da salvaguarda do património vernacular por parte de diversas instituições internacionais são contributos que demonstram a importância deste legado, tanto do ponto de vista identitário como económico (MEDA-CORPUS, 2011). São exemplos disso o *International Council On Monuments and Sites* (ICOMOS), nomeadamente a “Carta sobre o património construído vernáculo” de 1999, ou a iniciativa MEDA com o projecto CORPUS – financiado pela União Europeia –, que representa uma parceria entre os países mediterrânicos para o levantamento do seu património tradicional. Também de realçar nestas iniciativas é a visão deste património, não apenas como um passado que importa registar e preservar, mas um património que importa saber fazer evoluir, tal como referido na “Carta sobre o património construído vernáculo” (AAVV, 1999). No mesmo documento são propostos alguns desses princípios em linhas gerais e que passam por princípios de conservação e linhas de orientação prática: investigação; importância da localização; adaptação e alteração de usos; a importância da formação de profissionais e das comunidades; o intercâmbio de competências e experiências entre redes regionais; entre outros (AAVV, 1999).

Encarar o património vernacular como um factor privilegiado de desenvolvimento local é o ponto de partida para a sua valorização e protecção. Este poderá ter um contributo para a dinamização das economias locais através da investigação, formação de profissionais nas técnicas tradicionais e pelas próprias acções de conservação ou adaptação do património vernacular existente. A disseminação e o sucesso destas acções poderão mesmo vir a fomentar o renascer das pequenas indústrias de materiais tradicionais locais, permitindo reduzir as necessidades de energia na produção e transporte destes.

Estes tipos de arquitectura com carácter são um exemplo da relação de afinidade que os povos estabeleceram com a natureza, também esta com uma personalidade própria. Esta relação foi há muito incarnada no conceito mitológico romano de *Genius Loci*, que associa a cada local uma divindade responsável pelo seu destino, pelo que a escolha de um local para implantar um edifício ou uma cidade estaria condicionada pelas características e temperamento dessa divindade (Cerqueira, 2005). Referido há mais de 2000 anos por Vitruvius, no livro I do seu Tratado de Arquitectura, o conceito é abordado de forma mais pragmática sobre a importância de saber escolher um lugar para edificar, passando pela análise dos fígados dos animais desse local e respectivas plantas, discernindo desta forma a qualidade da água e das pastagens e o tipo de solo existente, entre outros (Vitruvius, 2006).

A particularidade do lugar, na sua dimensão holística, é provavelmente a principal denominadora da forma arquitectónica vernacular. Não foi de forma aleatória que se cunharam diferenças significativas entre as habitações do norte de África e as do norte da Europa ou, no contexto nacional, entre a habitação transmontana e a habitação do interior alentejano. Desta mutação das

formas arquitectónicas depreende-se o seu esforço de adaptação de modo a propiciar as melhores condições de conforto para os seus ocupantes. A importância destas na arquitectura sustentável é descrita num diagrama criado por Stefan Behling, do gabinete de arquitectura Foster+Partners, juntamente com o gabinete de engenharia Arup. Este diagrama apresenta dois triângulos que questionam o futuro do sistema aditivo (adicionar camadas, adicionar despesas, adicionar sofisticação) como suporte da sustentabilidade (Figura 4). O diagrama apresenta como alternativa a este sistema uma taxonomia de sustentabilidade baseada em sistemas activos, sistemas passivos e forma arquitectónica – com a inversão da importância dos vários sistemas em jogo. Na inversão verifica-se que restabelecem a primazia para a forma arquitectónica, uma mudança apoiada por arquitectos e por todos aqueles que defendem a história das tipologias arquitectónicas como elementos que fornecem lições de sustentabilidade através das condições específicas da evolução (Abalos, 2009). No entanto, parece pertinente acrescentar um novo triângulo ao diagrama e que represente o Passado, e este apenas constituído por dois sistemas: forma arquitectónica e sistemas passivos. Este novo triângulo é de enorme relevância para assentar a definição do futuro.

A definição do futuro deverá procurar integrar a tradição com a modernidade, estabelecendo-se assim um sistema híbrido, num cruzamento que funda materiais inteligentes com materiais tradicionais e permita explorar novos conceitos estéticos e funcionais (Abalos, 2009). Ignorar todo o conhecimento e potencial tecnológico existente actualmente seria um erro, quando se visa atingir edifícios de elevado desempenho (Leatherbarrow & Wesley, 2009).

No contexto complexo em que a arquitectura se posiciona, pela multiplicidade de elementos que gere e influencia, agora agravada pela complexidade das questões ambientais, é erróneo pensar que só existe um modelo de arquitectura sustentável (Zardini, 2009). Considerando que a arquitectura vernacular congrega na sua definição as várias manifestações arquitectónicas específicas de cada lugar, pode-se afirmar que há várias soluções para atingir uma construção mais sustentável. Basta agora saber olhar para trás para interpretar e compreender o que de melhor pode ser transposto para a contemporaneidade, validando cientificamente essas soluções de modo a credibilizar e fomentar a sua utilização.

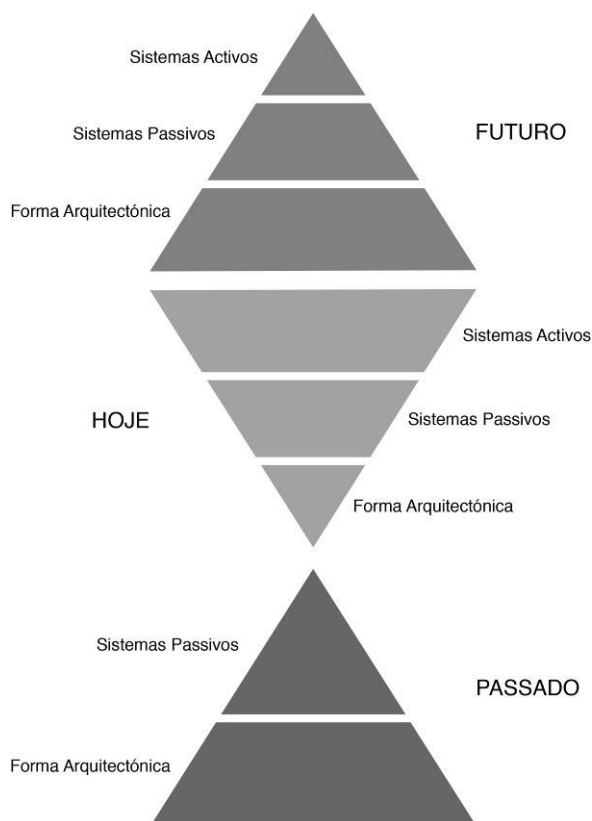


Figura 4. Diagrama de Behling (triângulos Hoje e Futuro), (Abalos, 2009).

A arquitectura vernacular em Portugal, pela sua multiplicidade de tipos, apresenta uma profusa variedade de estratégias de mitigação dos efeitos do clima, das quais se apresentam alguns exemplos pertinentes para a discussão da eficiência energética nos edifícios recorrendo a meios passivos:

- Organização urbana — o local onde se implantam e a forma como se organizam os povoados são reflexo de diversas influências orográficas, climáticas, económicas e sociais, das quais os seus habitantes tentam tirar proveito. Exemplo disso é Montes, no concelho de Vila Real, implantado num vale, na encosta orientada a sul (AAVV, 1980), procurando simultaneamente proteger-se dos ventos e captar ganhos solares tão necessários numa região de invernos rigorosos (Figura 5). Com intenção diferente, ou seja, reduzir os ganhos solares e promover o arrefecimento, encontramos Évora. As suas ruas são estreitas e sinuosas formando estruturas de “pátios-urbanos” que promovem a ventilação e reduzem o efeito dos ventos fortes. No período da manhã, devido à elevada inércia térmica, as paredes e os pavimentos das ruas permanecem mais frios que o ar ambiente. O ar frio, mais denso e consequentemente mais pesado, mantém-se nas ruas durante a manhã enquanto não há vento. O aglomerado compacto reduz o número de superfícies expostas à radiação e cada edifício ensombra o outro, reduzindo assim os ganhos solares pelas envolventes (Figura 6) (Fernandes, 2007);
- Promoção da ventilação – o objectivo é fomentar a circulação de ar no edifício para garantir a salubridade e o conforto térmico, particularmente útil em climas quentes para a ventilação nocturna necessária ao arrefecimento interior, sem comprometer a segurança contra a intrusão, como se vê na Figura 7. (Fernandes & Silva 2007).



Figura 5. Montes, Vila Real, (AAVV, 1980).



Figura 6. Rua de Évora e esquemas representando os fluxos de ar ao fim da tarde e noite, madrugada e princípio da manhã, respectivamente, (Fernandes, 2007).

Já numa zona com invernos intensos a intenção é reduzir as perdas de calor por ventilação, o que explica a ausência de chaminés nas habitações. Contudo, como a principal fonte de calor nesta época era a lareira existe o inconveniente de produzir fumo que se espalha pela casa. Uma forma de o solucionar é a adoptada pelas construções da aldeia de Paul, na Beira Alta, em que a cozinha se localiza no último piso para que o fumo se dissipe pela cobertura de telha vã, localizando as outras dependências da casa nos pisos abaixo desta (Figura 7) (AAVV, 1980). Caso semelhante, mas com objectivos parcialmente diferentes, é o das habitações de Malpica do Tejo. A cozinha também se localiza no piso superior para a evacuação do fumo, mas o objectivo é também evitar os ganhos de calor no período de Verão intenso, algo corroborado pela localização do quarto no piso térreo na zona mais fresca da casa;

- Redução dos ganhos solares – no sul do país, para minimizar os ganhos de calor, adoptam-se várias estratégias que passam pela redução da dimensão dos vãos aliada a uma forte inércia térmica e à utilização de cores claras para reflectir a radiação excessiva. O uso de vegetação é também frequente, as plantas trepadeiras de folha caduca funcionam como um protector térmico das fachadas e geram um efeito de arrefecimento pela libertação de água por evapotranspiração (Figura 8) (Fernandes & Silva 2007);
- Promoção dos ganhos solares – para aproveitar os raios de sol, as varandas beirãs são elementos bem orientados entre sul e poente, quadrante que durante o inverno recebe o maior número de horas de sol com a radiação mais intensa, sendo também o mais abrigado dos ventos dominantes (Figura 8) (AAVV, 1980);
- Redução das perdas de calor/ Aproveitamento dos ganhos de calor – as coberturas de colmo são uma estratégia comumente utilizada nas áreas com invernos rigorosos pela sua capacidade de isolamento, como são os casos de Bigorne na Beira Alta e Pitões das Júnias em Trás-os-Montes. A utilização do colmo corresponde ainda ao aproveitamento de um resíduo resultante da produção de centeio (Figura 9). Tanto estas construções, como outras em regiões com invernos fortes, também se caracterizam pelo reduzido número e dimensão dos vãos abertos para o exterior. O exemplo das construções de Soajo é também relevante pela exiguidade dos seus pés-direitos (AAVV, 1980), que lhes permite aquecer rapidamente o volume de ar disponível.

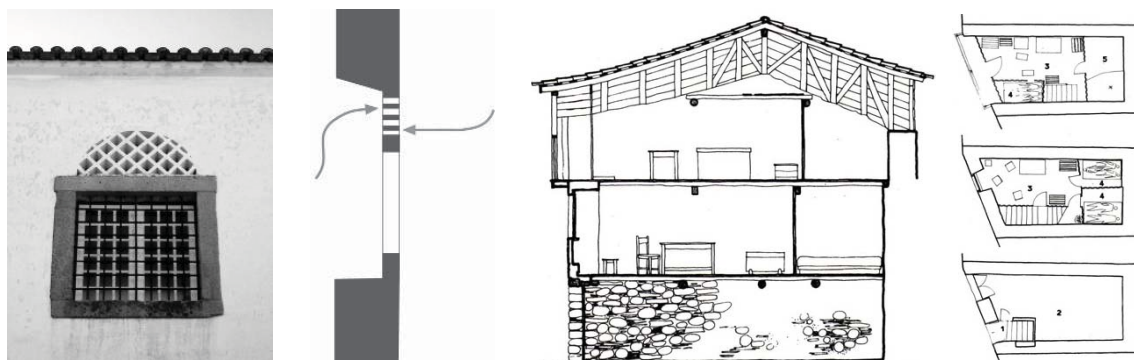


Figura 7. (à esquerda) Promoção da ventilação em edifício de Évora (Fernandes & Silva, 2007); (à direita) Habitação de 3 pisos em Paul, Beira Alta (AAVV, 1980).



Figura 8. (à esquerda) Estratégias de redução dos ganhos solares em habitações de Évora (Fernandes & Silva, 2007); (à direita) Promoção dos ganhos solares em casa beirã (AAVV, 1980)

Nos palheiros da Tocha, regista-se a colocação de caniços pelo interior das paredes mais expostas de forma a funcionar como isolante térmico (AAVV, 1980). No entanto, estas preocupações não se constatarem apenas nas envolventes dos edifícios, pois estas também estão presentes na organização funcional dos espaços. Atente-se ao caso de uma habitação em Vale de Igreja, Beira Alta, em que os quartos e as alcovas raras vezes possuem vãos para o exterior e localizam-se em redor da cozinha, de forma a aproveitar o calor aí gerado (Figura 9). Devido à escassez de madeira, logo após as refeições as famílias recolhiam-se para dormir (AAVV, 1980) Também era comum nestas regiões a colocação das lojas do gado por baixo do piso da habitação de modo a aproveitar o calor gerado por estes.

- Gestão eficiente dos recursos – as comunidades, devido à escassez de recursos, tentavam gerir da melhor forma possível os recursos disponíveis evitando desperdícios, de que são exemplo o “forno do povo”, comum nas aldeias transmontanas, ou o aproveitamento de energias renováveis por moinhos de vento ou de maré. O forno da aldeia era uma estrutura de grande importância na vida dos povoados. Os dias de funcionamento estavam escalonados a cada família e o fogo mantinha-se permanente, salvo aos domingos, o calor da lenha de uns continua pelo calor dos anteriores mantendo a optimização do rendimento do forno (Figura 10) (AAVV, 1980). Os moinhos são um dos melhores exemplos de arquitectura vernacular para aproveitamento das energias renováveis. Constata-se isso no moinhos orientável de Tabaredes, Cantanhede, executado em madeira, de formato triangular, que permite ao moleiro fazê-lo girar para o ajustar à feição do vento. Em Palhais, Barreiro, o moinho de maré funciona pela diferença de desnível entre a albufeira do moinho, que é cheia com a subida maré, e a água do esteiro que corre para o mar (Figura 10). Quando a maré desce, toda a água contida na albufeira é forçada a passar pelo moinho fazendo mover as pás deste (AAVV, 1980).

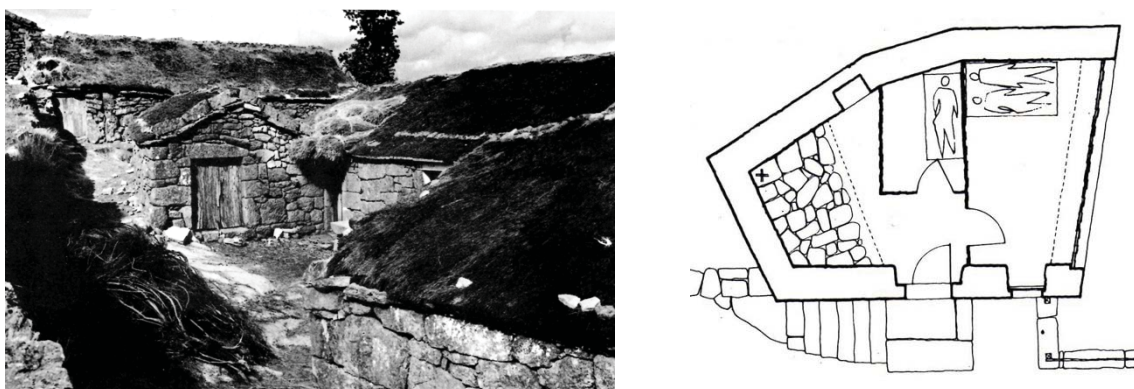


Figura 9. (à esquerda) Coberturas em colmo, Bigorne (AAVV, 1980); (à direita) Planta do andar de uma habitação em Vale de Igreja (AAVV, 1980).

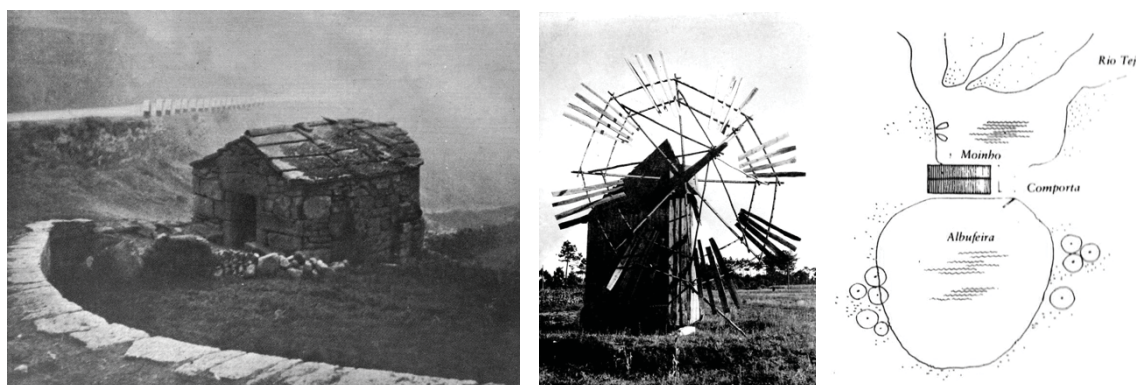


Figura 10. (à esquerda) Forno do povo, Castanheira da Chã; (ao centro) Moinho de vento orientável, Tabaredes; (à direita) Planta do funcionamento de um moinho de maré em Palhais (AAVV, 1980).

### 3 CONCLUSÃO

A arquitectura vernacular é o paradigma da estreita relação com o clima envolvente, modelada de forma pragmática pela escassez de recursos. As estratégias passivas de adaptação ao meio presentes nestas construções, aprimoradas ao longo de gerações, são particularmente relevantes nos desafios que agora se colocam à construção contemporânea.

A pluralidade de manifestações da arquitectura vernacular encerra em si um potencial de conhecimento que importa investigar e classificar do ponto de vista da optimização do comportamento solar passivo dos edifícios. A aplicação destes ensinamentos a novos edifícios é relevante quando são conhecidos os elevados consumos de energia destinados à climatização. Neste sentido, importa avaliar holisticamente esta manifestação arquitectónica, à luz do conhecimento actual, de forma a encontrar no seu conhecimento a justificação científica que credibilize e fomenta a sua aplicação no futuro. É imperativo que o desafio seja projectar edifícios que adoptem métodos passivos de climatização, onde os sistemas mecânicos não sejam mais que sistemas auxiliares, utilizados apenas quando os recursos endógenos do local não sejam suficientes para suprir as necessidades de conforto dos ocupantes. Aprendendo com o passado, o futuro poderá utilizar o potencial tecnológico existente e melhorá-lo de forma a mudar o paradigma energético em vigor. Uma habitação vernacular poderá, em muitos casos, não estar de acordo com os actuais padrões de conforto, mas a evolução dotou-a de um conjunto de estratégias passivas que a tornam mais independente de energias não renováveis na mitigação da sensação de desconforto. Através da optimização destas estratégias poder-se-ão atingir os padrões de conforto desejados reduzindo o consumo de energia fóssil.

No contexto actual, estudar a arquitectura vernacular é uma necessidade, como têm vindo a corroborar diversas publicações científicas, por ser um modelo de sapiência na utilização racional dos recursos, de adaptação ao lugar e no seu possível contributo para a sustentabilidade dos edifícios. Nesse sentido, atente-se à inspiradora reflexão de Indira Ghandi sobre a arquitectura tradicional em contraponto com a arquitectura corrente e da necessidade de melhorar e adaptar o que de melhor se aprendeu. Segundo esta personalidade política, “*Todos os edificios modernos implicam um grande consumo de energia. Têm além do mais, o inconveniente de serem quentes no Verão e frios no Inverno. Não é o caso das arquitecturas tradicionais. São necessárias as novas técnicas, mas é preciso também conservar as antigas, que reúnem os conhecimentos acumulados pelos habitantes, desde há séculos, para melhor se adaptarem às condições do clima, do meio e dos modos de vida. Não se pode conservar tudo, porque a vida evolui, mas é preciso adaptar e melhorar o que foi adquirido.*” (Gandhi, 1980).

### REFERÊNCIAS

- AAVV (1980). *Arquitectura Popular em Portugal*. Lisboa: Associação dos Arquitectos Portugueses.
- AAVV (1999). *Carta sobre o património construído vernáculo*. ICOMOS, México. Documento disponível na internet em [www.international.icomos.org/home.htm](http://www.international.icomos.org/home.htm) e acedido em 10 de Julho de 2011.
- Abalos, I. (2009). *Beauty from Sustainability?*. Harvard Design Magazine 30: (Sustainability) + Pleasure, vol.1; Harvard University Graduate School of Design, Cambridge, p. 14-17.
- Adagio (2007). Imagem disponível na internet em <http://lookaboo.com/o/pictures/picture/157771/> e acedido em 10 de Julho de 2011.
- Bellanger, B.; Lallement, L. (2008). *Une Terre pourtant pleine de ressources*. Science & Vie – Hors Série, n.º 243, p. 35-54, Juin
- Cañas, I.; Martín, S. (2004). *Recovery of Spanish vernacular construction as a model of bioclimatic architecture*. Building and Environment; n.º 39, p. 1477-1495.
- Corbusier, Le (1998). *Le Corbusier 1910-65*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili SA.
- Cerqueira, J. (2005). *O Estilo Internacional Versus Arquitectura Vernácula: O Conceito de Genius Loci*. Idearte – Revista de Teorias e Ciências da Arte – Ano I, N.º 2 (Abr/Jun – 2005), p. 41-52. Documento disponível na internet [www.idearte.org/idearte-vol-2/](http://www.idearte.org/idearte-vol-2/) e acedido em 10 de Julho de 2011.
- EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), Directiva 2010/31/UE
- Frampton, K. (2003). *História Crítica da Arquitectura Moderna*. São Paulo: Martins Fontes.
- Fernandes, J. (2007). *Arrefecimento passivo na arquitectura de Évora*. Trabalho de final d, curso. Licenciatura em Arquitectura, Universidade de Évora.

- Fernandes, J.; Silva, J. (2007). *Arrefecimento passivo na arquitectura tradicional de Évora*. Coimbra: Congresso Construção 2007 - 3.º Congresso Nacional, Universidade de Coimbra.
- Gallo, C.; Sala, M.; Sayigh, A.A. (Ed.) (1998). *Architecture: Comfort and Energy*. Pergamon.
- Gandhi, I. (1980). Taking an 'all round attitude' to science. *Nature*, Vol. 285, n.º 5761, p. 127-130. May.
- Goitia, F. C. (1996). *Breve História do Urbanismo*; Lisboa: Editorial Presença, 4.º Edição.
- Graça, J. M. (2000). *Arquitectura e clima, por quê?*. *Arquitectura e Vida*; n.º 4, p. 60-62, Maio.
- Gryffindor (2008). Imagem disponível na internet em <http://lookaboo.com/o/pictures/picture/25660518/> e acedido em 10 de Julho de 2011.
- Leatherbarrow, D.; Wesley, R. (2009). *Frameworks of Performance and Delight*. Harvard Design Magazine 30: (Sustainability) + Pleasure, vol.1; Harvard University Graduate School of Design, Cambridge, p. 84-95.
- Meadows, D. H.; Meadows, D. L.; Randers, J. (1972). *The Limits to Growth: a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York: Universe Books.
- MEDA-CORPUS (2011). Documento disponível na internet em [www.meda-corpus.net](http://www.meda-corpus.net) e acedido em 10 de Julho de 2011.
- Montaner, J. M. (2001). *Depois do movimento moderno, Arquitectura da segunda metade do séc. XX*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SA.Oliveira, E. V.; Galhano, F. (1991). *Arquitectura Tradicional Portuguesa*. Lisboa: Dom Quixote.
- Pinto, F. (1998) – O nosso passado terá de estar no nosso futuro. In Teixeira, G. B.; Belém, M. C.; *Diálogos de edificação: estudo de técnicas tradicionais de construção*; Porto: CRAT – Centro Regional de Artes Regionais, p. 144-149.
- PhotoXpress (2011). Imagem disponível na internet em <http://www.photopress.com/stock-photos/tree/old/wood/3378326> e acedido em 10 de Julho de 2011. Fotografia da autoria de Inger Anne Hulbækdal.
- Ribeiro, V. (coord. geral) (2008). *Materiais, sistemas e técnicas de construção tradicional: Contributo para o estudo da arquitectura vernácula da região oriental da serra do Caldeirão*. Edições Afrontamento e CCDR Algarve.
- Schittich, C. (Ed.) (2003). *InDetail, Solar Architecture*. München: Institut für Internationale Architektur – Dokumentation GmbH & Co.
- Testard-Vaillant, P. (2007). *Architecture – Les leçons du passé*. Science & Vie – Hors Série, n.º241, p. 68-77, Decembre
- Torgal, F. P.; Jalali, S. (2010). *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*. TecMinho.
- Vitrúvio (2006). *Tratado de Arquitectura*. Lisboa: IST Press, Instituto Superior Técnico.
- Zardini, M. (2009). *(Against) The Greenwashing of Architecture*. New Geographies 2: Landscapes of Energy; Harvard University Press, Cambridge, p. 139-147.

# Reabilitação de edifícios de habitação – Desempenhos energético e de sustentabilidade

João Carlos Bezerra

*Gepep – Gestão, Planeamento e Projecto, Lda., Ponte de Lima, Portugal*  
*jcb Bezerra@ mail.telepac.pt*

Luís Bragança

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*  
*braganca@civil.uminho.pt*

**RESUMO:** Apesar de todo um conjunto legislação mais ou menos recente de incentivo à Reabilitação, de limite aos consumos energéticos, recursos naturais e produção de resíduos, faz todo o sentido o estudo de novas ferramentas e implementação de melhores práticas, que avaliem e promovam a sustentabilidade na construção e Reabilitação.

O estado de degradação e abandono dos nossos centros históricos é cada vez mais preocupante, tornando-se necessária a rápida inversão desta situação.

Com este trabalho procede-se à análise da Reabilitação de um edifício antigo (século XIX), confrontando os desempenhos energéticos e de sustentabilidade de três níveis de intervenção designados por, *Reabilitação Básica*, *Reabilitação Energética* e *Reabilitação Sustentável*. A transição entre estes níveis propostos faz-se com a introdução de medidas de melhoria.

Os desempenhos energéticos foram avaliados com a aplicação do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e as avaliações da sustentabilidade recorrendo à ferramenta SBTTool PT – H.

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Âmbito

A escassez dos recursos naturais, o crescimento incontrolado das populações, de novas áreas urbanas e dos consumos energéticos é cada vez mais preocupante.

O abandono dos nossos centros históricos e o aumento galopante da degradação do património, não só preocupa, como agrava as condições de segurança, higiene e saúde, deprimindo a imagem das nossas cidades e vilas.

Os centros históricos e urbanos, com conjuntos riquíssimos de edifícios do ponto de vista histórico, cultural, arquitectónico e técnico, apresentam na grande maioria dos casos, avançados estados de degradação ou ruína. Estes centros históricos são a nossa imagem presente e futura.

A Indústria da Construção, um dos sectores económicos mais importantes em Portugal e na Europa, atravessa neste momento, uma das suas maiores crises.

Este cenário é totalmente incompatível com os agora cada vez mais necessários “*desenvolvimento sustentável*” e “*económico*”, tendo a Reabilitação de edifícios um importantíssimo papel a desempenhar nestes dois domínios.

O trilho do caminho da “*Reabilitação Sustentável*” só é possível, se à reabilitação pura e simples, aliarmos práticas e medidas de que reduzam na fase de intervenção, os consumos de matérias-primas, energéticos, água e produção de resíduos e na fase de utilização, os respectivos custos de utilização e manutenção sem nunca por em causa, as naturais exigências de conforto.

Para além da redução dos diferentes tipos consumo, a reabilitação potenciará a criação de emprego num sector em grande crise, a geração de riqueza e dinâmica económica, a melhoria das condições de higiene, segurança e saúde, a fixação e atracção de pessoas aos centros urbanos e a defesa e preservação do património. Um País reabilitado rejuvenesce, melhora a sua imagem e tornar-se mais apelativo no exterior.

Qualquer cidadão que invista numa reabilitação com preocupações sustentáveis, assume de imediato um encargo adicional, que não teria de assumir ao investir numa reabilitação, que muitas das vezes, nem sequer cumpre a legislação em vigor. O construtor e se for o caso, o promotor são directamente beneficiados com este adicional. No entanto e considerando uma utilização

normal de uma habitação, o cidadão ou proprietário para além de usufruir de um conforto acrescido, vê reverter claramente em seu favor com o decorrer do tempo, uma situação que lhe era totalmente adversa. A redução dos custos de utilização e manutenção, não só pode anular o esforço inicial, como representar no final da vida útil do edifício, um valor que poderá representar o actual valor do imóvel. A reabilitação valoriza o imóvel, aumenta o conforto e reduz os custos de utilização e manutenção.

Num cenário arrendamento que inevitavelmente sofrerá um incremento muito significativo nos próximos anos, é expectável que ao oferecer-se um produto de qualidade superior e diferenciado se possa auferir um melhor rendimento. Por outro lado, o arrendatário sabe que ao custo acrescido da sua renda, estão associados um maior conforto, qualidade e redução da sua factura energética.

Para o construtor que pretenda entrar e permanecer num mercado de reabilitação sustentável, terá de possuir mão-de-obra especializada e qualificada, recorrer e ser receptivo a processos construtivos inovadores, com recurso a materiais certificados e homologados e equipamentos mais eficientes. Surgirá no mercado em vantagem relativamente à concorrência convencional, apresentando ofertas diferenciadas e garantia de qualidade acrescida.

Neste mercado da reabilitação, o promotor surgirá com uma imagem e mensagem inovadora que lhe conferirá um forte potencial em marketing e publicidade. A sua posição será de vanguarda e referência no mercado que tendencialmente lhe será favorável.

Num País com um vasto e rico património por reabilitar e com grande necessidade de dinâmica no mercado imobiliário o sector da construção civil tem na reabilitação, uma oportunidade de relançamento que não pode desperdiçar.

## 1.2 Objectivos

Com a realização deste trabalho pretende-se analisar um processo de reabilitação de um edifício de habitação e tentar perceber, quais as medidas e respectivos custos associados, que devem ser implementadas de modo a alcançar uma avaliação de sustentabilidade de nível “A”.

## 1.3 Metodologias de avaliação de sustentabilidade e desempenho energético

### 1.3.1 Metodologias de avaliação de sustentabilidade

A avaliação da sustentabilidade foi realizada coma aplicação da ferramenta de avaliação SBTool PT – H. Tem origem no SBtool internacional e resulta na sua adaptação para o contexto português, tendo em conta as suas especificidades ambientais, socioculturais e económicas.

O SBTool PT – H permite a avaliação e certificação da sustentabilidade de edifícios existentes, novos e renovados assente em vinte e cinco parâmetros, distribuídos por vinte e quatro indicadores, nove categorias e três dimensões, de acordo com a estrutura que se apresenta na tabela 1.

A avaliação do desempenho de um edifício baseia-se na quantificação e normalização dos 25 parâmetros que constituem esta ferramenta. Após a quantificação, a normalização faz-se com a aplicação da equação de Diaz-Balteiro (Equação 1).

$$\bar{P}_i = \frac{P_i - P_{*i}}{P_i^* - P_{*i}} \quad (1)$$

O resultado da normalização de um parâmetro  $i$  é definido em função da quantificação de  $P_i$  e dos respectivos *benchmarks*,  $P_i^*$ ,  $P_{*i}$ , que representam respectivamente a melhor prática e a prática convencional.

A categorização dos níveis de sustentabilidade é feita numa escala constituída por seis níveis, variando do nível “E”, menos sustentável a “A<sup>+</sup>”, mais sustentável. O nível “D” corresponde à prática convencional.

Tabela 1: Estrutura da metodologia SBTool PT

| Dimensão  | Categoria                                            | Indicadores                                                                             | Parâmetro                                                                                                 |
|-----------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ambiental | C1 Alterações climáticas e qualidade do ar exterior  | Impacte ambiental associado ao ciclo de vida dos edifícios                              | P1 Valor agregado dos impactes ambientais de ciclo de vida por m <sup>2</sup> de área útil de pavimento   |
|           |                                                      | Densidade Urbana                                                                        | P2 - Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível<br>P3 - Índice de impermeabilização |
|           |                                                      |                                                                                         |                                                                                                           |
|           | C2 Biodiversidade e Uso do solo                      | Reutilização de solo previamente edificado ou contaminado                               | P4 - Percentagem de área de intervenção previamente contaminada ou edificada                              |
|           |                                                      | Uso de plantas autóctones                                                               | P5 - Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones                                          |
|           |                                                      | Efeito de ilha de calor                                                                 | P6 - Percentagem da área em planta c/ reflectância igual ou superior a 60%                                |
|           | C3 Energia                                           | Energia primária não renovável                                                          | P7 Consumo de energia primária não renovável na fase de utilização                                        |
|           |                                                      | Energia produzida localmente a partir de fontes renováveis                              | P8 Quantidade de energia que é produzida no edifício através de fontes renováveis                         |
|           |                                                      | Reutilização de materiais                                                               | P9 Percentagem em custo de materiais reutilizados                                                         |
|           | C4 Materiais e resíduos sólidos                      | Utilização de materiais reciclados                                                      | P10 Percentagem em peso do conteúdo reciclado do edifício                                                 |
|           |                                                      | Recurso a materiais certificados                                                        | P11 Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados                                |
|           |                                                      | Uso de substitutos de cimento no betão                                                  | P12 Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão                                     |
|           |                                                      | Condições de armazenamento de resíduos sólidos durante a fase de utilização do edifício | P13 Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos                  |
|           |                                                      | Consumo de água                                                                         | P14 Volume anual de água consumido <i>per capita</i> no interior do edifício                              |
|           | C5 Água                                              | Reutilização e utilização de água não potável                                           | P15 Percentagem de redução do consumo de água potável                                                     |
|           |                                                      |                                                                                         |                                                                                                           |
| Social    | C6 Conforto e saúde dos utilizadores                 | Eficiência da ventilação natural em espaços interiores                                  | P16 Potencial de ventilação natural                                                                       |
|           |                                                      | Toxidade dos materiais de acabamento                                                    | P17 Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo de COV                              |
|           |                                                      | Conforto térmico                                                                        | P18 Nível de conforto térmico médio anual                                                                 |
|           |                                                      | Conforto visual                                                                         | P19 Média do factor de luz do dia médio                                                                   |
|           |                                                      | Conforto acústico                                                                       | P20 Nível médio de isolamento acústico                                                                    |
|           | C7 Acessibilidade                                    | Acessibilidade a transportes públicos                                                   | P21 Índice de acessibilidade a transportes públicos                                                       |
|           |                                                      | Acessibilidade a amenidades                                                             | P22 Índice de acessibilidade a amenidades                                                                 |
|           | C8 Sensibilização e educação para a sustentabilidade | Formação dos ocupantes                                                                  | P23 Disponibilidade e conteúdo do Manual de Utilizador do Edifício                                        |
| Económica | C9 Custos de ciclo de vida                           | Custo do investimento inicial                                                           | P24 Custo de investimento inicial por m <sup>2</sup> de área útil                                         |
|           |                                                      | Custos de utilização                                                                    | P25 Custos de Utilização por m <sup>2</sup> de área útil                                                  |

### 1.3.2 Metodologias de avaliação do desempenho energético

O desempenho energético dos diferentes cenários de reabilitação do edifício objecto de estudo foi concretizado com a aplicação do RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril).

### 1.4 Níveis de Reabilitação do Edifício - Definição

Foram definidos três níveis de Reabilitação no edifício - *Reabilitação Básica*, *Reabilitação Energética* e *Reabilitação Sustentável*.

*Reabilitação Básica* - Assegura apenas a estabilidade estrutural e salubridade do edifício. Reabilitação minimalista com intuito de conferir condições de habitabilidade em todas as fracções. Não são cumpridos todos os requisitos legais necessários para se obter um licenciamento municipal. Este tipo de reabilitação enquadra-se na definição de obras de reconstrução com preservação das fachadas, segundo o regime jurídico da urbanização e da edificação.

*Reabilitação Energética* – Resulta da introdução de medidas de melhoria na Reabilitação Básica de modo a que se cumpram todos os requisitos regulamentares.

A obrigatoriedade do cumprimento do RCCTE implica por si só, a introdução de um conjunto de soluções construtivas e equipamentos, implícitas a qualquer processo de Reabilitação Energética. Poder-se-ia também designar este nível de Reabilitação como, *Reabilitação Convencional*.

*Reabilitação Sustentável* – É definida neste trabalho, como a necessária para a obtenção de um bom nível de sustentabilidade (A ou A<sup>+</sup>). Este foi atingido com a introdução de medidas de melhoria consideradas necessárias na Reabilitação Energética para que passe a sustentável.

## 2 DESEMPENHOS ENERGÉTICOS E DE SUSTENTABILIDADE

### 2.1 Caracterização do Caso de Estudo

O edifício objecto deste trabalho é do século XIX, localizado no Centro Histórico de Viana do Castelo. Tem três pisos e é constituído por uma unidade destinada a serviços e quatro a habitação. Apresenta-se degradado, com revestimentos deteriorados e várias anomalias estruturais. As habitações não reúnem condições mínimas de habitabilidade e estão devolutas. A unidade destinada a serviços encontra-se ocupada e em actividade.

Tal como todos os edifícios desta mesma época e sem intervenções recentes profundas, caracteriza-se pelas paredes de fachada e estruturais em alvenaria de granito, pavimentos em soalho sobre estrutura de madeira, cobertura com estrutura de madeira revestida a telha cerâmica, caixilharias de madeira com vidros simples, portadas opacas pelo interior e paredes divisórias interiores em tabique. O edifício possui redes prediais de distribuição de água, electricidade e esgotos. Do existente apenas serão mantidas as paredes exteriores e de separação com os edifícios adjacentes.

Foi desenvolvido um projecto de licenciamento para este edifício, com vista à sua remodelação e beneficiação. Deste projecto apresentam-se na figura 1, as plantas com as cinco unidades de utilização e respectiva compartimentação.



Figura 1 – Plantas R/C, 1º e 2º Andar

Para o r/c foram projectadas, uma habitação de tipologia T1 e uma fracção destinada a serviços. Ao nível do 1º andar previram-se duas habitações de tipologia T1 e no 2º, apenas uma de tipologia T2. A área útil total das habitações é de 195,75m<sup>2</sup>.

Tabela 2: Tipologia / Área Útil

| Fracções Habitação | Tipologia         | Área Útil            |
|--------------------|-------------------|----------------------|
| A                  | Comércio/Serviços | 24,30m <sup>2</sup>  |
| B                  | T1                | 38,00m <sup>2</sup>  |
| C                  | T1                | 39,65m <sup>2</sup>  |
| D                  | T1                | 36,80m <sup>2</sup>  |
| E                  | T2                | 79,30m <sup>2</sup>  |
| Total              |                   | 220,05m <sup>2</sup> |

O espaço destinado a serviços com 24,30m<sup>2</sup> de área útil não foi objecto de estudo, tendo sido tomado como espaço não útil.

De referir que o edifício ocupa toda a área do terreno que constitui o artigo confrontando, com duas ruas a NW e SE e dois edifícios adjacentes a NE e SW.

## 2.2 Soluções Construtivas e Equipamentos – Reabilitação Básica e Energética

Tratando de uma intervenção num edifício integrado no centro histórico foram mantidas as soluções construtivas iniciais de base. Mantém-se as paredes estruturais em alvenaria, estruturas de madeira em pavimentos e cobertura e caixilharias de madeira.

Na Reabilitação Básica não foram considerados isolamentos térmicos.

Para o aquecimento de águas quentes sanitárias e climatização, foram considerados os equipamentos definidos por defeito no RCCTE.

Na Reabilitação Energética foram considerados os isolamentos e equipamentos estritamente necessários para o cumprimento regulamentar. Apresenta-se seguidamente a descrição pormenorizada da constituição dos diferentes elementos construtivos da envolvente interior e exterior e dos equipamentos:

1. Paredes exteriores - Pano de alvenaria de granito com acabamento a cor clara, com isolamento térmico colocado pelo interior constituído lã mineral (do tipo “Rockwool – Rockcalm-E-221 de  $\lambda = 0.035 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$ ) (MW) e placas de gesso cartonado de 1,20cm. A espessura da alvenaria não é uniforme em todo o edifício, facto tido em consideração no cálculo dos coeficientes de transmissão térmica. A espessura do isolamento térmico também não é constante em todas as fracções, variando entre 6 e 8cm, tendo sido adoptada para cada caso, a mínima necessária para o cumprimento das exigências regulamentares;
2. Paredes interiores em contacto com espaços não úteis - Pano de alvenaria de tijolo de 11cm revestida na face em contacto com os espaços aquecidos por 6 cm de lã mineral (do tipo “Rockwool – Rockcalm-E-221 de  $\lambda = 0.035 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$ ) (MW) e placas de gesso cartonado de 1,2 cm. A outra face é revestida com 2 cm de reboco de argamassa de cimento;
3. Paredes interiores com edifícios adjacentes - Pano de alvenaria de granito de 42 cm, sendo revestidas na face em contacto com os espaços aquecidos por 8 cm de lã mineral (do tipo “Rockwool – Rockcalm-E-221 de  $\lambda = 0.035 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$ ) (MW) e placas de gesso cartonado de 1,2 cm;
- 4 – Pavimentos sobre espaços não aquecidos – Soalho de madeira de pinho com 2,5cm de espessura, caixa-de-ar com 56cm e lã mineral (do tipo “Rockwool – Rockcalm-E-221 de  $\lambda = 0.035 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$ ) (MW) com 6cm colocadas no tecto falso em gesso-cartonado;
5. Cobertura interior (tecto sob espaço não útil -  $\tau > 0.70$ ) - lã mineral (do tipo “Rockwool – Rockcalm-E-221 de  $\lambda = 0.035 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$ ) (MW) com 10cm de espessura e placas de gesso cartonado de 1,2 cm;
6. Envidraçados verticais - Duplos, incolores, com quadrícula, constituídos por uma folha exterior de 4 mm e outra interior com 5mm de espessura, e caixa-de-ar com 10mm. A protecção solar do tipo portada interior de madeira de cor média;
7. Climatização:
  - 7.1. Sistema de Aquecimento - Radiadores colocados nas divisões da fracção, auxiliados por caldeira a combustível gasoso com rendimento igual ou superior a 0,87, para aquecimento;
  - 7.2. Sistema de arrefecimento – Não tendo sido adoptado qualquer sistema de arrefecimento ambiente adoptou-se o previsto no RCCTE para estes casos, isto é, uma máquina frigorífica com eficiência (COP) de 3;

8. Preparação de águas quentes sanitárias - Caldeira a combustível gasoso com rendimento igual ou superior a 0,65 a 30% da carga nominal, para produção de AQS. Considerou-se que as tubagens de água quente não serão isoladas (rendimento do sistema = 0.55);
9. Aproveitamento de energias renováveis – Sistema de colectores solares para produção de AQS - Colectores solares planos certificados, do tipo "Vulcano - FKB-1S" com 2.3 m<sup>2</sup> (1 colector / fracção), instalados na cobertura e com a inclinação desta (22°C), orientados a SW, com depósito de 100 litros para armazenamento de água quente sanitárias;
10. Sistema de ventilação – Ventilação natural (não cumpre a NP1037-1), sem dispositivos de admissão de ar na fachada, nem aberturas auto-reguladas.

Nas tabelas 3 e 4, apresentam-se para cada fracção e nível de reabilitação, os coeficientes de transmissão térmica dos diferentes elementos de construtivos.

Tabela 3 – Reabilitação Básica - Coeficientes de transmissão térmica (U (W/m<sup>2</sup>.°C))

| Fracção | Paredes Exteriores |      |      |      |      |      | PENU |      |   | Padj |      | PavInt |   | Cobint | Env.v | Env.h |
|---------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|---|------|------|--------|---|--------|-------|-------|
|         | 1                  | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 1    | 2    | 3 | 1    | 1    | 2      | 1 | 1      | 1     | 1     |
| B       | 2.17               |      |      |      |      |      | 2.30 |      |   | 2.30 |      |        |   |        | 3.90  |       |
| C       |                    | 2.43 | 2.77 |      |      |      | 2.30 | 2.30 |   | 2.30 | 2.30 | 1.90   |   |        | 3.90  |       |
| D       |                    |      | 2.77 | 2.37 |      |      | 2.30 | 2.30 |   | 2.30 |      |        |   |        | 3.90  |       |
| E       |                    |      |      |      | 3.33 | 2.89 | 2.30 | 2.30 |   | 2.30 |      |        |   | 4.03   | 3.90  |       |

Tabela 4 - Reabilitação Energética - Coeficientes de transmissão térmica (U (W/m<sup>2</sup>.°C))

| Fracção | Paredes Exteriores |      |      |      |     |      | PENU |      |   | Padj |      | PavInt |   | Cobint | Env.v | Env.h |
|---------|--------------------|------|------|------|-----|------|------|------|---|------|------|--------|---|--------|-------|-------|
|         | 1                  | 2    | 3    | 4    | 5   | 6    | 1    | 2    | 3 | 1    | 1    | 2      | 1 | 1      | 1     | 1     |
| B       | 0.36               |      |      |      |     |      | 0.43 |      |   | 0.36 |      |        |   |        | 2.40  |       |
| C       |                    | 0.47 | 0.48 |      |     |      | 0.43 | 2.06 |   | 0.46 | 0.40 | 0.40   |   |        | 2.40  |       |
| D       |                    |      | 0.48 | 0.47 |     |      | 0.43 | 2.06 |   |      |      |        |   |        | 2.40  |       |
| E       |                    |      |      |      | 0.5 | 0.49 | 0.43 | 2.06 |   |      |      |        |   | 0.32   | 2.40  | 2.65  |

### 2.3 Desempenhos Energéticos – Reabilitação Básica e Energética

Apresentam-se nas tabelas 5 e 6, os resultados obtidos para cada uma das fracções e nível de reabilitação com a aplicação do RCCTE.

Tabela 5 – Desempenho Energético - Reabilitação Básica

| Fr.   | Ni<br>kW.h/m <sup>2</sup> .ano | Nic<br>kW.h/m <sup>2</sup> .ano | Nv<br>kW.h/m <sup>2</sup> .ano | Nvc<br>kW.h/m <sup>2</sup> .ano | Na<br>kW.h/m <sup>2</sup> .ano | Nac<br>kW.h/m <sup>2</sup> .ano | Ntc<br>kgep/m <sup>2</sup> .ano | Nt<br>kgep/m <sup>2</sup> .ano | Cl.<br>Energ. |
|-------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------|
| B     | 74,00                          | 170,80                          | 16,00                          | 4,29                            | 62,24                          | 100,54                          | 13,39                           | 9,21                           | C             |
| C     | 80,05                          | 218,96                          | 16,00                          | 5,87                            | 59,65                          | 96,36                           | 14,51                           | 8,92                           | D             |
| D     | 74,02                          | 192,68                          | 16,00                          | 5,25                            | 60,96                          | 98,47                           | 13,82                           | 9,04                           | D             |
| E     | 98,26                          | 373,72                          | 16,00                          | 6,95                            | 44,74                          | 72,27                           | 14,54                           | 7,07                           | E             |
| Pond. | 85,08                          | 266,14                          | 16,00                          | 5,88                            | 56,39                          | 87,83                           |                                 |                                |               |

Tabela 6 – Desempenho Energético - Reabilitação Energética

| Fr.   | Ni<br>kW.h/m <sup>2</sup> .ano | Nic<br>kW.h/m <sup>2</sup> .ano | Nv<br>kW.h/m <sup>2</sup> .ano | Nvc<br>kW.h/m <sup>2</sup> .ano | Na<br>kW.h/m <sup>2</sup> .ano | Nac<br>kW.h/m <sup>2</sup> .ano | Ntc<br>kgep/m <sup>2</sup> .ano | Nt<br>kgep/m <sup>2</sup> .ano | Cl.<br>Energ. |
|-------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------|
| B     | 74,00                          | 73,65                           | 16,00                          | 5,21                            | 62,24                          | 37,24                           | 5,39                            | 9,21                           | B             |
| C     | 80,05                          | 79,42                           | 16,00                          | 6,54                            | 59,65                          | 35,69                           | 5,44                            | 8,92                           | B             |
| D     | 74,02                          | 71,57                           | 16,00                          | 5,37                            | 60,96                          | 36,47                           | 5,26                            | 9,04                           | B             |
| E     | 98,26                          | 96,16                           | 16,00                          | 8,12                            | 44,74                          | 37,87                           | 6,12                            | 7,07                           | B-            |
| Pond. | 85,08                          | 83,55                           | 16,00                          | 6,68                            | 56,39                          | 35,01                           |                                 |                                |               |

Da análise dos resultados verificamos que na Reabilitação Básica nenhuma das fracções cumpre os requisitos regulamentares relativamente às necessidades nominais de energia útil para aquecimento, produção de águas quentes sanitárias e necessidades globais de energia primária.

Ao compararmos os valores dos Ni's com os Nic's obtidos para a Reabilitação Energética, facilmente se verifica que qualquer redução nos coeficientes de transmissão térmica dos elementos das envolventes, poderia conduzir a um incumprimento regulamentar.

## 2.4 Avaliação da Sustentabilidade – Reabilitação Básica e Energética

Na avaliação da sustentabilidade de cada um destes níveis de reabilitação foram considerados, para além dos elementos apresentados nos desempenhos energéticos, os recolhidos em projecto, no local e na envolvente ao edifício que permitiram quantificar ou estimar o seguinte:

- Preexistência do edificado;
- Materiais reutilizados;
- Características dos materiais e equipamentos previstos;
- Condições para o armazenamento de resíduos sólidos na fase de utilização do edifício;
- Consumo de água (aparelhos de utilização e características);
- Conforto visual;
- Acessibilidades a transportes públicos;
- Acessibilidades a amenidades.

Da análise dos elementos recolhidos tiraram-se as conclusões seguintes:

- Estimou-se que a preexistência representa cerca de 28% do edificado final (terreno e paredes a manter);
- Parte dos produtos resultantes das demolições reúne condições para serem aplicados na execução de novos pisos térreos;
- Não estão previstas condições para o armazenamento de resíduos sólidos;
- Os aparelhos de utilização são do tipo convencional, isto é, sem redutores de caudal;
- O local é servido por transportes públicos e um vasto conjunto de amenidades;
- Existe um ponto de recolha de lixo indiferenciado a 100m do edifício e um ecoponto a 165m.

Os resultados obtidos na avaliação da sustentabilidade para a Reabilitação Básica e Energética apresentam-se na tabela 7 e 8 e no gráfico 1.

Tabela 7 - Resultados - Reabilitação Básica

| Pn  | Aval. | Nível | Categoria | Dimensão | NS  |
|-----|-------|-------|-----------|----------|-----|
| P1  | 1,00  | A     | C1 – "A"  |          |     |
| P2  | 1,20  | A+    |           |          |     |
| P3  | -0,20 | E     |           |          |     |
| P4  | 1,11  | A+    | C2 – "A"  |          |     |
| P5  | -0,20 | E     |           |          |     |
| P6  | 1,15  | A+    |           |          |     |
| P7  | 0,00  | D     |           |          |     |
| P8  | -0,20 | E     | C3 – "E"  | D1 - "C" |     |
| P9  | 0,63  | B     |           |          |     |
| P10 | 0,00  | D     |           |          |     |
| P11 | 0,00  | D     | C4 – "C"  |          |     |
| P12 | 0,00  | D     |           |          |     |
| P13 | 0,00  | D     |           |          | "C" |
| P14 | 0,56  | B     |           |          |     |
| P15 | 0,00  | D     | C5 – "C"  |          |     |
| P16 | 0,00  | D     |           |          |     |
| P17 | 0,00  | D     |           |          |     |
| P18 |       |       | C6 – "B"  |          |     |
| P19 | 1,20  | A+    |           | D2 - "C" |     |
| P20 | 0,10  | D     |           |          |     |
| P21 | 0,57  | B     |           |          |     |
| P22 | 1,20  | A+    | C7 – "A"  |          |     |
| P23 | -0,20 | E     | C8 – "E"  |          |     |
| P24 | 1,03  | A+    | C9 – "B"  | D3 - "B" |     |
| P25 | -0,17 | E     |           |          |     |

Tabela 8 - Reabilitação Energética

| Pn  | Aval. | Nível | Categoria | Dimensão | NS  |
|-----|-------|-------|-----------|----------|-----|
| P1  | 1,00  | A     | C1 – "A"  |          |     |
| P2  | 1,20  | A+    |           |          |     |
| P3  | -0,20 | E     |           |          |     |
| P4  | 1,11  | A+    | C2 – "A"  |          |     |
| P5  | -0,20 | E     |           |          |     |
| P6  | 1,15  | A+    |           |          |     |
| P7  | 0,45  | B     |           |          |     |
| P8  | -0,20 | E     | C3 – "C"  | D1 - "C" |     |
| P9  | 0,63  | B     |           |          |     |
| P10 | 0,00  | D     |           |          |     |
| P11 | 0,00  | D     | C4 – "C"  |          |     |
| P12 | 0,00  | D     |           |          |     |
| P13 | 0,00  | D     |           |          | "B" |
| P14 | 0,56  | B     |           |          |     |
| P15 | 0,00  | D     | C5 – "C"  |          |     |
| P16 | 0,00  | D     |           |          |     |
| P17 | 0,00  | D     |           |          |     |
| P18 |       |       | C6 – "A"  |          |     |
| P19 | 1,20  | A+    |           | D2 - "B" |     |
| P20 | 1,20  | A+    |           |          |     |
| P21 | 0,57  | B     |           |          |     |
| P22 | 1,20  | A+    | C7 – "A"  |          |     |
| P23 | -0,20 | E     | C8 – "E"  |          |     |
| P24 | 0,37  | C     | C9 – "B"  | D3 - "B" |     |
| P25 | 0,69  | B     |           |          |     |

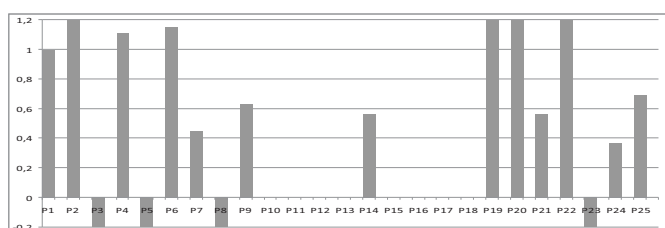


Gráfico 1 – Reabilitação Energética - Avaliação dos parâmetros

## 2.5 Análise de Resultados – Reabilitação Básica e Energética

Da análise aos resultados deste dois níveis de Reabilitação concluiu-se o seguinte:

- O edificado existente reaproveitado, a localização do edifício e todo um conjunto de acessibilidades a transportes e amenidades que lhe estão inerentes, justificam a obtenção de um nível “C” na Reabilitação Básica;
- As medidas de melhoria introduzidas na Reabilitação Básica, que a conduziram à Reabilitação Energética, permitiram que o nível de sustentabilidade passasse de “C”, para “B”;
- Obtida a Reabilitação Energética, verifica-se existência de vários parâmetros com potencial de melhoria de fácil implementação e encargos adicionais reduzidos. São os casos das medidas relativas aos parâmetros 13, 14 e 23;
- É possível evoluir na Reabilitação Energética melhorando significativamente o seu desempenho, se actuarmos ao nível do reforço do isolamento das envolventes e na eficiência dos equipamentos de climatização e AQS. A introdução de melhorias no capítulo da eficiência energética interfere directamente nos resultados dos parâmetros 7, 8, 24 e 25. Através do gráfico 1 verificamos que os resultados destes parâmetros ainda podem evoluir significativamente até se atingir a nota máxima e no gráfico 2, podemos constatar que estes são dos parâmetros com maior importância relativa na avaliação.

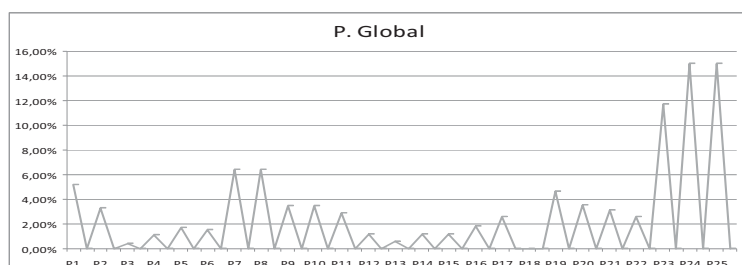


Gráfico 2 - Importância relativa de cada parâmetro na avaliação global

Os custos associados à passagem da Reabilitação Básica para a Energética são os seguintes:

Tabela 9 – Reabilitação Energética – Custos Adicionais

| Medida Melhoria                                                       | Custo Adicional    |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1 – Reforço dos isolamentos da envolvente e isolamento da tubagem AQS | 5.288,42€          |
| 2 – Caldeiras para climatização e AQS                                 | 5.000,00 €         |
| 3 – Depósitos para AQS                                                | 2.000,00 €         |
| 4 – Painéis Solares                                                   | 11.569,20 €        |
| 5 – Redução área útil c/ isolamentos (inconveniente)                  | 3.018,40 €         |
| <b>Total</b>                                                          | <b>26.876,02 €</b> |

## 2.6 Pressupostos para obtenção da Reabilitação Sustentável

As medidas de melhoria a introduzidas na Reabilitação Energética com o objectivo de elevar o seu nível de sustentabilidade, teve como base e consideração o seguinte:

- Resultados obtidos para a Reabilitação Energética;
  - Importância relativa de cada parâmetro na avaliação de sustentabilidade;
  - Existência no mercado materiais de construção certificados e com baixo teor de COV's.
- Na tabela 10 apresentam-se as medidas propostas e respectivos encargos adicionais.

Tabela 10 – Reabilitação Sustentável – Custos Adicionais

| Medida Melhoria                                                       | Parâmetros Afectados | Custo Adicional |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------|
| 1 – Reforço dos isolamentos da envolvente e isolamento da tubagem AQS | P7, P20, P24 e P25   | 2.192,14 €      |
| 2 - Recuperador de calor a pellets para aquecimento ambiente (91%)    | P7, P8, P24 e P25    | 12.200,00 €     |
| 3 - Esquentador de alto rendimento para AQS (101%)                    | P7, P24 e P25        | 2.800,00 €      |
| 4 - Ventilação mecânica                                               | P7, P16, P24 e P25   | 1.800,00 €      |

| Medida Melhoria                                                                                                 | Parâmetros Afectados | Custo Adicional    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------|
| 5 - 1% de produtos de base orgânica certificados (soalhos), tintas e vernizes com baixo teor COV                | P11, P17 e P24       | 3.547,26 €         |
| 6 - Aparelhos de utilização sanitários com redutores de caudal e máquinas de baixo consumo (eficiência hídrica) | P14, P24 e P25       | 1.000,00 €         |
| 7 - Disponibilizar manual de utilização do edifício                                                             | P23 e P24            | 1.000,00 €         |
| 8 - Perda Área Útil c/ isolamentos                                                                              | P24                  | 754,60 €           |
| 9 - A deduzir: caldeiras                                                                                        | P7, P8, P24 e P25    | -5.000,00 €        |
| <b>Total</b>                                                                                                    |                      | <b>21.394,00 €</b> |

## 2.7 Desempenho Energético – Reabilitação Sustentável

Apresentam-se na tabela 11 os resultados obtidos do desempenho energético para cada uma das fracções considerando a introdução das medidas de melhoria preconizadas no ponto anterior.

Tabela 11 – Desempenho Energético - Reabilitação Sustentável

| Fr.   | Ni<br>kW.h/m2.ano | Nic<br>kW.h/m2.ano | Nv<br>kW.h/m2.ano | Nvc<br>kW.h/m2.ano | Na<br>kW.h/m2.ano | Nac<br>kW.h/m2.ano | Ntc<br>kgep/m2.ano | Nt<br>kgep/m2.ano | Cl.<br>Energ. |
|-------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------|
| B     | 74,00             | 58,80              | 16,00             | 6,60               | 62,24             | 15,20              | 1,37               | 9,21              | A+            |
| C     | 80,05             | 53,40              | 16,00             | 8,70               | 59,65             | 14,60              | 1,30               | 8,92              | A+            |
| D     | 74,02             | 50,60              | 16,00             | 6,80               | 60,96             | 14,90              | 1,30               | 9,04              | A+            |
| E     | 98,26             | 71,60              | 16,00             | 10,20              | 44,74             | 13,90              | 1,30               | 7,07              | A+            |
| Pond. | 85,08             | 61,26              |                   | 8,50               | 56,39             | 14,84              |                    |                   |               |

Todas as fracções passaram a ser classificadas com classe energética A+.

Relativamente aos resultados obtidos com a Reabilitação Energética, verificaram-se reduções muito significativas ao nível dos indicadores Nic, Nac e Nt e um ligeiro agravamento no Nvc (justificado com reforço do isolamento da envolvente).

## 2.8 Avaliação da Sustentabilidade – Reabilitação Sustentável

Os resultados obtidos na avaliação para a Reabilitação Sustentável apresentam-se na tabela 12 e no gráfico3.

Com a passagem da Reabilitação Energética para a Sustentável a avaliação sobe do nível “B” para o “A”.

Tabela 12 - Resultados - Reabilitação Sustentável

| Pn  | Aval. | Nível | Categoria | Dimensão  | NS  |
|-----|-------|-------|-----------|-----------|-----|
| P1  | 1,00  | A     | C1 – “A”  |           |     |
| P2  | 1,20  | A+    |           |           |     |
| P3  | -0,20 | E     |           |           |     |
| P4  | 1,11  | A+    | C2 – “A”  |           |     |
| P5  | -0,20 | E     |           |           |     |
| P6  | 1,15  | A+    |           |           |     |
| P7  | 1,12  | A+    | C3 – “A+” |           |     |
| P8  | 1,20  | A+    |           | D1 - "A"  |     |
| P9  | 0,63  | B     |           |           |     |
| P10 | 0,00  | D     |           |           |     |
| P11 | 0,20  | C     | C4 – “C”  |           |     |
| P12 | 0,00  | D     |           |           |     |
| P13 | 0,50  | B     |           |           | “A” |
| P14 | 1,12  | A+    |           |           |     |
| P15 | 0,00  | D     | C5 – “B”  |           |     |
| P16 | -0,20 | E     |           |           |     |
| P17 | 0,89  | A+    |           |           |     |
| P18 |       |       | C6 – “A”  |           |     |
| P19 | 1,20  | A+    |           | D2 - "A+" |     |
| P20 | 1,20  | A+    |           |           |     |
| P21 | 0,57  | B     |           |           |     |
| P22 | 1,20  | A+    | C7 – “A”  |           |     |
| P23 | -0,20 | E     | C8 – “A+” |           |     |
| P24 | 0,06  | D     |           |           |     |
| P25 | 1,00  | A+    | C9 – “B”  | D3 - "B"  |     |

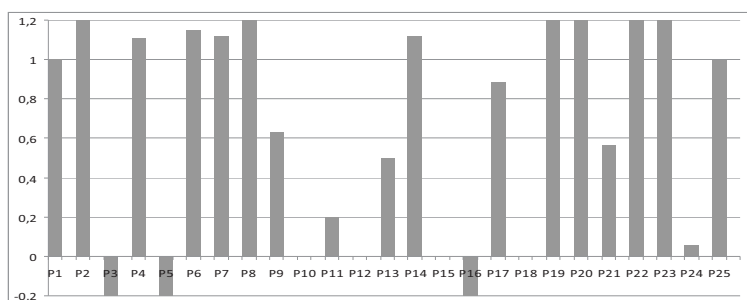


Gráfico 3 – Reabilitação Sustentável - Avaliação dos parâmetros

Na tabela 13 apresenta-se um resumo dos resultados obtidos dos desempenhos energéticos e das avaliações de sustentabilidade dos três níveis de Reabilitação em estudo.

Tabela 13 – Resumo dos Resultados

| Designação                                                | Reabilitação Básica | Reabilitação Energética | Reabilitação Sustentável |
|-----------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| Nic (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)                            | 266,68              | 83,55                   | 66,45                    |
| Nvc (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)                            | 6,05                | 6,68                    | 8,5                      |
| Nac (kW.h/m <sup>2</sup> .ano)                            | 87,83               | 35,01                   | 14,84                    |
| Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)                            | 15,34               | 5,70                    | 1,36                     |
| Emissões CO <sub>2</sub> (ton CO <sub>2</sub> equiv./ano) | 3,60                | 1,30                    | 0,30                     |
| Consumo H <sub>2</sub> O                                  | 31,573              | 31,573                  | 19,455                   |
| Classe Energética                                         | 3"D" e 1"E"         | "B" e 1"B-              | 4"A+"                    |
| Nível de Sustentabilidade                                 | "C"                 | "B"                     | "A"                      |

Com a exceção do Nvc que se agravou com o reforço do isolamento da envolvente, todos os restantes indicadores melhoram claramente os seus resultados à medida que evoluímos no nível de Reabilitação.

### 3 COMPARAÇÃO DE CUSTOS / BENEFÍCIOS

Os custos constantes da tabela 14 correspondem às medidas de melhoria consideradas neste estudo e neles estão incluídos, os custos de materiais, equipamentos e mão-de-obra a preços normalmente praticados na área geográfica onde o edifício se localiza.

O custo total estimado para concretizar a Reabilitação Básica foi de 107.898,00€.

Tabela 14 – Comparação de Custos Adicionais

|                          | Reabilitação Básica  | Reabilitação Energética | Reabilitação Sustentável |
|--------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|
| Reabilitação Básica      | -----                | 26.876,00€ (24,9%)      | 48.270,00€ (44,7%)       |
| Reabilitação Energética  | -26.876,00€ (-24,9%) | -----                   | 21.394,00€ (15,9%)       |
| Reabilitação Sustentável | -48.270,00€ (-44,7%) | -21.394,00€ (-15,9%)    | -----                    |

As medidas propostas e necessárias para se atingir a Reabilitação Sustentável representam um agravamento de 44,7% relativamente ao investimento inicial.

Importa agora perceber, quais os benefícios que o(s) reforço(s) no investimento inicial nos podem proporcionar com a utilização do edifício. Para o efeito foram calculados os custos de utilização correspondentes a cada nível de reabilitação analisado. Estão compreendidos nestes custos de utilização os relativos às necessidades de aquecimento, arrefecimento, consumo de água quente sanitária e consumo de água potável. As necessidades de energia para aquecimento, arrefecimento e produção de águas quentes sanitárias foram calculadas com base no preconizado no RCCTE. Foram assumidas temperaturas de referência para a estação de aquecimento de 20°C e de 25°C para a estação de arrefecimento. As necessidades de energia para a produção de água quente pressupõem o consumo diário de 40l de água à temperatura de 45°C por cada habitante.

Os consumos de água potável nas Reabilitações Básica e Energética foram determinados de acordo com o definido no Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição

de Água e de Drenagem de Águas Residuais. Estes consumos foram reduzidos na Reabilitação Sustentável, tendo em conta a eficiência hídrica dos aparelhos de utilização e máquinas de baixo consumo consideradas.

Foi considerado o custo de energia eléctrica a 0,145 €/kWh, o gás propano a 1,769€/kg e de 0,20€ por cada kg de pellets/lenha para os recuperadores.

O custo médio das taxas de contador e consumo de água potável foi de 0,456€/m<sup>3</sup>. Este valor foi determinado com base no Tarifário de Água e Águas Residuais, praticado pelos Serviços Municipalizados de Saneamento Básico de Viana do Castelo.

Na tabela 15 apresentam-se os custos de utilização (consumos de energia e água) correspondentes a cada um dos níveis de reabilitação analisados.

Tabela 15 - Comparação de Custos de Utilização

| Reabilitação    | Custo Inicial<br>(€) | Custos de Utilização Anuais (€) |        |               |       |          |        |        |        |
|-----------------|----------------------|---------------------------------|--------|---------------|-------|----------|--------|--------|--------|
|                 |                      | Aquecimento                     |        | Arrefecimento |       | AQS      |        | H2O    |        |
| 1 - Básica      | 107.898,00           | 8.711,00                        | -----  | 57,30         | ----- | 4.964,00 | -----  | 378,60 | -----  |
| 2 - Energética  | 134.774,25           | 2.395,00                        | -72,5% | 63,30         | 10,5% | 2.353,00 | -52,6% | 378,60 | 0%     |
| 3 - Sustentável | 156.168,63           | 786,33                          | -91,0% | 80,50         | 40,5% | 932,95   | -80,1% | 233,26 | -38,4% |

Conforme se pode verificar, são evidentes os benefícios que o incremento das diversas medidas de melhoria nos proporciona, principalmente ao nível dos consumos energéticos.

A análise dos custos e dos benefícios da Reabilitação deste caso de estudo, com comparação dos períodos de retorno dos investimentos e do valor actual líquido (VAL30) dos encargos num período de 30 anos, está a ser desenvolvido pelo colega Fernando Moura, trabalho esse que complementa o aqui apresentado.

#### 4 CONCLUSÕES

Foram integralmente atingidos os objectivos definidos com a realização deste trabalho tendo-se concluído o seguinte:

- A localização do edifício influencia muito significativamente o seu desempenho de sustentabilidade, aspecto muito importante e a ter em conta nas reabilitações dos centros históricos e urbanos;
- A uma boa nota de sustentabilidade, está associada uma redução das necessidades energéticas, de emissões de CO<sub>2</sub>, consumo de água e produção de águas residuais;
- Os benefícios da reabilitação podem ser maximizados através de uma criteriosa escolha das soluções construtivas e equipamentos;
- Ao aumento investimento inicial, opõem-se o conforto acrescido e a uma forte redução dos custos de utilização;
- Nas condições deste caso de estudo é sustentável reabilitar seja qual for o nível de reabilitação adoptado;
- É mais vantajoso reabilitar com critérios e preocupações de sustentabilidade;
- A reabilitação de edifícios e a sustentabilidade estão interligadas e marcarão o caminho a percorrer na dinamização do mercado da construção e conservação do ambiente construído.

## REFEREÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Mateus, Ricardo, Bragança, Luís; Guia de Avaliação SBTool-PT – V2009/1 – IISBE Portugal – Edições IISBE Portugal; 2009;
- Mateus, Ricardo, Bragança, Luís; Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção – 2006 – Edições Ecopy;
- Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril - Regulamento da Características de Comportamento Térmico de Edifícios – RCCTE; Lisboa; Porto Editora;
- Sustentabilidade na Reabilitação Urbana: O Novo Paradigma do mercado da Construção – Conferência Nacional 2011 - IISBE Portugal;
- Paredes de Alvenaria – Inovação e Possibilidades Actuais – 2007 - Escola de Engenharias da Universidade do Minho e Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

# Reabilitação sustentável de edifícios de habitação – Análise de Custos e Benefícios

Fernando Moura

*C30, Estudos & Projetos de Engenharia, Lda, Celorico de Basto, Portugal*  
fernandomoura.perito146@gmail.com

Luís Bragança

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*  
braganca@civil.uminho.pt

**Resumo:** Este trabalho tem como objectivo o desenvolvimento de uma metodologia de análise dos custos e benefícios da reabilitação sustentável de edifícios de habitação. A metodologia foi desenvolvida a partir da experiência adquirida na utilização do sistema SBtool ao contexto português. Desta forma, a metodologia de análise dos custos teve por base um estudo de reabilitação com vários níveis de intervenção de modo a atingir dois objetivos distintos. O primeiro nível era introduzir o mínimo de medidas de melhorias no projeto de reabilitação para atingir um edifício com classificação de nível de sustentabilidade A, através da ferramenta de análise SBTool PT. O segundo objetivo era determinar os custos de investimento inicial e os custos de utilização para cada nível de reabilitação – básica, energética, sustentável – de modo a estudar qual apresenta, num período de tempo de 30 anos, o menor valor atual líquido (VAL30) dos encargos.

A análise dos custos e dos benefícios – redução dos custos de utilização – teve por base os custos de reabilitação, custos de financiamento, custos associados ao aquecimento, arrefecimento, consumo de água quente sanitária e consumo de água da rede pública.

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Âmbito

O presente trabalho analisa, do ponto de vista económico, os custos e benefícios da reabilitação sustentável, dando seguimento ao trabalho desenvolvido pelo colega João Carlos Bezerra para diversos níveis de reabilitação,

Foram definidos três níveis de reabilitação do edifício - *Reabilitação básica*, *Reabilitação Energética* e *Reabilitação Sustentável*.

A *reabilitação básica* foi definida como a que assegura apenas a estabilidade estrutural e de salubridade, isto é, apenas com intuito de conferir condições de habitabilidade em todas as fracções. Este tipo de reabilitação enquadra-se na definição de obras de reconstrução com preservação das fachadas, segundo o regime jurídico da urbanização e da edificação.

A *reabilitação energética* visa o cumprimento do Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) no edifício e em todas as suas fracções.

A *reabilitação sustentável* é considerada a necessária para a obtenção de um nível de sustentabilidade (A ou A<sup>+</sup>), segundo a metodologia SBTool PT. Este nível de reabilitação foi obtido através da introdução das medidas de melhoria consideradas necessárias para que a reabilitação energética passe a sustentável.

### 1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia de análise dos custos e benefícios da reabilitação sustentável, de modo a verificar se a aposta em reabilitar de forma a atingir uma classificação de sustentabilidade seria economicamente rentável num período de tempo relativamente curto. Pretende-se fazer uma análise comparativa entre os vários níveis de reabilitação e da sua respetiva viabilidade económica.

Todos os cálculos foram efectuados tendo como horizonte um período de utilização de 30 anos, não directamente relacionados com o período de vida útil do edifício reabilitado mas sim com um período comparável aos prazos correntes dos empréstimos à habitação.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

O edifício objeto deste trabalho é um edifício do século XIX localizado no Centro Histórico de Viana do Castelo, constituído por três pisos, sendo uma fracção destinada a serviços e quatro a

habitação. O edifício apresenta-se degradado, com revestimentos deteriorados e várias anomalias estruturais. As habitações não reúnem condições mínimas de habitabilidade e estão devolutas. A fração destinada a serviços encontra-se ocupada e em atividade.

Tal como todos os edifícios da mesma época e sem intervenções recentes profundas, caracteriza-se pelas paredes de fachada e estruturais em alvenaria de granito, pavimentos em soalho sobre estrutura de madeira, cobertura em telha cerâmica assente também sobre estrutura de madeira, caixilharias de madeira com vidros simples e portadas opacas pelo interior e paredes divisorias interiores em tabique. O edifício possui redes prediais de distribuição de água, eletricidade e esgotos. Do existente apenas serão mantidas as paredes exteriores e de separação com os edifícios adjacentes.

Foi desenvolvido um projeto de licenciamento para este edifício, com vista à sua remodelação e beneficiação. A apresentam-se as plantas dos pisos do edifício com a compartimentação após a intervenção de reabilitação.

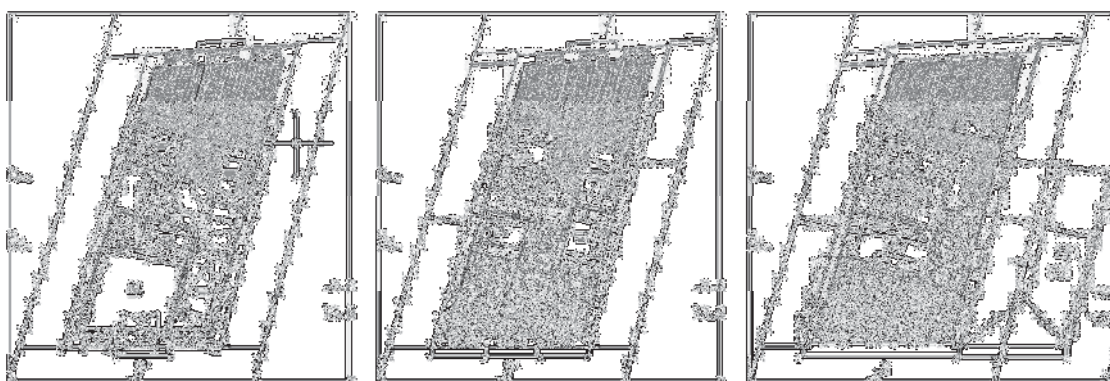


Figura 1: Plantas dos pisos e respetiva compartimentação

Para o rés do chão foram projetadas, uma habitação de tipologia T1 e uma loja destinada a comércio ou serviços. Ao nível do 1º andar previram-se duas habitações de tipologia T1 e ao nível do do 2º andar uma de tipologia T2. A área útil total das habitações é de 195,75m<sup>2</sup>.

Tabela 1: Tipologia / Área Útil

| Frações habitação | Tipologia         | Área Útil           |
|-------------------|-------------------|---------------------|
| A                 | Comércio/Serviços | 24,30m <sup>2</sup> |
| B                 | T1                | 38,00m <sup>2</sup> |
| C                 | T1                | 39,65m <sup>2</sup> |
| D                 | T1                | 36,80m <sup>2</sup> |
| E                 | T2                | 79,30m <sup>2</sup> |

O espaço destinado a serviços, com 24,30m<sup>2</sup> de área útil, não foi objecto de avaliação, tendo sido tomado como espaço não útil.

De referir que o edifício ocupa toda a área do terreno, confrontando com duas ruas a NW e SE e dois edifícios adjacentes a NE e SW.

### 3 METODOLOGIA

Após o desenvolvimento dos projetos de reabilitação básica e reabilitação energética, tendo como objetivo satisfazer dois níveis de exigência conhecidos, os mesmos foram analisados, com a ferramenta SBTTool PT, de modo a determinar a Nota de Sustentabilidade (NS). Para a reabilitação básica foi obtida a NS de classe C e para a reabilitação energética foi obtida a NS de classe B.



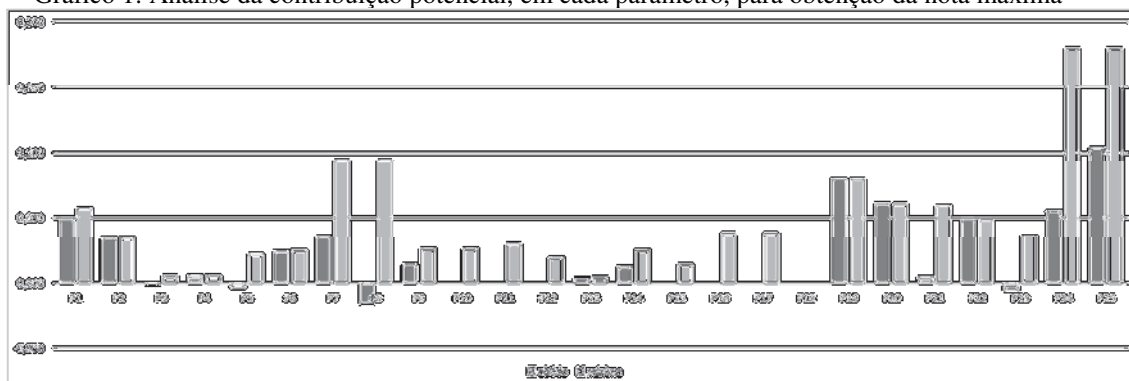
Reabilitação básica



Reabilitação energética

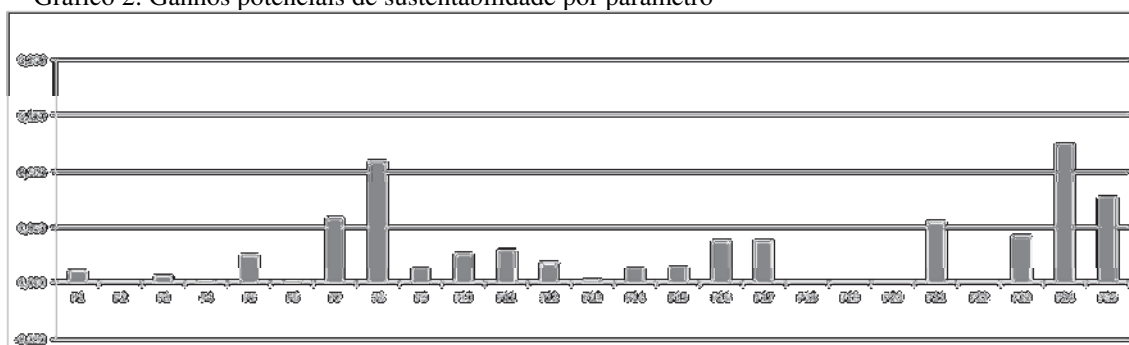
Com base na análise da sustentabilidade do projeto de reabilitação energética foi determinado, parâmetro a parâmetro, o desempenho atingido e o potencial de melhoria que cada parâmetro poderia proporcionar.

Gráfico 1: Análise da contribuição potencial, em cada parâmetro, para obtenção da nota máxima



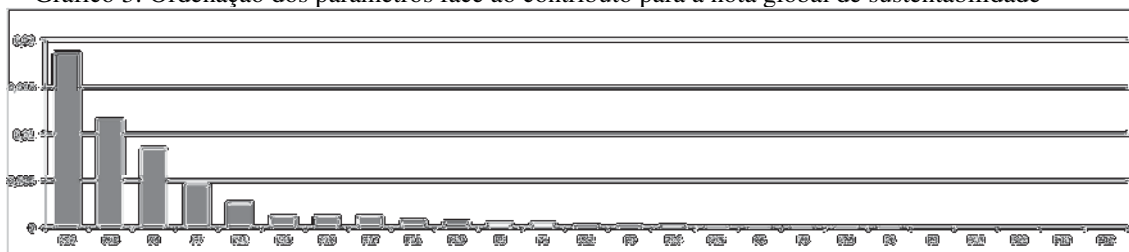
Assim, foi possível determinar quais os parâmetros que, sob o ponto de vista da melhoria da classificação da nota de sustentabilidade, poderiam contribuir mais significativamente para alcançar a classe A. Como se pode ver pelo gráfico seguinte, nem todos os parâmetros são susceptíveis de melhoria, existindo outros com claro potencial de melhoria.

Gráfico 2: Ganhos potenciais de sustentabilidade por parâmetro



De modo a orientar as medidas de melhoria, em função da contribuição do potencial ganho para a nota de sustentabilidade afectado do peso relativo de cada parâmetro, foi efectuada uma ordenação decrescente dos ganhos potenciais de cada parâmetro afectado pelo seu peso relativo de contribuição para a nota global de sustentabilidade.

Gráfico 3: Ordenação dos parâmetros face ao contributo para a nota global de sustentabilidade



Deste modo, foi dada prioridade às melhorias a efectuar por essa ordem, atingindo-se a classificação de sustentabilidade de nível A com o menor esforço possível, isto é, introduzindo o mínimo de medidas de melhoria.

Assim, as medidas de melhoria introduzidas foram analisadas, parâmetro a parâmetro, equacionando o ganho que se poderia obter com o menor custo possível em cada parâmetro.

O parâmetro que mais se destaca é o P24 - *custo do investimento inicial por m2 de área útil*, fruto da classificação atingida. Como se trata de uma reabilitação energética, onde foram introduzidas melhorias que implicaram custos acrescidos, o custo do investimento inicial é superior ao custo de investimento corrente para a reabilitação convencional.

Acresce que na distribuição da contribuição dos vários parâmetros para a nota global de sustentabilidade, este parâmetro assume a importância que lhe é reconhecida com um peso relativo de 15%.

Neste parâmetro apenas há que referir que será feita uma recomendação ao dono de obra de modo a que, em conjunto com o coordenador dos projetos de arquitectura e das especialidades, possa estudar alternativas a alguns materiais a aplicar em obra, no sentido de poder reduzir os custos do investimento inicial sem comprometer o desempenho do edifício em todas as vertentes.

Neste caso concreto, o parâmetro que se destaca é o P24-*Valor actual dos custos de utilização por m2 de área útil*. Mesmo tratando-se da análise de um projeto de reabilitação energética, os parâmetros relacionados com a *quantidade de energia que é produzida no edifício através de fontes renováveis* (Parâmetro P8) e com o *consumo de energia primária não renovável na fase de utilização* (Parâmetro P7) são os que apresentam maior potencial de melhorias significativas.

Nesta análise, o parâmetro relacionado com o *volume de água potável consumida anualmente per capita* (Parâmetro P14) embora não tenha, directamente, um peso significativo, o mesmo tem uma contribuição forte no parâmetro relacionado com o valor actual dos custos de utilização (parâmetro P24).

#### 4 MEDIDAS DE MELHORIA INTRODUZIDAS

Após a análise das oportunidades de melhoria hierarquizadas pela sua potencialidade de contributo para a classificação de sustentabilidade com classe A, segundo a avaliação da sustentabilidade através da ferramenta SBTool Pt, foram adoptadas as seguintes medidas de melhoria:

- Ao nível do parâmetro P7 (*Consumo de energia primária não renovável na fase de utilização*) e do parâmetro P8 (*Quantidade de energia que é produzida no edifício através de fontes renováveis*):

- Instalação de recuperador de calor a pellets para aquecimento ambiente (rendimento de 91%) e esquentador de alto rendimento para o AQS (rendimento a 30% da carga nominal de 101%);
- Reforço dos isolamentos na envolvente interior e exterior (20cm lã rocha na cobertura e 10cm nas paredes);
- Instalação de ventilação mecânica garantindo uma taxa de renovação nominal de 0,6RPH;

- Ao nível do parâmetro P11 (*% em custo de produtos de base orgânica certificados*):

- Aplicação de produtos, de base orgânica, certificados em soalhos (1% do custo total de reabilitação);

- Ao nível do parâmetro P14 (*Volume de água potável consumida anualmente per capita*):

- Instalação de aparelhos de utilização sanitários com redutores de caudal e máquinas de baixo consumo (eficiência hídrica);

- Ao nível do parâmetro P17 (*Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo de COV*):

- Aplicação de tintas e vernizes com baixo teor de COV's;

- Ao nível do parâmetro P23 (*Disponibilidade do manual de utilizador do edifício*):

- Elaboração do manual do utilizador do edifício;

- Ao nível do parâmetro P13 (*Índice de eficiência de deposição seletiva de resíduos doméstico*):

- Instalação de três contentores domésticos que permitem a separação por três tipos de resíduos recicláveis (papel, vidro e embalagens);
- Instalação de um pequeno reservatório para o armazenamento de óleos alimentares usados (oleão);

- Previsão de um local para a armazenagem de pilhas usadas (pilhão);

O reforço do isolamento das paredes faz-se pelo interior, pelo que à sua implementação está associada uma perda de área útil dos compartimentos que se quer minimizada, mas que foi contabilizada como custo uma vez que essa perda de área representa uma diminuição da área de venda.

Com a introdução das medidas de melhoria para atingir o nível de sustentabilidade A, segundo a metodologia SBTool Pt, o aumento do custo inicial de reabilitação foi de 21 394,38 € (vinte e um mil, trezentos e noventa e quatro euros e trinta e oito centimos), correspondendo a um aumento percentual de 15,87%.

Num próximo trabalho será desenvolvida esta metodologia para a determinação do menor custo possível para atingir a classificação de sustentabilidade de nível A. Posteriormente será efectuado o mesmo trabalho para a determinação do menor custo possível para atingir a classificação de sustentabilidade de nível A+.

## 5 PRESSUPOSTOS DA ANÁLISE ECONÓMICA

Face aos resultados obtidos, o passo seguinte foi determinar qual das soluções de reabilitação – reabilitação básica, reabilitação energética ou reabilitação sustentável - seria economicamente mais vantajosa sob o ponto de vista global de custos.

Assim, foram realizados os cálculos considerando os custos prováveis de aquisição, financiamento, reabilitação, utilização e custos fiscais.

A introdução dos custos relacionados com o financiamento tem dois objectivos. Por um lado, pretende-se incorporar o custo do dinheiro ao longo do tempo não sendo indiferente o valor do montante do investimento inicial ao longo do período de tempo considerado para a utilização do edifício. Por outro lado, permite uma comparação com uma referência conhecida para a maioria dos utilizadores.

Os cálculos para determinar as necessidades de aquecimento, as necessidades de arrefecimento e as necessidades para a produção de água quente sanitária baseou-se na metodologia preconizada no Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) publicado no Decreto Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril. Assim, a temperatura de referência para a estação de aquecimento é de 20°C e para a estação de arrefecimento é de 25°C. As necessidades de energia para a produção de água quente pressupõem o consumo diário de 40 l de água à temperatura de 45°C por cada habitante, determinado segundo o critério do RCCTE. Assim, os valores, determinados por este critério, pressupõem que as habitações são climatizadas de modo a garantir que a temperatura interior se mantém nas temperaturas de referência e que o consumo de água quente respeita o valor de referência.

Os casos que se apresentam baseiam-se num imóvel muito degradado pertencente a um único proprietário. Foram considerados dois casos, um em que o proprietário recorre ao financiamento bancário para a realização das obras de reabilitação e outro onde tal não é equacionado.

O período da análise foi de 30 anos após a conclusão da obra e foi estimado o prazo de 12 meses para a realização das obras de reabilitação.

O custo da energia considerada foi de 0,145 €/kWh – electricidade, 1,769€/kg de gás propano e 0,20€/kg de pellets/lenha. O custo médio, considerando as taxas de conservação do contador, do consumo de água potável foi de 0,456€/m<sup>3</sup>.

A taxa de variação anual do custo da energia foi estimado em 4% e a taxa média anual de inflação considerada foi de 2.5%.

A taxa de juro anual nominal considerada para o financiamento à reabilitação foi de 4.85%, valor em constante revisão face aos aumentos verificados nos últimos meses.

## 6 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Face às considerações efetuadas, partindo dos valores obtidos no trabalho desenvolvido pelo Eng.º João Carlos Bezerra, são apresentados os valores relativos aos custos de investimento inicial para cada situação de reabilitação e respectivos custos de utilização para as diversas necessidades – aquecimento, arrefecimento, consumo de água quente, consumo de água potável e encargos bancários se aplicável. Foi ainda determinado o valor patrimonial, segundo a regras do

Código do Imposto Municipal sobre Imóveis, uma vez que está prevista a diminuição do imposto a pagar no caso de utilização técnicas ambientalmente sustentáveis.

No quadro seguinte é apresentado um resumo dos custos de reabilitação para cada nível de intervenção e a totalidade dos custos anuais de utilização para o conjunto dos quatro apartamentos, para o caso de recurso ao financiamento bancário.

Tabela 2: Custos de reabilitação e de utilização mensais com recurso a financiamento bancário

|                                | Custos de Reabilitação |          | Custos de utilização mensais |         |
|--------------------------------|------------------------|----------|------------------------------|---------|
| Reabilitação básica            | 107 898,00 €           |          | 1 779,46 €                   |         |
| Reabilitação energética        | 134 774,25 €           | + 24,91% | 1 166,97 €                   | -34,42% |
| Reabilitação Sustentável - "A" | 156 168,63 €           | + 44,74% | 1 009,24 €                   | -43,28% |

Como se pode verificar, para as condições de referência, a diminuição dos custos de utilização são significativos apesar do aumento do custo inicial para a operação de reabilitação e dos respectivos encargos bancários associados. Nesta primeira análise, o nível de reabilitação mais vantajoso seria a reabilitação energética uma vez que para atingir este tipo de intervenção o aumento de custos seria de 24,9% e a diminuição dos custos de utilização associados é de 38%. Para a reabilitação sustentável o aumento de custos já é mais significativo (+44,7%) para uma diminuição de custos de utilização de 43,3%.

Na tabela seguinte é apresentado, de forma detalhada, a decomposição dos custos de utilização por categoria de custos.

Tabela 3: Custos anuais de utilização por categoria com recurso a financiamento bancário

| Tipo de Intervenção            | Área útil<br>4 apartamentos | Custo de investimento<br>inicial | Custos de utilização anuais |               |          |          |        |          |
|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------|----------|----------|--------|----------|
|                                |                             |                                  | Aquecimento                 | Arrefecimento | AQS      | Água     | Fiscal | Bancário |
| Reabilitação básica            | 195,8                       | 107 898,00 €                     | 8 711 €                     | 57,3 €        | 4 964 €  | 378,6 €  | 345 €  | 6 898 €  |
| Reabilitação energética        | 195,8                       | 134 774,25 €                     | 2 395 €                     | 63,3 €        | 2 353 €  | 378,6 €  | 329 €  | 8 485 €  |
| Reabilitação Sustentável - "A" | 195,8                       | 156 168,63 €                     | 786,33 €                    | 80,50 €       | 932,95 € | 233,26 € | 329 €  | 9 749 €  |

Numa análise mais pormenorizada, verifica-se que, para suprir as necessidades de aquecimento, a diminuição dos custos é muito significativa quer no caso da reabilitação energética quer no caso da reabilitação sustentável. O mesmo se passa para suprir as necessidades de preparação das águas quentes sanitárias. Por outro lado, destaca-se o aumento significativo dos custos com o financiamento bancário e um ligeiro aumento dos custos para suprir as necessidades de arrefecimento.

Como a análise é feita para o edifício no seu conjunto, foram determinados os custos de utilização mensais por m<sup>2</sup> de área útil, sendo um valor facilmente mais perceptível pela maioria dos utilizadores. Tendo como base os valores admitidos para a taxa anual de inflação e para a taxa anual de variação da energia, foram determinados os valores actuais líquidos para os encargos mensais por m<sup>2</sup> para um período de 30 anos.

Tabela 4: Custos de utilização mensais, por m2 de área útil, com recurso a financiamento bancário

| Tipo de Intervenção            | Custos de utilização mensais/m2 de área útil |               |        |        |        | Todos os encargos(€/m2.mês) |        |       |               |
|--------------------------------|----------------------------------------------|---------------|--------|--------|--------|-----------------------------|--------|-------|---------------|
|                                | Aquecimento                                  | Arrefecimento | AQS    | Água   | Fiscal | Bancário                    | Anuais | Total | VAL - 30 anos |
| Reabilitação básica            | 3,71 €                                       | 0,02 €        | 2,11 € | 0,16 € | 0,15 € | 2,94 €                      | 9,09 € | 9,1 € | 310,42 €      |
| Reabilitação energética        | 1,02 €                                       | 0,03 €        | 1,00 € | 0,16 € | 0,14 € | 3,61 €                      | 5,96 € | 6,0 € | 185,45 €      |
| Reabilitação Sustentável - "A" | 0,33 €                                       | 0,03 €        | 0,40 € | 0,10 € | 0,14 € | 4,15 €                      | 5,15 € | 5,2 € | 143,38 €      |

Verificamos que, apesar do aumento dos custos relacionados com o financiamento bancário para os dois níveis de reabilitação, os encargos totais diminuem para a utilização do edifício reabilitado com preocupações de eficiência energética e de sustentabilidade.

Uma vez que se pretende que a análise tenha em consideração o período alargado de utilização, foi determinado o Valor Atual Líquido (VAL) de todos os encargos para cada situação de reabilitação para um período de 30 anos, para a totalidade do prédio, na situação de recurso ao financiamento bancário:

Tabela 5: VAL de todos os encargos no período de 30 anos (edifício), incluindo encargos bancários

| Tipo de Intervenção            | Área útil<br>4 apartamentos | Custo de investimento<br>inicial | Todos os encargos |          |               |
|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------|----------|---------------|
|                                |                             |                                  | Anuais            | Poupança | VAL - 30 anos |
| Reabilitação básica            | 195,8                       | 107 898,00 €                     | 21 354 €          | - €      | 729 374 €     |
| Reabilitação energética        | 195,8                       | 134 774,25 €                     | 14 004 €          | 7 333 €  | 435 735 €     |
| Reabilitação Sustentável - "A" | 195,8                       | 156 168,63 €                     | 12 111 €          | 9 226 €  | 336 882 €     |

Outra das possibilidades estudadas, de modo a verificar qual a influência do recurso ao financiamento bancário na escolha do grau de reabilitação mais vantajoso sob o ponto de visto económico, foi considerar as operações de reabilitação sem recurso ao financiamento bancário.

Assim, no quadro seguinte é apresentado um resumo dos custos de reabilitação para cada nível de intervenção e a totalidade dos custos anuais de utilização para o conjunto dos quatros apartamentos, para o caso de não haver recurso ao financiamento bancário.

Tabela 6: Custos de reabilitação e de utilização mensais sem recurso a financiamento bancário

|                                | Custos de Reabilitação |          | Custos de utilização mensais |         |
|--------------------------------|------------------------|----------|------------------------------|---------|
| Reabilitação básica            | 107 898,00 €           |          | 1 204,65 €                   |         |
| Reabilitação energética        | 134 774,25 €           | + 24,91% | 459,87 €                     | -61,83% |
| Reabilitação Sustentável - "A" | 156 168,63 €           | + 44,74% | 196,82 €                     | -83,66% |

Como se pode verificar, para as condições de referência, a diminuição dos custos de utilização são significativos apesar do aumento do custo inicial para a operação de reabilitação e dos respectivos encargos bancários associados. Nesta análise, o nível de reabilitação mais vantajoso seria a reabilitação energética uma vez que para atingir este tipo de intervenção o aumento de custos seria de 24,9% e a diminuição dos custos de utilização associados é de 64,8%. Para a reabilitação sustentável o aumento de custos já é mais significativo (+44,7%) para uma diminuição de custos de utilização de 83,7%.

Na tabela seguinte é apresentado, de forma detalhada, a decomposição dos custos de utilização por categoria de custos.

Tabela 7: Custos anuais de utilização por categoria sem recurso a financiamento bancário

| Tipo de Intervenção            | Área útil<br>4 apartamentos | Custo de investimento inicial | Custos de utilização anuais |               |          |          |        |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------|----------|----------|--------|
|                                |                             |                               | Aquecimento                 | Arrefecimento | AQS      | Água     | Fiscal |
| Reabilitação básica            | 195,8                       | 107 898,00 €                  | 8 711 €                     | 57,3 €        | 4 964 €  | 378,6 €  | 345 €  |
| Reabilitação energética        | 195,8                       | 134 774,25 €                  | 2 395 €                     | 63,3 €        | 2 353 €  | 378,6 €  | 329 €  |
| Reabilitação Sustentável - "A" | 195,8                       | 156 168,63 €                  | 786,33 €                    | 80,50 €       | 932,95 € | 233,26 € | 329 €  |

Como a análise é feita para o edifício no seu conjunto, foram determinados os custos de utilização mensais por m<sup>2</sup> de área útil, sendo um valor facilmente perceptível pela maioria dos utilizadores. Tendo como base os valores admitidos para a taxa anual de inflação e para a taxa anual de variação da energia, foram determinados os valores atuais líquidos para os encargos mensais por m<sup>2</sup>, para um período de 30 anos.

Tabela 8: Custos de utilização mensais, por m2 de área útil, sem recurso a financiamento bancário

| Tipo de Intervenção            | Custos de utilização mensais/m2 de área útil |               |        |        | Todos os encargos(€/m2.mês) |       |               |
|--------------------------------|----------------------------------------------|---------------|--------|--------|-----------------------------|-------|---------------|
|                                | Aquecimento                                  | Arrefecimento | AQS    | Água   | Fiscal                      | Total | VAL - 30 anos |
| Reabilitação básica            | 3,71 €                                       | 0,02 €        | 2,11 € | 0,16 € | 0,15 €                      | 6,2 € | 316,17 €      |
| Reabilitação energética        | 1,02 €                                       | 0,03 €        | 1,00 € | 0,16 € | 0,14 €                      | 2,3 € | 186,36 €      |
| Reabilitação Sustentável - "A" | 0,33 €                                       | 0,03 €        | 0,40 € | 0,10 € | 0,14 €                      | 1,0 € | 149,20 €      |

Como se pode verificar, a diminuição dos encargos, no caso da reabilitação sustentável, é muito significativa, passando a totalidade dos encargos mensais de 6.7€/m2 para 1,0€/m2.

Para o caso de não haver recurso ao financiamento bancário, o VAL dos encargos aumenta. Tal fato, aparentemente inesperado, resulta da remuneração do capital ser considerada a 2.5% ao ano, enquanto que foi considerado que os encargos bancários apenas sofriam, em média, um aumento de 2% anuais. Curiosamente, o recurso ao financiamento bancário traz vantagens em relação à utilização de recursos próprios. Tal é verdadeiro enquanto a taxa de variação das taxas de juro do crédito for inferior à taxa de inflação.

Tabela 9: VAL de todos os encargos no período de 30 anos, sem recurso ao financiamento bancário

| Tipo de Intervenção            | Área útil<br>4 apartamentos | Custo de<br>investimento inicial | Todos os encargos |          |               |
|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------|----------|---------------|
|                                |                             |                                  | Anuais            | Poupança | VAL - 30 anos |
| Reabilitação básica            | 195,8                       | 107 898,00 €                     | 14 456 €          | - €      | 742 864 €     |
| Reabilitação energética        | 195,8                       | 134 774,25 €                     | 5 518 €           | 8 921 €  | 437 883 €     |
| Reabilitação Sustentável - "A" | 195,8                       | 156 168,63 €                     | 2 362 €           | 12 078 € | 350 549 €     |

No quadro seguinte, é feita uma comparação de todos os encargos mensais por m2 de área útil para os diversos níveis de reabilitação, recorrendo ou não ao financiamento bancário:

Tabela 10: Comparação dos custos de utilização mensais, por m2 de área útil

| Tipo de Intervenção            | Custo de todos os encargos com a utilização (€/m2.mês) |               |          |                        |               |          |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|----------|------------------------|---------------|----------|
|                                | com encargos bancários                                 |               |          | sem encargos bancários |               |          |
|                                | Total                                                  | VAL - 30 anos | poupança | Total                  | VAL - 30 anos | poupança |
| Reabilitação básica            | 9,1 €                                                  | 310,4 €       |          | 6,2 €                  | 316,2 €       |          |
| Reabilitação energética        | 6,0 €                                                  | 185,5 €       | -34%     | 2,3 €                  | 186,4 €       | -62%     |
| Reabilitação Sustentável - "A" | 5,2 €                                                  | 143,4 €       | -43%     | 1,0 €                  | 149,2 €       | -84%     |

A primeira conclusão parcial é de que compensa reabilitar de forma mais profunda – reabilitação energética e reabilitação sustentável -, admitindo que o edifício é climatizado nas condições de referência do RCCTE. A questão que se coloca é saber qual das duas reabilitações mais profundas é economicamente mais vantajosa. Pela análise dos quadros anteriores, pode concluir-se que a reabilitação sustentável conduz, a médio/longo prazo a uma poupança superior, apesar dos custos iniciais mais elevados.

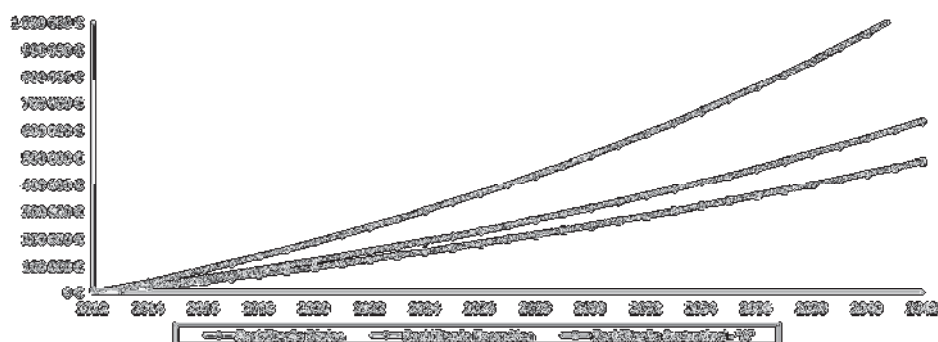
Atendendo ao clima económico e às mudanças cada vez mais rápidas na sociedade, uma análise para um período de 30 anos pode ser considerado um período demasiado curto, na óptica do investidor e utilizador final. Obviamente que, à escala global e mesmo à escala nacional, a reabilitação sustentável do edifício em causa seria a solução económica e ambientalmente mais vantajosa.

A análise seguinte tem como objectivo determinar o período de tempo necessário para compensar o aumento do investimento inicial, fornecendo assim uma indicação para a tomada de decisão sobre qual das reabilitações é mais vantajosa.

## 7 ANÁLISE DE RESULTADOS – ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÓMICA

Assim, para o caso do edifício ser reabilitado de forma normal, com reabilitação básica, a evolução dos custos acumulados de utilização são representados no gráfico seguinte tendo em consideração duas taxas de variação anual do custo da energia. Está também representado o valor actualizado do investimento inicial (aquisição e custos de reabilitação) ao longo de 30 anos.

| OPERAÇÃO DE UTILIZAÇÃO           | Reabilitação Básica | Reabilitação Energética | Reabilitação Sustentável - 10% |
|----------------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Aquisição                        | 8 711,10€           | 2 885,15€               | 765,28€                        |
| Acréscimo                        | 57,31€              | 63,76€                  | 80,50€                         |
| AN                               | 4 059,68€           | 2 182,62€               | 922,95€                        |
| Custos de água                   | 272,57€             | 272,57€                 | 272,26€                        |
| Energia elétrica                 | 6 827,71€           | 6 425,32€               | 9 324,20€                      |
| Custo de manutenção              | 19 102,53€          | 5 122,61€               | 2 052,03€                      |
| VAL. ACTUALIZADO DE INVESTIMENTO | 24 073,94€          | 14 678,45€              | 10 047,02€                     |



| Operação                                             | Investimento inicial | Custo de investimento | Período de retorno (anos) | Benefício económico líquido (€) |
|------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Reabilitação Básica / Reabilitação Energética        | 9 215,15€            | 16 673,30€            | 1                         | 5 458,15€                       |
| Reabilitação Básica / Reabilitação Sustentável - 10% | 8 711,10€            | 21 822,62€            | 1                         | 13 111,52€                      |
| Reabilitação Básica / Reabilitação Sustentável - 10% | 10 077,94€           | 42 578,45€            | 1                         | 32 500,51€                      |

Figura 1 – Comparação dos custos de utilização de referência – com recurso ao financiamento bancário

Verifica-se que o período de retorno do acréscimo de investimento para os casos de reabilitação energética e de reabilitação sustentável é de 1 ano, facto que resulta da maior diminuição dos custos de utilização do que o aumento dos encargos bancários fruto do aumento do financiamento necessário para realizar qualquer uma das reabilitações mais profundas. O benefício económico calculado para 10, 20 e 30 anos, resulta da diferença entre o Valor Actual Líquido de todos os encargos para cada uma das soluções de reabilitação. Como se pode ver, a solução mais vantajosa será a operação de reabilitação sustentável já que, desde o primeiro ano, tem vantagens sobre todas as outras operações de reabilitação e obtém um benefício a 30 anos de 392 492€ sobre a operação de reabilitação básica e de 98 853€ sobre a operação de reabilitação energética.

Para o caso de não se recorrer ao financiamento bancário, obtêm-se os seguintes valores:

| OPERAÇÃO DE UTILIZAÇÃO           | Reabilitação Básica | Reabilitação Energética | Reabilitação Sustentável - 10% |
|----------------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Aquisição                        | 8 711,10€           | 2 885,15€               | 765,28€                        |
| Acréscimo                        | 57,31€              | 63,76€                  | 80,50€                         |
| AN                               | 4 059,68€           | 2 182,62€               | 922,95€                        |
| Custos de água                   | 272,57€             | 272,57€                 | 272,26€                        |
| Custo de manutenção              | 19 102,53€          | 5 122,61€               | 2 052,03€                      |
| VAL. ACTUALIZADO DE INVESTIMENTO | 24 073,94€          | 14 678,45€              | 10 047,02€                     |

Figura 2 – parte 1 - Comparação dos custos de utilização de referência – sem recurso ao financiamento bancário

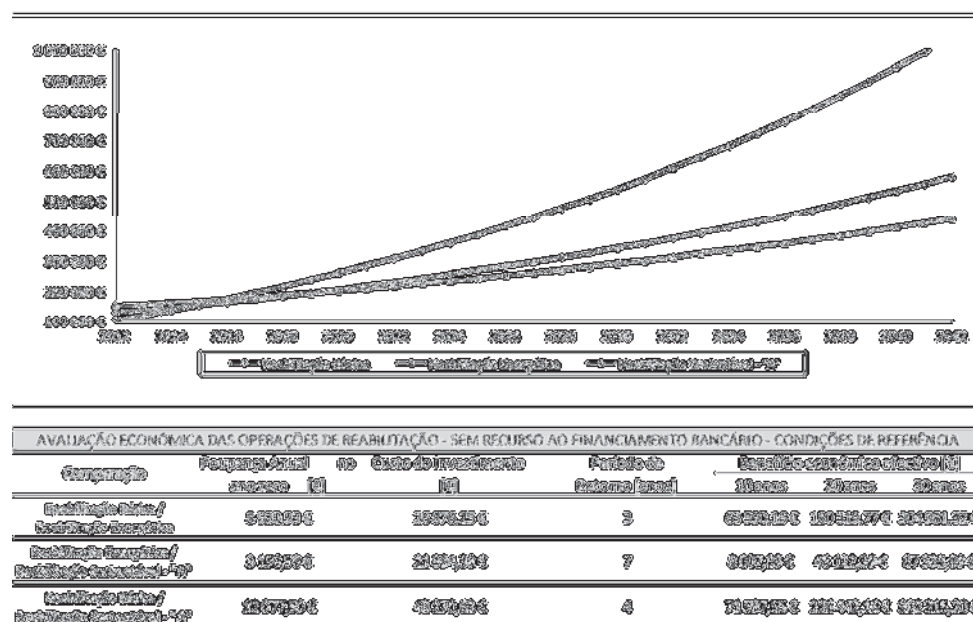


Figura 2 – parte 2 - Comparação dos custos de utilização de referência – sem recurso ao financiamento bancário

Verifica-se que o período de retorno do acréscimo de investimento para os casos de reabilitação energética face à reabilitação básica é de 3 anos. Para o caso de reabilitação sustentável face à reabilitação básica, o período de retorno do acréscimo de investimento é de 4 anos. O período de retorno do acréscimo de investimento entre a reabilitação energética e a reabilitação sustentável já é um pouco mais dilatado e atinge os 7 anos.

Neste caso, se a decisão de optar pela reabilitação energética é claramente vantajosa, passar deste nível de reabilitação para a reabilitação sustentável implica uma espera maior pelo retorno do acréscimo do investimento necessário – 7 anos.

Como se pode ver, a solução mais vantajosa, a longo prazo, será a operação de reabilitação sustentável já que, a partir do sétimo ano, tem vantagens sobre todas as outras operações de reabilitação e obtém um benefício a 30 anos de 392 315€ sobre a operação de reabilitação básica e de 87 334€ sobre a operação de reabilitação energética.

Face aos valores apresentados, uma das observações muitas vezes invocadas está relacionada com a baixa probabilidade dos utilizadores manterem as temperaturas de referência nas estações de aquecimento e de arrefecimento. Frequentemente é referido que os custos necessários para manter as temperaturas de referência são in comportáveis, pelo que os pressupostos da análise, embora sejam efectuados segundo o definido em regulamento, estão desfasados da realidade.

Como não existe um valor de referência para as temperaturas interiores médias correntes nas habitações em Portugal, é frequente adoptar como média para os custos reais de utilização, apenas um terço dos custos de utilização determinados para as temperaturas de referência e para o consumo de água quente nas condições de referência.

Assim, enquanto não houver estudos mais concretos sobre esta matéria, foram realizados cálculos para determinar a viabilidade económica dos diferentes níveis de reabilitação, assentes nesta simplificação para determinar os custos de utilização reais.

Para cada um dos cenários anteriores foram obtidos, para os custos de utilização “reais”, para o caso de recurso ao financiamento bancário, os seguintes valores:

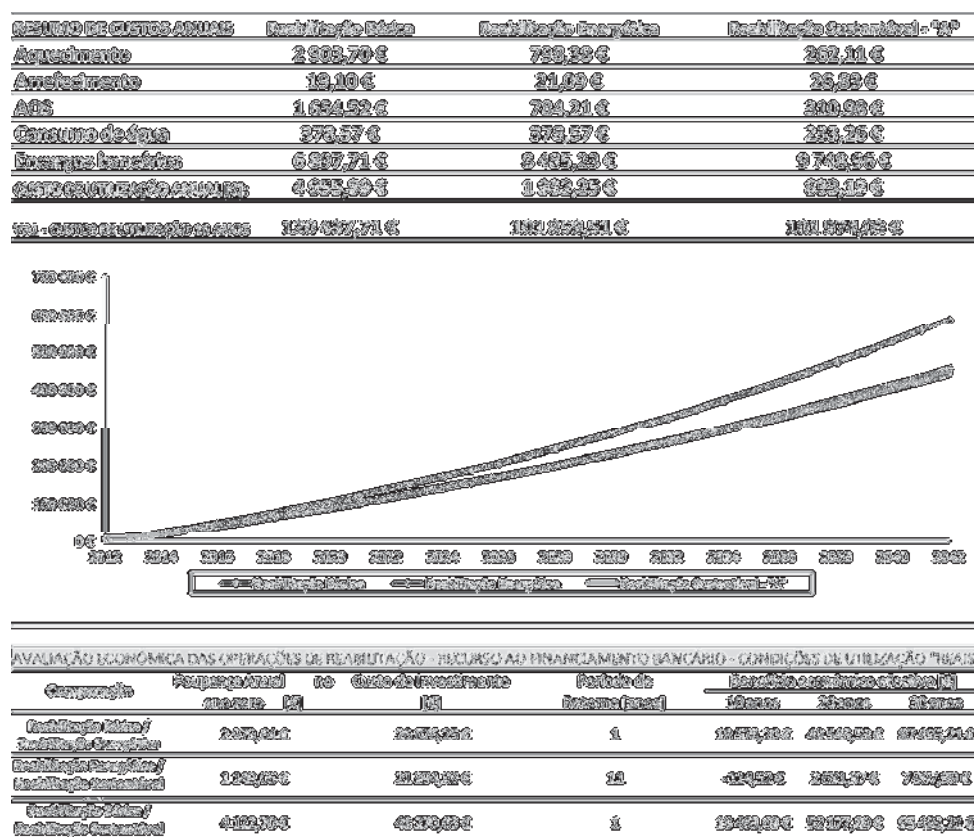


Figura 3 – Comparação dos custos de utilização “reais” – com recurso ao financiamento bancário

Como se pode verificar, o período de retorno do acréscimo de investimento para passar da reabilitação básica para a reabilitação energética ou para a reabilitação sustentável é de apenas 1 ano. Já quando equacionamos entre efectuar a reabilitação energética ou a reabilitação sustentável, o período de retorno do acréscimo de investimento é de 11 anos. Assim, considerando custos de utilização “reais”, a opção entre a reabilitação energética e a reabilitação sustentável é vantajosa apenas a longo prazo, sendo atingido um benefício económico a 30 anos de cerca de 8000€.

No caso de não haver recurso ao financiamento bancário, os valores obtidos são os seguintes:

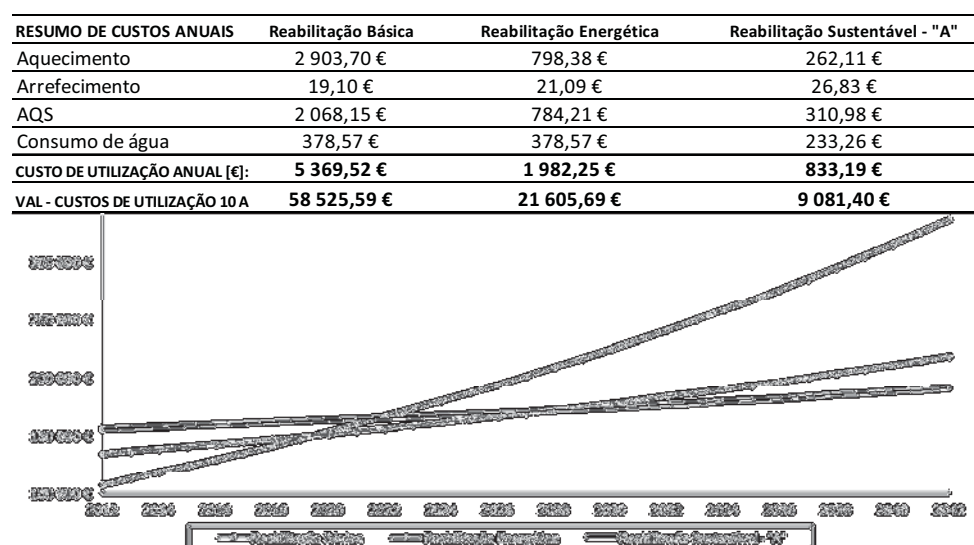


Figura 4 – Parte 1. Comparação dos custos de utilização “reais” sem recurso ao financiamento bancário

| AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E ECONÓMICA DA MEDIDA DE MELHORIA |                        |                                  |                               |                              |                      |             |
|--------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------|-------------|
| Cenário                                                | Poupança Anual<br>em € | no custo de investimento<br>em € | Período de<br>Retorno em Anos | Reabilitação energética em € |                      |             |
|                                                        |                        |                                  |                               | Básica                       | Básica + Sustentável | Sustentável |
| Reabilitação Básica / Reabilitação Energética          | 2517,59€               | 204025,2                         | 8                             | 2517,59€                     | 204025,2             | 204025,2    |
| Reabilitação Básica / Reabilitação Sustentável         | 1419,39€               | 212093,6                         | 15                            | 1419,39€                     | 212093,6             | 212093,6    |
| Reabilitação Básica / Reabilitação Sustentável         | 4723,51€               | 407493,4                         | 20                            | 4723,51€                     | 407493,4             | 407493,4    |

Figura 4 – Parte 2. Comparação dos custos de utilização “reais” sem recurso ao financiamento bancário – Análise do período de retorno comparando os vários níveis de reabilitação

Neste caso, é interessante verificar que os períodos de retorno do acréscimo de investimento para cada um dos níveis de reabilitação são mais longos. Como se pode verificar, o período de retorno do acréscimo de investimento para passar da reabilitação básica para a reabilitação energética é de 8 anos. Já quando equacionamos entre efectuar a reabilitação básica ou a reabilitação sustentável, o período de retorno do acréscimo de investimento é de 10 anos. Assim, considerando custos de utilização “reais”, a opção entre a reabilitação energética e a reabilitação sustentável é claramente vantajosa a longo prazo, sendo atingido um benefício económico a 30 anos de cerca de 51 000€.

## 8 CONCLUSÕES

Face aos resultados obtidos para os diversos cenários estudados podemos concluir, para o caso em estudo, que o recurso ao financiamento bancário conduz a períodos de retorno, para o acréscimo de investimento inicial, mais curtos do que no caso de não ser necessário recorrer ao financiamento. A explicação reside no facto de não ser necessário dispor de investimentos elevados no momento inicial, sendo que os custos acrescidos inerentes aos juros do financiamento são compensados pela poupança nos custos de utilização ao longo dos anos. Estas conclusões baseiam-se em variáveis estimadas para a evolução do custo da energia, para a inflação e para as taxas de juro no financiamento bancário, sempre de difícil previsão.

No caso mais “defensivo”, considerando que os custos de utilização são muito inferiores aos custos de utilização determinados para as condições de referência definidos no RCCTE, a conclusão de que o recurso ao financiamento bancário conduz a períodos de retorno do acréscimo de investimento mais curtos, mantém-se.

Neste cenário, para o caso de não haver recurso ao financiamento bancário, a curto prazo, apenas é vantajosa a opção pela operação de reabilitação energética face à operação de reabilitação básica, já que o período de retorno do acréscimo de investimento é de 8 anos.

A operação de reabilitação sustentável face à operação de reabilitação básica apenas passa a ser vantajosa após o 10º ano. Já quando a opção é feita entre a reabilitação energética e a reabilitação sustentável, apenas passa a ser vantajoso após o 16º ano.

Em todos os cenários, a opção pela reabilitação sustentável é francamente vantajosa se for equacionada a longo prazo, sendo vantajosa, em alguns casos, desde o primeiro ano. Não foram estudados e contabilizados os efeitos positivos relacionados com o conforto térmico e com a utilização de edifícios sustentáveis, sendo objeto de estudo em trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Mateus, Ricardo, Bragança, Luís; Guia de Avaliação SBTool-PT – V2009/1 – IISBE Portugal – Edições IISBE Portugal; 2009;
- Mateus, Ricardo, Bragança, Luís; Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção – 2006 – Edições Ecopy;
- Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril - Regulamento da Características de Comportamento Térmico de Edifícios – RCCTE; Lisboa; Porto Editora;
- Sustentabilidade na Reabilitação Urbana: O Novo Paradigma do mercado da Construção – Conferência Nacional 2011 - IISBE Portugal;

# Contabilizando a reabilitação na avaliação de sustentabilidade de edifícios de serviços

José Amarílio Barbosa

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*  
zemib@civil.uminho.pt

Luís Bragança

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*  
braganca@civil.uminho.pt

**Resumo:** Este trabalho teve como objectivo o desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de sustentabilidade direccionada para os edifícios de serviços. A metodologia será desenvolvida através da experiência adquirida na adaptação do sistema SBtool ao contexto português, que culminou no desenvolvimento da metodologia SBTool PT-H. Desta forma, a metodologia de avaliação de sustentabilidade de edifícios de serviços será baseada e terá uma base semelhante à metodologia SBTool PT-H, que é direccionada para edifícios de habitação.

A metodologia será desenvolvida através de um sistema de avaliação de desempenho do edifício ao nível de uma lista de parâmetros por comparação com práticas de referência praticadas em Portugal. Por fim, a classificação final do edifício será obtida através de uma ponderação do desempenho ao nível dos vários parâmetros de avaliação, obtendo-se um valor representativo da sustentabilidade do edifício. Na tarefa de adaptação da metodologia para edifícios de serviços, foi estudada a sua aplicabilidade em obras de reabilitação, dada a importância crescente deste tipo de obras.

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Âmbito

O nosso planeta tem sofrido alterações profundas principalmente nos últimos 60 anos. As condições estáveis que se verificaram durante milhões de anos já não existem e isso deve-se principalmente à actividade do homem. A espécie humana, que se estima existir há cerca de 200.000 anos, conseguiu viver em harmonia com o planeta durante toda a sua história, mas no curtíssimo tempo de duração das últimas duas gerações, a humanidade está a provocar no planeta impactos que podem levar à ruína tanto da nossa espécie como de grande parte da biodiversidade do planeta. Estes problemas resultam essencialmente da conjugação de três factores: o aumento da população mundial, o consumo de recursos e a poluição da atmosfera, solo e água.

Um dos sectores que mais afecta o planeta é o sector dos edifícios, pois no seu ciclo de vida são responsáveis por grandes consumos de recursos, de energia e produção de resíduos, estando ainda associados a grande importância económica e social (Mateus, 2009). Por esta razão tem surgido nos últimos anos inúmeros avanços para minimizar o impacto dos edifícios, principalmente a nível regulamentar. Uma das formas de minimizar o impacto dos edifícios é adoptando o conceito de construção sustentável (Kibert, 1994). Desta forma têm surgido na última década uma série de metodologias de avaliação de sustentabilidade de edifícios que permitem avaliar o nível de sustentabilidade de um edifício em função do seu desempenho ambiental, social e económico. Neste sentido foi desenvolvida pela Associação iiSBE Portugal uma metodologia de avaliação de sustentabilidade de edifícios habitacionais adequada ao contexto português, denominada SBTool PT, baseada na ferramenta SBTool global.

No entanto, surge a necessidade de se desenvolverem metodologias adequadas a outros tipos de edifícios de forma a possibilitar a implementação da sustentabilidade do sector, como por exemplo em edifícios de serviços. A implementação de metodologias de avaliação de sustentabilidade em edifícios de serviços pode ter um efeito impulsionador destas metodologias. Isto porque nos edifícios habitacionais, muitas das vezes o dono de obra (principalmente em edifícios unifamiliares) tem alguma relutância em aplicar estas metodologias, pois não vê grandes benefícios directos na construção de edifícios sustentáveis nem em avaliar o desempenho dos

seus edifícios, até porque quem usufrui os benefícios das menores tarifas mensais e maior conforto são os futuros ocupantes dos edifícios. Pelo contrário, no caso dos edifícios de serviços, tanto de empresas privadas como públicas, além dos benefícios directos económicos resultantes de construir edifícios mais sustentáveis serem lucros ou poupanças dessas mesmas empresas, existe também um ganho indirecto ao melhorar a imagem de responsabilidade social da empresa (Social Investment Forum, 2010). Ao surgirem metodologias de avaliação de sustentabilidade aplicáveis aos edifícios destas empresas/entidades, certamente haverá uma boa aceitação e haverá a intenção de avaliar os seus edifícios assim como construir/reconstruir de forma mais sustentável, o que no futuro possibilitará uma impulsão na aplicação destas metodologias para os edifícios habitacionais e também para outros tipos de edifícios, como por exemplo os edifícios escolares ou industriais.

## 1.2 Objectivos

O objectivo deste trabalho prendeu-se com o desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de sustentabilidade direccionada para os edifícios de serviços. Para o efeito foi aproveitada a experiência que o autor obteve fruto da colaboração com a equipa do Laboratório de Física e Tecnologia das Construções da Universidade do Minho na tarefa de adaptação da metodologia SBtool ao contexto português para a avaliação de sustentabilidade de edifícios habitacionais, que culminou no desenvolvimento da metodologia SBTool PT. A metodologia de avaliação será desenvolvida através de um sistema de avaliação de desempenho dos edifícios ao nível de uma série de parâmetros por comparação com práticas de referência praticadas em Portugal. Por fim, a classificação final será obtida através de uma ponderação do desempenho normalizado ao nível de cada parâmetro, de forma a se obter um valor representativo da sustentabilidade do edifício.

Para facilitar a realização de avaliações de sustentabilidade de edifícios de serviços utilizando a metodologia desenvolvida, foi também desenvolvido um guia de avaliação, à semelhança da metodologia SBTool PT para edifícios habitacionais.

## 2 ESTADO DA ARTE

### 2.1 Sustentabilidade no planeta

O mundo actual enfrenta vários problemas ambientais, sociais e económicos. Como já foi referido, estes problemas resultam essencialmente da conjugação de três factores: o aumento da população mundial, o consumo de recursos e a poluição da atmosfera, solo e água.

A população mundial tem aumentado de uma forma assustadora nas últimas décadas. Para se ter uma ideia do rápido crescimento populacional, a população mundial que apenas atingiu um bilião de pessoas no ano de 1804, aumentou para 2 biliões em 1927, 3 biliões em 1960, 4 biliões em 1974, 5 biliões em 1987 e por fim atingiu os 6 biliões em 1999. A população mundial em 2010 já atingiu os 6,850 biliões de habitantes prevendo-se que atinja os 8 biliões em 2028 (Nações Unidas, 2010).

Este grave aumento da população mundial aliado ao estilo de vida da sociedade actual que está a começar a ser adoptado pelos países em desenvolvimento está a provocar uma grande exigência de recursos naturais ao planeta sendo uma das maiores causas da crise mundial que se vive nos dias de hoje. Se toda a população mundial vivesse segundo o estilo de vida europeu, seriam necessários dois planetas e meio para existirem recursos suficientes para toda a população (EU, 2009).

O aquecimento global, uma das grandes causas dos problemas ambientais que vivemos actualmente, deve-se ao aumento de emissões de gases com efeito de estufa na atmosfera. Este fenómeno tem provocado consequências severas para a população mundial, como o aumento do nível médio das águas do mar, as alterações climáticas a perda de biodiversidade, a desertificação, entre outras. Em 2005, a temperatura média mundial estava 0,76 °C acima da temperatura média da era pré-industrial e prevê-se que até ao final deste século a temperatura aumente entre 1,8 a 4 °C. Para se perceber a importância de se impedir este contínuo acréscimo de temperatura, prevê-se o risco de ocorrência de alterações climáticas irreversíveis, como o derretimento do gelo nos pólos e correspondente subida do nível das águas do mar, se a temperatura aumentar

2°C acima da temperatura da era pré-industrial, ou seja, cerca de 1,2° C acima da temperatura actual (EU, 2009).

A energia é um dos factores mais importantes na busca por um desenvolvimento sustentável. Isto porque o aumento dos consumos energéticos é um dos principais factores que conduziu ao aquecimento global. O consumo de energia é o principal responsável pelas emissões de gases com efeito de estufa na União Europeia (UE), estimando-se que o sector da construção seja responsável por 78% das emissões destes gases (CE, 2006). Assim, a utilização eficiente da energia é seguramente uma das formas mais importantes para minimizar os problemas ambientais da actualidade, no entanto, a procura de energia é cada vez maior em todo o mundo.

## 2.2 *Sustentabilidade no sector da construção*

O sector da construção é a nível mundial responsável pelo consumo de cerca de 40% dos materiais e de 55% das madeiras extraídas (Gaspar, 2009). Representa 40% dos consumos de energia finais da Europa (Directiva 31/2001/EU) e cerca de 35% das emissões de gases com efeito de estufa (Nelson, 2010). No que toca a resíduos, as actividades de construção produzem cerca de 22% de todos os resíduos produzidos na Europa (APA, 2010).

De acordo com o Balanço energético de 2005, em Portugal os edifícios foram responsáveis pelo consumo de 5,8Mtep (milhões de toneladas equivalentes de petróleo), representando cerca de 30% do consumo total de energia primária do país e 62% dos consumos de electricidade (Isolani, 2008). No entanto, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética (ADENE, 2009). Foi por este motivo que surgiram ao longo das últimas décadas um conjunto de directivas e leis a nível europeu e nacional que promovem quer a diminuição dos consumos energéticos quer o aumento da cota de energias renováveis.

A nível económico e social o impacto do sector é também enorme, tendo em conta que corresponde a quase 10% do PIB a nível europeu, emprega directamente 12 milhões de cidadãos da UE e indirectamente 26 milhões de trabalhadores são dependentes deste sector (EP, 2010).

Verifica-se ainda que o sector dos edifícios (habitacional & PME) produz 17% das emissões de gases de efeito de estufa para a atmosfera. No entanto, tal como anteriormente referido o sector dos edifícios representam 40% dos consumos de energia. Ou seja 40% das emissões produzidas no sector da energia estão também relacionadas com os edifícios, resultando assim num total de emissões correspondentes a este sector de aproximadamente 28% (EU, 2009).

O sector dos edifícios de serviços representava em 2002 15% do consumo de energia final da Europa e 12% do consumo de energia final de Portugal (Pires, 2005). No entanto, no sector dos serviços a taxa de crescimento de consumos de energia traduz-se em valores médios da ordem dos 12% (Decreto-lei 79/2006), pelo que actualmente a taxa de consumos energéticos que corresponde a este sector é ainda maior do que os valores apresentados para 2002.

Este sector, juntamente com o sector dos edifícios residenciais é dos que tem maior potencial de poupança energética na Europa (em parte devido ao grande contributo destes para os consumos energéticos). O potencial de poupança energética previsto para o sector dos serviços é de cerca de 30% (CE, 2007).

## 2.3 *Metodologias de avaliação de sustentabilidade*

Existem neste momento uma série de ferramentas de avaliação da sustentabilidade de edifícios. Uma avaliação de sustentabilidade de um edifício deve ter em conta a situação política, cultural, social e económica do local onde esta irá ser aplicada. Daí que, dada a subjectividade inerente a avaliação de sustentabilidade, nenhuma destas metodologias seja amplamente aceite (Mateus, 2009).

A título de exemplo é efectuada de seguida uma breve descrição dos sistemas BREEAM (Building Research Establishment Assessment Method), LEED (Leadership in energy & Environmental Design do USGB), CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency), HQE (Association pour la Haute Qualité Environnementale) DGNB (German Sustainable Building Certificate) e SBtool (Sustainable Building Assessment Tool).

O BREEAM foi o primeiro método de avaliação ambiental de edifícios. Foi desenvolvido no Reino Unido por investigadores do BRE e do sector privado em 1988. Estima-se que mais de 30% dos edifícios do Reino Unido estejam avaliados através deste método. De forma a poderem ser efectuadas avaliações exteriores ao Reino Unido foi entretanto desenvolvido o BREEAM International. O LEED é um sistema de avaliação americano foi estabelecido em 1996, sendo

gerido pela organização não governamental U.S. Green Building Council. A expansão deste sistema para o exterior dos Estados Unidos é notória tendo este sistema sido utilizado em muitos países em todo o mundo. A HQE é uma associação francesa fundada em 1996 que reúne os profissionais do sector da construção com o objectivo de melhorar a qualidade ambiental da construção. O SBtool é um sistema de avaliação da construção sustentável desenvolvido através da colaboração de mais de 20 países a partir de 1996. Esta ferramenta do Green Building Council foi promovido pela International Initiative for a Sustainable Built Environment (iiSBE) e teve como objectivo a criação de um sistema a partir do qual fosse possível avaliar o desempenho ambiental de edifícios a nível internacional. O CASBEE é um sistema japonês de avaliação ambiental de edifícios apresentado publicamente pelo Japan Sustainable Building Consortium em 2002. O DGNB é uma ferramenta de avaliação ambiental alemã que foi desenvolvido pelo German Sustainable Building Council em conjunto com o Federal Ministry of Transport, Building and Urban Affairs e lançado em 2009 para ser utilizada para o planeamento e avaliação de edifícios.

Este tipo de ferramentas estão a surgir cada vez mais como uma solução importante para fazer face aos impactos do sector da construção que até ao momento apenas estão a ter avanços substanciais relacionados com a legislação energética. Como foi possível verificar nos capítulos anteriores, a sustentabilidade assenta numa avaliação dos edifícios ao nível de inúmeras temáticas de importância tão grande ou maior do que o consumo energético.

### 3 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA

#### 3.1 Metodologia

À semelhança da metodologia desenvolvida para os edifícios habitacionais (SBTool PT), a metodologia de avaliação baseia-se no cálculo do nível de desempenho normalizado do edifício numa série de parâmetros, através da comparação com práticas de referência nacionais utilizando a equação de Diaz-Baltero (1). A partir desse nível de desempenho normalizado do edifício ao nível de cada parâmetro é possível, através de um sistema de pesos, determinar o desempenho do edifício ao nível das várias categorias, dimensões e, por fim, o desempenho final.

$$\bar{P}_i = \frac{P_i - P_{i*}}{P_i^* - P_{i*}} \quad (1)$$

Assim, uma vez que esta metodologia de avaliação é na verdade uma comparação entre o edifício e práticas de referência nacionais, pode-se dizer que se trata de uma avaliação relativa de sustentabilidade. Desta forma, à semelhança do trabalho que precedeu a metodologia SBTool PT, a metodologia de avaliação desenvolvida neste trabalho terá o acrónimo MARS-S, Metodologia de Avaliação Relativa de Sustentabilidade (Mateus, 2009) para edifícios de Serviços e doravante será denominada desta forma. O sistema MARS-S terá então um método de avaliação sustentado nas 3 dimensões da sustentabilidade, ambiente, sociedade e economia. As três dimensões subdividem-se em categorias que por sua vez se subdividem em parâmetros. A estrutura da metodologia SBTool PT apresenta-se na Tabela 1.

A metodologia de avaliação foi desenvolvida em quatro fases. Numa primeira fase, foram enumeradas algumas considerações e alterações gerais que abrangem toda a metodologia de avaliação. Na fase seguinte foram analisados os métodos de avaliação dos vários parâmetros da metodologia SBTool PT, de forma a verificar a compatibilidade e aplicabilidade desses métodos de avaliação para edifício de serviços, uma vez que foram inicialmente desenvolvidos para edifícios habitacionais. Nesta fase foram também averiguadas as necessidades de melhoria no enquadramento dos parâmetros e indicadores ao nível das várias categorias e dimensões. Numa terceira fase foram avaliadas as necessidades de se efectuarem ajustes aos pesos dos parâmetros, indicadores e dimensões da metodologia desenvolvida, em relação aos pesos existentes na metodologia SBTool PT. Por fim, foi desenvolvido o guia de avaliação da metodologia que permitirá a um avaliador qualificado efectuar uma avaliação de sustentabilidade a um edifício de serviços de uma forma mais rápida e eficaz.

Tabela 1: Estrutura da metodologia SBTool PT

| Dimensão  | Categoria                                            | Indicador                                                                        | Parâmetro                                                                                               |
|-----------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ambiental | C1 Alterações climáticas e qualidade do ar exterior  | Impacte ambiental associado ao ciclo e vida dos edifícios                        | P1 Valor agregado dos impactes ambientais de ciclo de vida por m <sup>2</sup> de área útil de pavimento |
|           | C2 Biodiversidade e Uso do solo                      | Densidade Urbana                                                                 | P2 Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível<br>P3 Índice de impermeabilização   |
|           |                                                      | Reutilização de solo previamente contaminado                                     | P4 Percentagem de área de intervenção previamente contaminada ou edificada                              |
|           |                                                      | Uso de plantas autóctones                                                        | P5 Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones                                          |
|           |                                                      | Efeito de ilha de calor                                                          | P6 Percentagem da área em planta com reflectância igual ou superior a 60%                               |
|           | C3 Energia                                           | Energia primária não renovável                                                   | P7 Consumo de energia primária não renovável na fase de utilização                                      |
|           |                                                      | Energia produzida localmente a partir de fontes renováveis                       | P8 Quantidade de energia que é produzida no edifício através de fontes renováveis                       |
|           | C4 Materiais e resíduos sólidos                      | Reutilização de materiais                                                        | P9 Percentagem em custo de materiais reutilizados                                                       |
|           |                                                      | Utilização de materiais reciclados                                               | P10 Percentagem em peso do conteúdo reciclado do edifício                                               |
|           |                                                      | Recurso a materiais certificados                                                 | P11 Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados                              |
|           |                                                      | Uso de substitutos do cimento no betão                                           | P12 Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão                                   |
|           |                                                      | Condições de armazenamento de resíduos sólidos na fase de utilização do edifício | P13 Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos                |
|           | C5 Água                                              | Consumo de água                                                                  | P14 Volume anual de água consumido <i>per capita</i> no interior do edifício                            |
|           |                                                      | Reutilização e utilização de água não potável                                    | P15 Percentagem de redução do consumo de água potável                                                   |
| Social    | C6 Conforto e saúde dos utilizadores                 | Eficiência da ventilação natural em espaços interiores                           | P16 Potencial de ventilação natural                                                                     |
|           |                                                      | Toxicidade dos materiais de acabamento                                           | P17 Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo de COV                            |
|           |                                                      | Conforto térmico                                                                 | P18 Nível de conforto térmico médio anual                                                               |
|           |                                                      | Conforto visual                                                                  | P19 Média do factor de luz do dia médio                                                                 |
|           |                                                      | Conforto acústico                                                                | P20 Nível médio de isolamento acústico                                                                  |
|           | C7 Acessibilidade                                    | Acessibilidade a transportes públicos                                            | P21 Índice de acessibilidade a transportes públicos                                                     |
|           |                                                      | Acessibilidade a amenidades                                                      | P22 Índice de acessibilidade a amenidades                                                               |
|           | C8 Sensibilização e educação para a sustentabilidade | Formação dos ocupantes                                                           | P23 Disponibilidade do manual de utilizador do edifício                                                 |
| Económica | C9 Custos de ciclo de vida                           | Custo de investimento inicial                                                    | P24 Custo de investimento inicial                                                                       |
|           |                                                      | Custos de utilização                                                             | P25 Custos de Utilização                                                                                |

Em relação à metodologia SBTool PT, foram ainda introduzidas algumas novidades. A nível estrutural, foi eliminado o nível de separação “indicadores”, passando a existir apenas dimensões, categorias e parâmetros. Esta alteração deveu-se ao facto de os indicadores acrescentarem relativamente pouca informação relativamente aos nomes dos parâmetros e das categorias. Além disso, foram também simplificados os nomes dos parâmetros, que em muitas das vezes continham excesso de informação, resultando em nomes demasiado detalhados e extensos. Além disso, foi tido em conta que uma metodologia de avaliação de sustentabilidade de edifícios de serviços não pode ter uma abordagem demasiado rígida, de forma a deixar espaço à flexibilidade exigida pela diversidade das actividades empresariais dos edifícios de serviços (Verfaillie, 2000), mas também não pode ser demasiado flexível de forma a facilitar o desenvolvimento dos métodos de cálculo. Houve também uma tentativa de nos vários parâmetros compatibilizar sempre que possível a legislação em vigor à metodologia de avaliação, facilitando tanto a aplicação como a implementação da metodologia MARS-S.

Outra das alterações efectuadas foi na parte correspondente à aplicabilidade dos parâmetros. Na metodologia SBTool PT este campo é repetitivo dizendo que a metodologia se aplica a edifícios novos e a obras de reabilitação ou ampliação, diferindo apenas em alguns parâmetros dizendo que só se aplicam a edifícios que estejam no âmbito do RCCTE. Nos parâmetros em que haviam especificações referentes aos tipos de edifícios, as mesmas eram indicadas no final do método de cálculo desses parâmetros. Para não criar informação redundante, definiu-se para a metodologia MARS-S uma aplicabilidade fixa em termos de tipo de edifícios, tipo de obras e fases de obras. Assim, a metodologia aplica-se a edifícios de serviços de escritórios que estejam no âmbito do RSECE ou RCCTE, a edifícios novos e em operações de reabilitação ou ampliação e nas fases de ante-projecto, projecto, construção e utilização. Estes tipos de obras e as diferentes fases estudadas são as mesmas que são utilizadas na metodologia SBTool global (iiSBE, 2010). Assim, a parte correspondente à aplicabilidade foi transposta para o método de cálculo de cada parâmetro, onde são indicadas as diferenças que se devem ter em conta para os vários tipos de obras e nas várias fases de execução das mesmas.

### 3.2 *Desenvolvimento da ferramenta*

Neste capítulo são apresentadas as principais adaptações efectuadas ao método de cálculo dos parâmetros de avaliação de forma a adaptar a metodologia de avaliação aos edifícios de serviços.

#### 3.2.1 *Parâmetro 1- Valor agregado dos impactes ambientais de ciclo de vida por m2 de área útil de pavimento*

Foi efectuada uma análise profunda ao método de cálculo utilizado na avaliação deste parâmetro, através da qual foram encontradas algumas particularidades que podiam levar a que um avaliador cometesse erros de cálculo. Desta forma, mantendo a base original, foram efectuadas algumas melhorias ao método de cálculo de forma a corrigir esses problemas. Estas alterações não só diminuem o número de dados e tabelas deste parâmetro mas também a sua complexidade e velocidade de processamento, possibilitando acima de tudo uma maior clareza nos resultados obtidos e a minoração da possibilidade de ocorrerem erros de cálculo.

#### 3.2.2 *Parâmetro 3 – Índice De Impermeabilização*

Uma vez que foi difícil encontrar uma relação directa entre o índice de impermeabilização de um terreno e a sua influência na biodiversidade, decidiu-se alterar este parâmetro para a categoria 5: “Água”. Para adaptar a metodologia de avaliação deste parâmetro aos edifícios de serviços, foi efectuado um estudo aos vários PDM's incluindo todos os distritos de Portugal, de forma a definir novas práticas de referência para abranger as características dos edifícios de serviços. Desta forma, foi definida uma nova prática convencional de 70% para o Índice de Impermeabilização e consequentemente definiu-se o valor da melhor prática em 35%. Foi adicionado uma referência para contabilizar áreas impermeáveis a partir das quais é aproveitado o seu escoamento para reservatórios destinados ao aproveitamento de águas pluviais, como áreas 100% permeáveis.

#### 3.2.3 *Parâmetro 4 – Percentagem de área de intervenção previamente contaminada ou edificada*

Neste parâmetro foi alterado o valor da prática convencional, que anteriormente era 0% e passou a ser utilizado um valor de 30%. Este valor foi obtido tendo em consideração a publicação “Estatísticas da Construção e Habitação 2008” que indica para o total de edifícios concluídos em 2008, excepto edifícios familiares, uma percentagem de 30% para as obras de reabilitação. Nas obras de reabilitação são sempre ocupados terrenos pré-edificados ou pré-contaminados e na definição deste valor não foram contabilizados os edifícios novos que ocupem terrenos pré-contaminados, pelo que os 30% apresentados são ainda um valor abaixo do valor real, até porque esse mesmo estudo indica um valor crescente para a percentagem de reabilitação neste tipo de edifícios. Esta alteração, além de ser um valor mais representativo da prática convencional, é mais penalizadora para as construções novas em terrenos virgens, sendo um claro incentivo para diminuição da ocupação de áreas com importante valor ecológico.

#### 3.2.4 *Parâmetro 6 – Percentagem da área em planta com reflectância igual ou superior 60%*

Este parâmetro está relacionado com o aquecimento global, formação de ozono troposférico e logo qualidade do ar exterior do que com a biodiversidade. Assim, decidiu-se alterar este parâmetro para a Categoria 1: Alterações Climáticas e qualidade do ar exterior.

Para adaptar a metodologia de avaliação deste parâmetro aos edifícios de serviços, foi actualizado o valor da prática convencional, pois após o estudo de PDM's de todos os distritos de Portugal, tanto de cidades principais como de cidades secundárias, chegou-se á conclusão que o índice de impermeabilização máximo médio é de cerca de 0,7 para áreas destinadas a construção de edifícios de serviços. Pelo que o novo valor para a prática convencional foi definido como 30%. No entanto não foi necessário efectuar alterações no valor da melhor prática.

#### 3.2.5 *Parâmetro 7 – Consumo de energia primária não renovável na fase de utilização*

Para adaptar a metodologia de avaliação deste parâmetro aos edifícios de serviços, foi necessário definir um novo método de cálculo que possibilite a avaliação dos edifícios de serviços que são abrangidos pelo RSECE. Como existem também edifícios de serviços que estão no âmbito do RCCTE, a metodologia de cálculo foi dividida conforme o regulamento aplicável ao edifício em avaliação. Outra alteração efectuada foi a avaliação do desempenho do edifício sem contabilização das energias produzidas in-situ através de fontes renováveis. Isto porque se um edifício produz uma quantidade considerável de energia a partir de fontes renováveis, obterá um baixo valor para as necessidades globais de energia primária e poderá obter uma boa classificação ao nível deste parâmetro mesmo utilizando soluções energeticamente pouco eficientes. Além disso, esse edifício iria ser duplamente beneficiado ao obter uma boa nota também no parâmetro P8 referente às energias renováveis.

#### 3.2.6 *Parâmetro 8 – Quantidade de energia que é produzida no edifício através de fontes renováveis*

Para a definição da melhor prática analisou-se a nova directiva europeia relativa ao desempenho energético de edifícios (EPBD - energy performance of buildings directive), que obriga até 31 de Dezembro de 2020 que todos os edifícios novos terão de ser edifícios com necessidades quase nulas de energia. Após 31 de Dezembro de 2018 todos os edifícios novos ocupados e detidos por entidades públicas também deverão ser edifícios com necessidades quase nulas de energia. Além disso, a EPBD lança a política 20-20-20, que estabelece que até 2020, terá de haver uma redução em 20% na emissão de gases de efeito de estufa nos edifícios, uma redução de 20% no seu consumo energético e um aumento para 20% da quota de energia proveniente de fontes renováveis. Desta forma, definiu-se como melhor prática ao nível deste parâmetro um edifício em que 20% da energia que consome seja proveniente de fontes renováveis.

#### 3.2.7 *Parâmetro 10 – Percentagem em peso do conteúdo reciclado do edifício*

Foi desenvolvido um novo método de cálculo que avalia a percentagem em custo de materiais e produtos com conteúdo reciclado superior ao valor convencional, que resulta do quociente entre o preço dos materiais com conteúdo reciclado acima do valor convencional e o custo total dos artigos de construção. O valor convencional do conteúdo reciclado de cada produto foi adoptado da metodologia de cálculo anterior. Uma vez que o parâmetro passou a ser avaliado por um índice diferente, foi necessário definir novas práticas de referência. Considerando que a prática de seleccionar materiais com conteúdo reciclado elevado não é uma prática corrente em Portugal, decidiu-se considerar como prática convencional um valor de 0%. Com este valor, é possível premiar empreendedores que usem uma pequena percentagem de custo de materiais com conteúdo reciclado, o que acaba por ser um incentivo a esta prática. Para a definição da melhor prática ao nível deste parâmetro adoptou-se um valor de 10%. Este valor é indicado num estudo da WRAP (WRAP, 2010) como um dos requisitos cada vez mais pretendidos pelos donos de obra.

#### 3.2.8 *Parâmetro 11 – Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados*

Por se chegar à conclusão que a influência deste parâmetro incide sobretudo na protecção da biodiversidade promovendo a diminuição da desflorestação e do abate ilegal de árvores, decidiu-se alterar este parâmetro para a Categoria 2: “Biodiversidade e Uso do solo”.

### 3.2.9 *Parâmetro 12 – Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão*

Com este parâmetro pretende-se que os edifícios tenham um menor impacto ambiental, pois incentivam a substituição parcial do cimento, que na sua produção tem um enorme consumo de energia e resultantes emissões de gases de efeito de estufa, por outros ligantes com menor impacto ambiental. Este parâmetro tem principal influência, no aquecimento global, alterações climáticas e qualidade do ar exterior. Assim, decidiu-se alterar este parâmetro para a Categoria 1: “Alterações climáticas e qualidade do ar exterior”. No que toca às práticas de referência decidiu-se baixar o valor da melhor prática de 60% para 40%. A alteração deste valor deve-se ao facto de a prática de se substituir o cimento por outro tipo de ligantes em Portugal não ser uma prática corrente e ao se ter um valor de melhor prática demasiado alto os promotores não se verão incentivados a aderir a esta prática porque mesmo que o fizessem não seriam devidamente valorizados. Desta forma, apontando para uma dosagem óptima de 40% de substituição de cimento, decidiu-se adoptar esse valor para melhor prática deste parâmetro (Camões, 2005).

### 3.2.10 *Parâmetro 14 – Volume anual de água consumido per capita no interior do edifício*

Para adaptar a metodologia de avaliação deste parâmetro aos edifícios de serviços, foi necessário definir um novo método de cálculo, uma vez que estes podem ter vários tipos de utilizações e consequentemente variações consideráveis no consumo de água. Assim, o método de cálculo foi adaptado de forma a possibilitar avaliar edifícios com diferentes tipos de utilização, pois há casos de edifícios de serviços que tem balneários, bares e até refeitórios. Além disso, foi tido em consideração que nos edifícios de serviços é usual a utilização de sistemas de rega automática nos espaços verdes exteriores, pelo que o método de cálculo passa a contabilizar o consumo de água correspondente a este tipo de usos.

### 3.2.11 *Parâmetros 16 e 17 – Ventilação natural e utilização de materiais poluentes*

Estes dois parâmetros são analisados em simultâneo, uma vez que se decidiu fundir os dois parâmetros num só, de forma a se avaliar o edifício em termos da sua qualidade do ar. O novo parâmetro desenvolvido terá a denominação de “Qualidade do ar interior”. Para a adaptação deste parâmetro aos edifícios de serviços foi necessário efectuar alterações ao seu método de cálculo, até porque se fundiram dois parâmetros. Para o efeito, foi tido em conta que nos edifícios de serviços é geralmente utilizada ventilação mecânica. A mudança efectuada no processo de cálculo também se deve ao facto de os edifícios de serviços abrangidos pelo RSECE, ser necessário efectuar-se auditorias à qualidade do ar através da medição da concentração de vários poluentes. Esse é o melhor método para avaliação da qualidade do ar, no entanto só é válido para edifícios no âmbito do RSECE e já construídos. Desta forma, o método de avaliação deste parâmetro foi separado em função da fase de concepção do edifício e do regulamento aplicável ao mesmo (RCCTE ou RSECE). Assim, nos edifícios que estão no âmbito do RSECE e em fase de utilização, a qualidade do ar é avaliada através das medições das concentrações dos poluentes existentes no edifício. Os edifícios no âmbito do RCCTE ou para edifícios no âmbito do RSECE nas fases de ante-projecto, projecto ou construção, a avaliação é efectuada tendo em conta a previsão da qualidade do ar em função dos dois factores: a taxa de ventilação do edifício e a selecção de materiais de acabamento com baixos teores de compostos poluentes para o ar interior. Estes dois factores resultam em parte dos dois parâmetros existentes na metodologia SBTool PT.

### 3.2.12 *Parâmetro 18 – Nível de conforto térmico médio anual*

Na adaptação deste parâmetro aos edifícios de serviços foram efectuadas algumas adaptações ao processo de cálculo de forma a ter em linha de conta que nos edifícios de serviços são normalmente utilizados sistemas de arrefecimento no verão. Desta forma, manteve-se o método de cálculo para a estação de aquecimento e alterou-se a metodologia de cálculo para a estação de arrefecimento. Relativamente às práticas de referência, foram utilizados os valores constantes na norma EN15251 para cada tipo de espaço, indicando como valores da prática convencional os respeitantes a uma classe de conforto III e para a melhor prática valores da classe I.

### 3.2.13 *Parâmetro 19 – Média do factor de luz do dia médio*

Para adaptar a metodologia de avaliação deste parâmetro aos edifícios de serviços, foi alterado o seu método de cálculo. Esta alteração não teve apenas em conta a necessidade de adaptação

para os edifícios de serviços, mas também uma melhoria do método de avaliação de forma a medir de forma mais correcta o conforto dos utilizadores em função da iluminação. A avaliação deste parâmetro através do factor luz do dia tem em consideração apenas a iluminação natural, no entanto deve-se avaliar o conforto lumínico através de uma conjugação entre a iluminação natural e a iluminação artificial, avaliando os níveis iluminância. Desta forma, o desempenho de um edifício ao nível deste parâmetro passou a ser obtido através do nível de iluminação médio diário anual ponderado para o edifício. Este valor é obtido após a determinação dos níveis médios diários anuais de iluminação nos vários compartimentos dos edifícios, somando as parcelas relativas à iluminação natural e artificial em função do horário de funcionamento do edifício e número médio diário anual de horas com luz solar.

Tendo em conta estas alterações, foram também alteradas as práticas de referência. Na definição do valor da prática convencional, foram consideradas as iluminâncias mínimas recomendadas para cada tipo de espaço e tipo de utilização apresentadas na norma EN12464-1. Para a determinação dos valores de melhor prática teve-se em conta que para se obter uma diferença no nível de conforto sentido por utilizadores é necessário um aumento de 50% no valor de iluminância de um compartimento (EN12464-1), pelo que se utilizou essa razão na determinação dos valores da melhor prática.

### 3.2.14 Parâmetros 24 e 25 – Custos de investimento inicial e custos de utilização

A adaptação da metodologia de avaliação destes parâmetros aos edifícios de serviços foi efectuada em simultâneo, uma vez que os dois parâmetros foram fundidos em um único parâmetro que avalia o desempenho económico do edifício em termos de ciclo de vida. A decisão da fusão dos dois parâmetros teve como base a constatação de que em edifícios de serviços muitas vezes o dono de obra é a mesma entidade que irá utilizar o edifício, acarretando assim com os custos de investimento inicial do edifício e os custos de operação. Desta forma, faz mais sentido em efectuar uma avaliação conjunta, uma vez que na metodologia SBTool PT o peso correspondente a cada um dos parâmetros era de 50% do peso da categoria e essa percentagem muito dificilmente reflecte a relação entre os custos de investimento inicial e os custos de operação.

## 3.3 Estrutura da metodologia e sistema de pesos

Após as alterações efectuadas, a estrutura da metodologia MARS-S apresenta-se na Tabela 2.

Tabela 2: Estrutura da metodologia MARS-S

| Dimensão  | Categoria                                            | Parâmetro                                       |
|-----------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Ambiental | C1 Alterações climáticas e qualidade do ar exterior  | P1 Impactes ambientais de ciclo de vida         |
|           |                                                      | P2 Substitutos do cimento no betão              |
|           |                                                      | P3 Efeito de ilha de calor                      |
|           | C2 Biodiversidade e Uso do solo                      | P4 Índice de utilização líquido                 |
|           |                                                      | P5 Áreas previamente contaminadas ou edificadas |
|           |                                                      | P6 Plantas autóctones                           |
|           |                                                      | P7 Produtos de base orgânica certificados       |
|           | C3 Energia                                           | P8 Consumo de energia                           |
|           |                                                      | P9 Energias renováveis                          |
|           | C4 Materiais e resíduos sólidos                      | P10 Materiais reutilizados                      |
|           |                                                      | P11 Materiais com conteúdo reciclado            |
|           |                                                      | P12 Separação de resíduos sólidos               |
|           | C5 Água                                              | P13 Consumo de água                             |
|           |                                                      | P14 Redução do consumo de água potável          |
|           |                                                      | P15 Índice de impermeabilização                 |
| Social    | C6 Conforto e saúde dos utilizadores                 | P16 Qualidade do ar                             |
|           |                                                      | P17 Conforto térmico                            |
|           |                                                      | P18 Conforto lumínico                           |
|           |                                                      | P19 Conforto acústico                           |
|           | C7 Acessibilidade                                    | P20 Acessibilidade a transportes públicos       |
| Económica | C8 Sensibilização e educação para a sustentabilidade | P21 Acessibilidade a amenidades                 |
|           |                                                      | P22 Gestão Sustentável do edifício              |
|           | C9 Custos de ciclo de vida                           | P23 Custo de ciclo de vida                      |

## 4 CONCLUSÕES

Com o trabalho desenvolvido foram atingidos com sucesso os principais objectivos do trabalho. Assim, desenvolveu-se uma metodologia adaptada aos edifícios de serviços com a introdução de várias modificações que adicionalmente introduziram melhorias à metodologia existente. No desenvolvimento da metodologia teve-se em atenção a aplicabilidade dos vários parâmetros nas diferentes fases de concepção dos edifícios, assim como o seu âmbito em termos dos regulamentos aplicáveis, pelo que se deu um contributo muito importante na forma de abordagem dos métodos de cálculo dos vários parâmetros de forma a tornar a sua avaliação mais abrangente e objectiva. Os métodos de cálculo dos parâmetros passaram a contabilizar as fases de ante-projecto, projecto, construção e utilização, havendo por vezes mudanças no método de avaliação em função da fase aplicável ou do tipo de obra (construção nova ou reabilitação). Tendo em conta que nas fases de ante-projecto, projecto e em construção, as metodologias de cálculo basearam-se em valores de projecto ou em valores previstos para o edifício, propôs-se o fornecimento de um certificado provisório. Para edifícios já construídos ou em fase de utilização, o método de cálculo teve como base a utilização de valores correspondentes à realidade construída do edifício, sendo possível atribuir um certificado de sustentabilidade definitivo. Teve-se também em conta a pluralidade de utilizações que os edifícios de serviços podem ter, adaptando o método de cálculo de alguns parâmetros aumentando a sua flexibilidade para ter em conta as diversas utilizações dos edifícios. No entanto manteve-se a objectividade e, tentou-se simplificar os métodos de cálculo dos parâmetros de forma a facilitar a sua aplicabilidade.

Foram efectuadas também algumas mudanças nos parâmetros através da sua mudança para categorias que representavam de uma forma mais realística o seu real impacto na sustentabilidade dos edifícios. Outra das alterações importantes efectuadas foi a alteração das práticas de referência de alguns parâmetros que previamente estavam limitados para não terem uma influência negativa ao nível de outros parâmetros. Esta imposição foi eliminada, uma vez que era um procedimento injusto e que em alguns casos fornecia práticas de referência desajustadas da realidade. Com esta alteração, nesses parâmetros passou-se a avaliar o real desempenho do edifício ao nível de cada parâmetro, sendo que os efeitos ao nível de outras propriedades dos edifícios são avaliados em parâmetros independentes próprios para o efeito.

## BIBLIOGRAFIA

- Barbosa, J., 2010; Desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de sustentabilidade de edifícios de serviços; University of Minho;
- Barbosa, J.; Mateus, Ricardo; Bragança, Luís, 2010; Development of a sustainability assessment tool for office buildings; Final Conference of the COST Action C25, Sustainability of Constructions: Towards a Better Built Environment, Pages 205-214, ISBN: 978-99957-816-0-6;
- Andrade, J. B., 2009; Avaliação da sustentabilidade do edifício solar XXI utilizando a metodologia SBTool – PT; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto;
- Machado, C., 2009; Desenvolvimento de uma Metodologia de avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Turismo; Universidade do Minho;
- Machado, C.; Mateus, R.; Barbosa, J., 2010; Contributo para o Módulo de Turismo da Metodologia SBTool PT; Portugal SB10, Sustainable Building Affordable to All, ISBN: 978-989-96543-1-0;
- Mateus, R., 2010; Avaliação da Sustentabilidade da Construção - Propostas para o Desenvolvimento de Edifícios Sustentáveis; Universidade do Minho;
- Mateus, R.; Bragança, L., 2011; Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBTool<sup>PT</sup>-H; Building and Environment, Volume 46, Issue 10, Pages 1962-1971;
- Sustainable Building Tool (SBTool); International Initiative for a Sustainable Built Environment;
- Cole, Raymond J., 2010; Beyond Green: Changing Context - Changing Expectations; Portugal SB10, Sustainable Building Affordable to All, ISBN: 978-989-96543-1-0;
- INE, 2009; Estatística da Construção e da Habitação, 2008; Instituto Nacional de Estatística;
- Isolani, Pieraldo, 2008; Manual do Consumidor – Eficiência energética nos edifícios residências; Lisboa,
- Nelson, A. J., Rakau, O., 2010; Green Buildings - A niche becomes mainstream; Deutsh Bank Reaserch;
- Pires, L., Silva, P. D., Gomes, J. P. C., 2005; A importância do consumo energético dos edifícios na Europa: soluções propostas para a sua redução; Universidade da Beira Interior, 2005;
- Vonka M., Lupisek A., Hajek P., SBToolCZ – Complex Assessment Methodology of Buildings Performance for Czech Republic, *Central Europe towards Sustainable Building*, ISBN: 978-80-247-3634-1;

# Benefícios Energéticos da Construção em Terra para Habitações Populares de Portugal

Guilherme Castanheira

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*  
*guilhermecastanheira@hotmail.com*

Luís Bragança

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*  
*braganca@civil.uminho.pt*

**RESUMO:** Neste momento em que os estados membros da União Europeia buscam formas de reduzir a utilização de recursos naturais e poupar o uso de energias, surgem algumas questões: as tecnologias usuais de construção trouxeram benefícios ou transformaram-se em técnicas consumidoras de recursos energéticos em prol da civilização. Será benéfico o retorno de técnicas tradicionais de construção como tentativa para facilitar o aparecimento de edifícios com emissão zero de carbono? Este artigo pretende demonstrar os possíveis benefícios energéticos da utilização da terra para construção de habitações populares em Portugal.

## 1 INTRODUÇÃO

O Homem utiliza a terra para construção de habitações e cidades há cerca de dez mil anos, sendo uma das técnicas mais antigas e um dos primeiros materiais de construção a ser utilizado para tal destino. A terra possibilita uma infinidade de aplicações, sendo utilizada nas mais variadas edificações. Imagina-se que quase todas as culturas antigas tenham utilizado o solo para a construção de casas, palácios, municípios, fortalezas e obras religiosas, levando esta utilização generalizada da construção com terra - em seis dos sete continentes do mundo - a ser um dos patrimónios mais diversificados e universais da Humanidade (Correia, 2006).

Estima-se que cerca de 1/3 da população mundial vive em edifícios construídos em terra, e que nos países em vias de desenvolvimento este número possa ascender a mais de metade da população (Minke, 2006). Vemos assim a dimensão que esta metodologia de construção assume no panorama construtivo mundial, sendo de grande importância como técnica construtiva nos países subdesenvolvidos e em vias de desenvolvimento, e que podem vir a ter esta importância também nos países desenvolvidos e industrializados.

### 1.1 *Construindo com terra, no mundo e em Portugal*

Nos países subdesenvolvidos, como é o caso de países do continente Africano, as técnicas de construção em terra tem ajudado a população a satisfazer as suas necessidades construtivas, de habitação e serviços. Devido a existência de dificuldades e falta de recursos a materiais e técnicas industriais, tais como a construção com tijolos cerâmicos, betão, cimento, aço, entre outros, estas necessidades são satisfeitas com materiais e técnicas locais, muitas vezes de autoconstrução. Institutos como o CRAterre (Centro Internacional de Construção em Terra) têm trabalhado no sentido do reconhecimento dos materiais da Terra como uma resposta válida para os desafios ligados à proteção do ambiente, a preservação da diversidade cultural e da luta contra a pobreza. Este instituto auxilia autoridades locais de diversas regiões na gestão das questões de ordenamento do território, contribui para melhorar as condições de vida dos mais desfavorecidos e

desenvolve capacidades nas comunidades, ensinando metodologias e técnicas a serem utilizadas na construção de suas próprias habitações. O instituto ajuda o crescimento e desenvolvimento sustentável destas comunidades, permitindo que as pessoas controlem o seu próprio ambiente.

Nos países desenvolvidos - França, Alemanha, Inglaterra, EUA e Austrália - têm-se verificado uma crescente preocupação com a sustentabilidade e pela procura por técnicas, materiais e produtos com menor impacto ambiental, devido aos enormes gastos energéticos e poluições (emissões de CO<sub>2</sub>) associadas à produção e utilização de materiais de construção. Nestes países a construção em terra está a renascer, e apresenta-se, hoje em dia, não só como construção de cariz popular mas também em obras de arquitetura contemporânea. É neste quadro que a terra parece ter algum potencial de desenvolvimento, uma vez que é um material natural em abundância, reciclável, ecológico e sustentável.

A terra como material de construção tem uma pluralidade muito grande a nível de técnicas e elementos construtivos. Sendo assim, esta pode ser escavada, empilhada, modelada, prensada, apiloada (compactada), recortada, extrudida e moldada. Pode servir também para fazer o recobrimento, o enchimento ou a cobertura de estruturas. Existem diversos modos de construir e podem ser utilizadas diversas técnicas construtivas consoante o tipo de terra disponível. Dentro das principais técnicas tradicionais de construção baseadas no uso da terra em Portugal, encontram-se o tabique, o adobe e a taipa (Figura 1), sendo que a última foi a mais disseminada. A taipa era a técnica mais utilizada, até meados dos anos cinquenta do século XX, no Baixo Alentejo e sul do Alto Alentejo. O adobe foi utilizado mais ao centro litoral, em Aveiro especificamente. As construções em terra foram deixadas de lado com o surgimento do betão, que é actualmente o material mais utilizado. Outro sistema de construção sustentável, mas que não tem sido muito difundido em Portugal, é o bloco de terra compactado (BTC). Este último é recente, sendo ainda poucos os exemplos de construções existentes.



Figura 1. Construção contemporânea em taipa, Mercado de São Luís em Odemira (fonte: Teresa Beirão, 2003).

## 2 BENEFÍCIOS

As construções em terra trazem benefícios ambientais, sociais, culturais e económicos. Para a construção de habitações populares elas podem ter um significado ainda melhor, vindo a recuperar a tradição histórica desta tipologia de construção em Portugal, valorizando sua cultura. Sendo um material em abundância e disponível em grande maioria das regiões, o uso da terra crua para construções sociais surge como uma resposta possível para as edificações ecoeficientes e sustentáveis. As vantagens para esta tipologia de construção, além da disponibilidade abundante, estão em economia de custos financeiros, economia de recursos energéticos, metodologia de construção simples e razoável, pode ser facilmente reciclada, diminui a dependência de recursos não sustentáveis, redução dos níveis de energia incorporada, redução de emissões de CO<sub>2</sub> dos processos industriais, redução do uso de substâncias químicas nocivas, elevada massa térmica (adequada para uso de arquitetura solar passiva), equilibra e melhora a humidade do ar interior, redução do uso de transportes (utilização de matéria prima local), maior potencial de reciclagem e redução de resíduos, boa resistência ao fogo, versátil e flexível (variações de tipologias de edificações), pode ser utilizada para criação de empregos locais.

São muitas as vantagens, que combinadas a bons projetos de arquitetura e com a utilização de metodologias adequadas podem resultar em economia energética. “Portugal apresenta uma situação privilegiada para o uso da terra para a construção, tanto em termos climáticos e geográficos, como culturais. Podemos assumir um papel de vanguarda no campo da sustentabilidade da construção e que poderia ser um motor de desenvolvimento económico do setor da construção”

(Loureção em Fernandes e Correia, 2005). Pretende-se utilizar o conhecimento de técnicas tradicionais de construção em terra com metodologias contemporâneas, com o objetivo de resguardar a memória histórica desta tipologia de construção em Portugal e incentivar entidades públicas e particulares a construir habitações de caráter social, servindo como exemplo. Tradicionalmente era comum a construção em terra por envolvimento de um grupo de vizinhos. Conforme o arqueólogo Cláudio Torres “era hábito, até há poucas décadas, assistir à participação de toda a comunidade na construção de uma casa que, finalmente, sancionava e cumpria um dos rituais do casamento: em poucos dias e sem quaisquer despesas com materiais de construção, os nubentes viam levantadas todas as paredes da sua futura habitação”. É com este fundamento que se pretende verificar a possibilidade de implantação desta técnica construtiva para estas moradias.



Figura 2. Técnica tradicional, construção em taipa.

Uma edificação ecoeficiente deve ser concebida de forma a assegurar uma gestão eficiente dos consumos energéticos (Mateus, 2006). O processo de energia elétrica apresenta elevado impacto ambiental, devido a grande quantidade de gases poluentes emitidos e a utilização de matéria-prima não renovável. O uso contínuo de energia em edifícios constitui, provavelmente, seu maior impacto ambiental. Aposta-se na utilização de terra para conceção dos edifícios como alternativa para a redução destes altos consumos e impactos ao meio ambiente.

A terra é um material natural, não gasta recursos para o seu desmantelamento, pois sendo um material renovável, contribui para diminuição do consumo energético durante a fase de transformação e contribui para a preservação dos recursos naturais. Utilizar a terra do próprio local para a construção é um dos fundamentos básicos, que garante um baixo índice de energia primária incorporada, não havendo gastos com a produção e deslocação de materiais, diminuindo custos económicos e energéticos (utilização de menos energia e menor emissão de gases poluentes - maquinários industriais e meios de transporte). A construção em terra tem a característica de ser resistente e não necessitar de muitas manutenções, com um ciclo de vida prolongado. Pela facilidade do sistema construtivo, o uso de mão de obra não especializada somado a possibilidade de execução pelos próprios utilizadores, podem-se reduzir os custos económicos e energéticos. Para construção em terra não há necessidade do uso de máquinas de apoio, apenas o trabalho laboral, evitando as emissões de gases poluentes. É por esta razão que se o trabalhador for o beneficiário, os custos com a mão de obra são reduzidos. Neste caso seria interessante a disponibilização de orientação de especialistas para condução de palestras e workshops a respeito das técnicas possíveis de construção em terra. Estes cursos podem ser utilizados para especialização de um determinado tipo de mão de obra, gerando oportunidade de um novo mercado de trabalho para a comunidade, bem como a salvaguarda na tradição da construção em terra de Portugal.

Construções em terra possuem paredes relativamente espessas (superiores a 30cm), possuindo uma elevada massa por unidade de superfície. Edifícios construídos com esta tecnologia possuem inércia térmica elevada, mas talvez a terra seja insuficiente como isolante térmico para algumas regiões, onde a adição de fibras orgânicas podem melhorar este desempenho (Berge, 1999). Esta construção funciona muito bem quando acompanhada de Tecnologias Solares Passivas (Figura 3), que tem como finalidade a utilização da energia solar para aquecimento ou arrefecimento de ambiente através de uma conveniente conceção e construção dos edifícios, de

modo a criarem condições de conforto sem o recurso a sistemas auxiliares de aquecimento ou de arrefecimento. Como estratégias de aquecimento passivo, as paredes em terra, por possuírem elevada inércia térmica, atuam como volante de inércia nas mudanças de temperatura do interior dos edifícios, atrasando o aquecimento dos espaços interiores quando a temperatura interior baixa durante a noite, através da libertação da energia armazenada, nas paredes de terra, durante o dia (Mateus, 2006). Como estratégias de arrefecimento podem ser incorporados sistemas para o controlo de ganhos solares, sistemas de ventilação cruzada, arrefecimento por evaporação, pelo solo ou radiativo. Não são apenas os materiais que ajudam a eficiência energética de um edifício, mas a união destes e as metodologias de construção somados ao conhecimento dos profissionais envolvidos na conceção dos projetos. Bons projetos arquitetónicos podem dar origem a habitações que não necessitem de sistemas de aquecimento e arrefecimento, reduzindo assim o uso de energias para o conforto interno de seus futuros habitantes, que corresponde a 25% da energia utilizada pelos edifícios residenciais em Portugal.

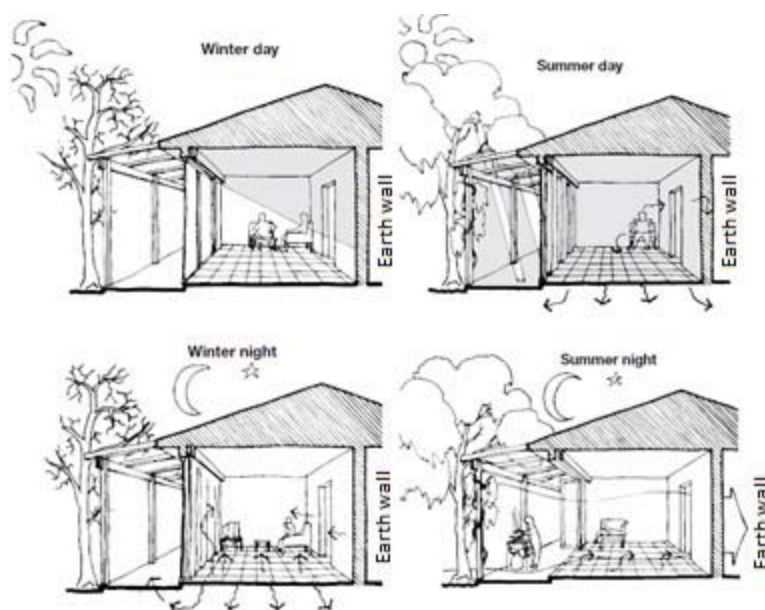


Figura 3. Arquitectura solar passiva (fonte: <http://www.yourhome.gov.au>).

### 3 CASO DE ESTUDO

Em países do continente Africano, muitas comunidades estão a ser treinadas por instituições para a construção das suas moradias. Estas instituições ajudam entidades a preservarem sua cultura e seu ambiente natural, economizando a utilização dos recursos energéticos para que as comunidades desenvolvam-se com sustentabilidade. O instituto CRAterre vem desenvolvendo trabalhos em comunidades de países mais necessitados. No Uganda, na cidade de Bushennyi, foi desenvolvido, entre 2002 e 2004, um projeto piloto para construção de casas populares e edifícios públicos (escolas), com o intuito de preservar o patrimônio cultural desta cidade.

Bushennyi foi uma das cidades escolhidas pelo governo do Uganda para implantar este projeto em parceria com o departamento de Arquitetura da Universidade Makerere Kampala (MaK) e uma ONG ugandesa, Rukararwe Partnership Workshop for Rural Development (RPWRD), que iriam ser liderados e treinados por membros do instituto CRAterre.

O primeiro passo foi de estudos preliminares da região, seguido de uma conceção técnica e definição da estratégia de desenvolvimento a serem realizados. Foram estudadas as atividades locais e os impactos económicos, sociais e ambientais do projeto. Os métodos de construção local foram analisados, pretendendo-se dar continuação as técnicas tradicionais, porém acrescentadas de novos conhecimentos, que garantam a durabilidade das novas edificações, a fim de minimizar o uso de recursos energéticos e promover conforto a população.

Três foram as técnicas tradicionais encontradas em Bushennyi, wattle and daub (Figura 4 - estrutura de madeira preenchida com terra), tijolos cerâmicos e adobe. A primeira representava

89% das construções da população, e a qual apresentava a pior degradação, com pequena durabilidade. Além disso, o uso desta metodologia corresponde a necessidade de 136.000 árvores por ano para construção de novas moradias. Os tijolos cerâmicos são o material mais utilizado para a construção de edifícios públicos, e o sonho de consumo para os que querem construir suas residências. Este é responsável por um alto índice de desmatamento, pois sua indústria utiliza as árvores como combustível de seus maquinários, e os produtos são de má qualidade. O adobe era uma tecnologia recente para a cidade, e a qual demonstrava um bom resultado, e onde foi um dos focos do projeto.



Figura 4. Residência construída com o sistema wattle and daub (fonte: CRAterre.org).

No projeto foram desenvolvidos metodologias que aproveitassem as técnicas tradicionais de construção mas com a perspectiva de uma melhoria. Sendo a terra um material em abundância naquela região, e pelo material de construção existente ter preço elevado e má qualidade, foram introduzidos estudos para estimular a adoção do adobe e do bloco de terra comprimida (BTC) para construção das novas moradias (Figuras 5 e 6). A técnica da estrutura em madeira com preenchimento de barro foi adaptada e melhorada, para permitir que a tradição não seja perdida, preservando a cultura histórica da comunidade. Com a introdução de cursos de especialização para a comunidade, organizados pelos parceiros do projeto, conseguiu-se um acréscimo de moradias com melhores condições, criação de escolas para a população e um novo mercado de trabalho surgiu para a comunidade, que obteve certificados de especialização para diversas atividades dentro da construção.



Figuras 5 e 6. Preparação de adobe e BTC (fonte: CRAterre.org).

Este tipo de projeto foi impulsionado com o cariz social e sustentável, assim como para redução energética. O projeto permitiu o uso da terra do próprio local para a construção, garantindo baixo índice de energia primária incorporada, pois não havia gastos energéticos com a produção e nem de emissões de poluentes de máquinas e transportes. As novas adaptações reduziram a utilização de recursos naturais (uso da madeira como combustível na indústria), ajudando a preservar o desmatamento. O uso adequado de terra para conceção dos edifícios (Figura 7 e 8) aumentou sua resistência, reduzindo sua manutenção e prolongando seu ciclo de vida. Como fazia parte do projeto a especialização da comunidade, com ensinamentos de novas metodologias de construção com terra para as edificações, o uso de mão de obra local reduziu os custos

económicos e energéticos. Para construção em terra não há necessidade do uso de máquinas de apoio, apenas o trabalho laboral, não existindo emissões de gases poluentes. É por esta razão que se o trabalhador for o beneficiário, os custos com a mão de obra são reduzidos.



Figuras 7 e 8. Modelo de habitação popular e escola pública (fonte: CRAterre.org).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo analisa brevemente as metodologias de construção em terra existentes, e que podem ser utilizadas em prol de construções de habitações populares portuguesas com eficiência energética. Aproveitando a situação privilegiada de Portugal para o uso de terra para a construção, tanto em termos climáticos e geográficos, como culturais, procura-se demonstrar os benefícios energéticos, ambientais, económicos e sociais que este tipo de construção pode originar, quando bem orientada. Pretende-se ainda chamar atenção para recuperação da tradição que o país possui neste tipo de construção e utilizá-lo em benefício da sociedade, incentivando governos e entidades a abraçarem a causa. As tecnologias tradicionais podem ser atualizadas e modernizadas, como ocorreu no Uganda, para que se tire um melhor proveito das técnicas sem perder a sua referência histórica. A terra é um recurso que deve ser aproveitado, sendo seu uso, talvez, uma oportunidade para facilitar a economia de energia e a utilização de recursos não renováveis, tendo como foco edificações ecoeficientes.

#### REFERÊNCIAS

- Australian Government 2010. Your Home Technical Manual: Passive Design. Disponível online em <<http://www.yourhome.gov.au/technical/fs45.html>>.
- Berge, B. 1992. *Ecology of Building Materials*. Oxford: Architectural Press.
- Correia, M. 2007. *Taipa no Alentejo*. Lisboa: Argumentum.
- European Commission. 1999. *A Green Vitruvius: Principles and Practice of Sustainable Architectural Design*. London: James & James.
- European Commission. 2005. *Earth Architecture in Uganda*. France: CRAterre. Disponível online em <<http://craterre.org/diffusion/ouvrages-telechargeables/?type=&perpage=&page=3>>.
- Fernandes, M. & Correia, M. 2005. *Arquitectura de Terra em Portugal*. Lisboa: Argumentum
- Mateus, R. & Bragança, L. 2006. *Tecnologias Construtivas para Sustentabilidade da Construção*. Porto: Prometeu.
- Minke, G. 2005. *Building with earth: design and technology of a Sustainable Architecture*. Berlin: Kindle Edition.
- Zami, M. & Lee, A. 2009. Use of Stabilized Earth in the Construction of Low Cost Sustainable Housing in Africa: An Energy Solution in the Era of Climate Changes. *Archnet-IJAR, International Journal of Architectural Research*, Volume 3 - Issue 2: pages 51-65. Disponível online em <[http://archnet.org/gws/IJAR/9961/files\\_9501/3.2.04%20-m.zami%20and%20a.%20lee-pp51-65.pdf](http://archnet.org/gws/IJAR/9961/files_9501/3.2.04%20-m.zami%20and%20a.%20lee-pp51-65.pdf)>.
- Walker, P. 2001. *The Australian earth building handbook*. Sydney: Standards Australia.

# Contribuição de argamassas com PCM para a reabilitação energética

Sandra Cunha & José Aguiar

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal*  
sandracunha86@gmail.com & aguiar@civil.uminho.pt

Victor Ferreira

*Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil, Aveiro, Portugal*  
victorf@ua.pt

António Tadeu

*Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Coimbra, Portugal*  
tadeu@dec.uc.pt

**RESUMO:** As argamassas com incorporação de materiais de mudança de fase (PCM) possuem a capacidade de atenuar as variações de temperatura no interior dos edifícios, contribuindo desta forma para o aumento do nível de conforto e diminuindo o recurso a equipamentos de climatização. Estas argamassas podem ser aplicadas em operações de reabilitação, permitindo tirar partido da energia solar para a climatização, dotando os edifícios de uma maior independência energética e valor de sustentabilidade. O principal objetivo deste estudo foi o desenvolvimento de argamassas com integração de microcápsulas de PCM, devendo estas apresentar um compromisso entre a sua aparência estética, características físicas e mecânicas.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se verificado uma preocupação crescente relacionada com a reabilitação de edifícios, uma vez que esta é a melhor forma de preservar o património construído.

O parque edificado português é genericamente um parque envelhecido, no qual os edifícios carecem de intervenções que visem melhorar as suas características de habitabilidade (Silva et al. 2010). Portanto, as operações de reabilitação devem ser mais que apenas intervenções estéticas, mas essencialmente melhorias funcionais.

A reabilitação energética pretende reduzir os consumos energéticos dos edifícios, diminuindo os seus custos de exploração. Contudo, por vezes os custos de implementação de medidas que visem a melhoria da eficiência energética dos edifícios podem ser dispendiosos. Tendo em conta o crescente custo da energia, o recurso a fontes de energia renováveis, constitui uma opção com elevado valor de sustentabilidade e economia, dotando os edifícios de uma maior independência e flexibilidade de funcionamento face às carências energéticas e variações do preço da energia.

Atualmente, grande parte do consumo de energia elétrica no setor residencial encontra-se associado ao aquecimento e arrefecimento. Portanto, torna-se urgente a utilização de soluções construtivas que permitam uma diminuição do recurso a equipamentos de climatização. A utilização de materiais de mudança de fase (PCM) em argamassas de revestimento no interior dos edifícios constitui uma possível solução para a minimização dos consumos energéticos. Uma vez que, a utilização destes materiais permite a regulação da temperatura no interior dos edifícios, através do armazenamento térmico (Cunha et al. 2011). Aliando a baixa espessura conseguida com a utilização de materiais de mudança de fase a soluções de construção flexíveis, é possível obter soluções construtivas com maior capacidade de adaptação ao tempo de vida das edificações e mais vantajosas do ponto de vista da reabilitação.

As vantagens de incorporação de PCM em argamassas de revestimento interior são as seguintes: uniformização na solicitação da energia da rede, diminuindo a carga e eventual colapso

dos sistemas de fornecimento; diminuição dos gastos com a fatura elétrica, pelo desfasamento temporal do consumo energético para períodos de vazio; contribuição para o aumento do conforto térmico no interior dos edifícios, pelo armazenamento e utilização do calor associado à energia solar (em particular para o aquecimento durante o inverno) e do fresco associado à ventilação natural noturna (em particular para o arrefecimento durante o verão) reduzindo assim o recurso a aquecedores e a sistemas de ar condicionado. Este tipo de mecanismos de armazenamento de energia pode assim reduzir as variações de temperatura interior, contribuindo para o aumento do nível de conforto (Cunha et al 2011, Zhang et al. 2007).

Tendo em conta as potencialidades dos materiais de mudança de fase é importante que a indústria da construção deixe de ser tradicionalmente conservadora, começando a apostar mais em soluções inovadoras que proporcionem a resolução de problemas com vários anos.

O principal objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de uma argamassa mista de cal aérea e gesso, com incorporação de microcápsulas de PCM, devendo esta possuir um compromisso entre a trabalhabilidade, resistência mecânica e aparência estética.

## 2 MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE

É sabido que todos os materiais interagem com o ambiente, no entanto grande parte dos mesmos não possui capacidade de alterar as suas propriedades de acordo com as características do ambiente em que são aplicados.

Os materiais de mudança de fase possuem a capacidade de mudar o seu estado em função da temperatura ambiente. Quando a temperatura ambiente que rodeia o PCM aumenta e passa o ponto de fusão do material, este passa do estado sólido para o estado líquido, absorvendo e armazenando a energia calorífica ambiente. Posteriormente, quando a temperatura ambiente baixa, e passa o ponto de solidificação do PCM, este transita de fase novamente, neste caso do estado líquido para o estado sólido, libertando a energia anteriormente armazenada (Figura 1).

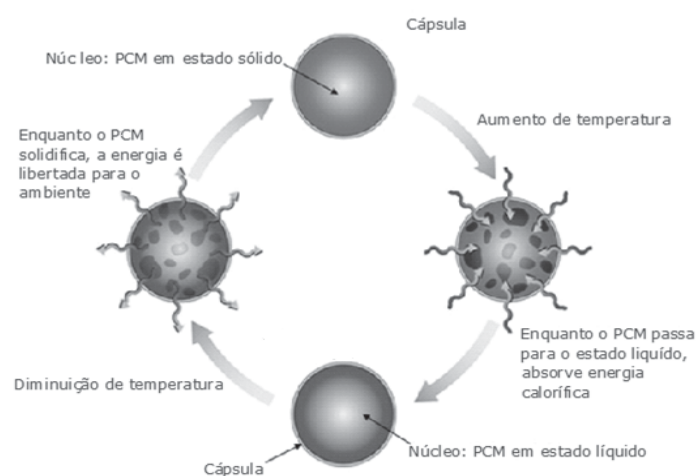


Figura 1. Processo de mudança de fase do PCM (Cunha et al. 2011).

Para a correta utilização do PCM, este deve ser encapsulado, caso contrário, durante a fase líquida pode correr-se o risco deste se deslocar do local em que foi aplicado. Existem duas principais formas de encapsulamento: microencapsulamento e macroencapsulamento. Contudo, ambas devem atender a requisitos de resistência, flexibilidade, resistência à corrosão e estabilidade térmica, assim como agir como uma barreira de proteção. Devem também possuir superfície suficiente para a transferência de calor, assegurar a estabilidade estrutural e o fácil manuseio (Cabeza et al. 2011, Regin et al. 2008).

O macroencapsulamento baseia-se na introdução de PCM em tubos, painéis ou outro recipiente de grandes dimensões, geralmente com dimensões superiores a 1 cm de diâmetro. O microencapsulamento consiste na colocação de uma pequena massa molecular em pequenas partículas, revestidas por polímeros de alto desempenho, com dimensões inferiores a 1 cm de

diâmetro, sendo as suas dimensões preferenciais de 1 a 60  $\mu\text{m}$  (Cabeza et al. 2011, Tyagi et al. 2011).

A incorporação de materiais de mudança de fase em edifícios possui impactos benéficos nas dimensões social, económica e ambiental, demonstrando assim um contributo significativo para uma construção com maior valor de sustentabilidade. Os benefícios sociais estão diretamente relacionados com o aumento do conforto térmico no interior das habitações, sendo este atualmente um requisito relevante para a obtenção de um edifício de qualidade. O aumento do conforto térmico é conseguido através da capacidade de armazenamento do PCM, permitindo armazenar e libertar energia, mantendo as temperaturas interiores sensivelmente constantes, ou pelo menos com variações inferiores. A utilização de soluções construtivas modificadas com a incorporação de PCM, possui ainda um efeito benéfico na humidade interior dos espaços, o que sem dúvida conduzirá a uma diminuição de eventuais patologias no interior dos edifícios. O aspeto ambiental encontra-se relacionado com a redução do recurso a fontes de energia não renováveis, uma vez que esta tecnologia possui um efeito termo-regulador do ambiente interior dos edifícios, proporcionando uma diminuição da utilização dos equipamentos de climatização, que também permite reduzir as emissões de gases poluentes para a atmosfera. A dimensão económica diz respeito à adequação da tecnologia e custos associados à sua implementação. Os custos inerentes à sua aplicação devem ser facilmente suportados e amortizados pelo utilizador. Pode ainda referir-se que, os benefícios económicos da diminuição dos consumos energéticos e desfasamento dos mesmos para fora das horas de maior procura, são evidentes e podem ser conseguidos através do armazenamento térmico.

Atualmente, o armazenamento de energia térmica tem vindo a despertar um elevado interesse na comunidade científica. Sabe-se que a utilização de PCM possui uma influência maior em regiões onde o inverno e o verão sejam mais rigorosos (Zhang et al. 2007, Khudhairi et al. 2004). O PCM pode ser utilizado em soluções para paredes, pavimentos e tetos. Existindo atualmente algumas soluções comerciais. A aplicação de PCM nas paredes dos edifícios é a solução preferencial para explorar a potencialidade destes materiais. A incorporação de PCM em placas de gesso tem sido objeto de vários estudos realizados, devido ao seu baixo custo e diversas possibilidades de aplicação (Athienitis et al. 1997, Shilei et al. 2006, Darkwa et al. 2006, Schossig et al. 2005). Foram também desenvolvidas soluções como painéis alveolares de PVC com PCM macroencapsulado, blocos e tijolos (Tyagi et al. 2011, Lin et al. 2005). A aplicação de soluções construtivas com incorporação de PCM em pavimentos também tem sido alvo de investigação. Estas soluções são variadas e passam pela incorporação de PCM na laje de betão constituinte do pavimento, pavimento radiante elétrico incorporando placas de polietileno impregnadas com PCM e aplicação de dois tipos de PCM com temperaturas de transição diferentes (Sharma et al. 2009, Lin et al. 2005, Entrop et al. 2011, Jin et al. 2011).

### 3 MATERIAIS, COMPOSIÇÕES E FABRICO

#### 3.1 *Materiais*

Nesta investigação foram utilizadas microcapsulas de PCM sintetizadas pelo processo de polimerização em emulsão, constituídas por uma parede em polimetilmetacrilato e um núcleo em parafina. O produto é comercializado em pó (seco) ou em emulsão, sendo que neste estudo se optou por utilizar o PCM seco de modo a facilitar a sua incorporação em argamassas prontas. Este possui uma temperatura de fusão de cerca de 23°C e uma entalpia de 110 kJ/kg. O superplastificante utilizado é baseado em poliácrlato, com densidade de 1050 kg/m<sup>3</sup>. A areia apresenta um tamanho de partícula médio de 439,9  $\mu\text{m}$ . A cal utilizada nas composições é hidratada, com um grau de pureza de 90% e densidade de 1100 kg/m<sup>3</sup>. O gesso utilizado apresenta elevada finura. Por último, as fibras utilizadas são fibras sintéticas de nylon, com um comprimento de 6 mm.

#### 3.2 *Composições e fabrico*

Tendo em vista a seleção da composição final, foi realizada uma campanha experimental com o objetivo de caracterizar as composições produzidas.

Nas argamassas estudadas fez-se variar a percentagem de PCM em 0%, 10%, 20% e 30%. Com o intuito de contornar alguns problemas relacionados com a retração das argamassas e consequente fissuração foram incorporadas fibras de nylon, superplastificante e gesso.

As composições estudadas apresentam-se na tabela 1. Através da sua análise é possível observar a existência de 15 composições distintas. As quais são constituídas por diferentes percentagens de cal, gesso e PCM. Em todas as composições sem incorporação de PCM, optou-se por não utilizar superplastificante devido ao seu efeito dispersor, o que provocava uma ligeira segregação na argamassa obtida.

O processo de mistura e fabrico dos provetes foi efetuado de acordo com norma EN 1015-11, com ligeiras adaptações devido à incorporação do PCM.

Para avaliar o comportamento e as propriedades mecânicas (resistência à compressão e flexão) das diferentes composições, foram moldados 3 provetes prismáticos com 40x40x160 mm<sup>3</sup>. Após o seu fabrico, todos os provetes foram conservados durante 7 dias em sacos de polietileno, sendo posteriormente colocados em laboratório à temperatura ambiente (cerca de 22 °C) durante 21 dias.

Tabela 1. Composição das argamassas (Água, PCM, Fibras e Superplastificante em % da massa total de Areia, Gesso e Cal. Areia e Gesso em % da massa de Cal).

| Composição   | Areia | Água | Gesso | PCM  | Fibras | Superplastificante |
|--------------|-------|------|-------|------|--------|--------------------|
| L100G0       | 561.4 | 23.0 | 0.0   | 0.0  | 0.0    | 0.0                |
| L100G0PCM10  | 561.4 | 18.5 | 0.0   | 10.0 | 0.0    | 1.0                |
| L100G0PCM20  | 561.4 | 29.0 | 0.0   | 20.0 | 0.0    | 1.0                |
| L100G0PCM30  | 561.4 | 45.0 | 0.0   | 30.0 | 0.0    | 1.0                |
| L100G0F      | 561.4 | 23.0 | 0.0   | 0.0  | 0.1    | 0.0                |
| L100G0PCM10F | 561.4 | 18.5 | 0.0   | 10.0 | 0.1    | 1.0                |
| L100G0PCM20F | 561.4 | 30.0 | 0.0   | 20.0 | 0.1    | 1.0                |
| L100G0PCM30F | 561.4 | 45.0 | 0.0   | 30.0 | 0.1    | 1.0                |
| L90G10F      | 561.4 | 23.5 | 10.0  | 0.0  | 0.1    | 0.0                |
| L90G10PCM10F | 561.4 | 19.2 | 10.0  | 10.0 | 0.1    | 1.0                |
| L90G10PCM20F | 561.4 | 31   | 10.0  | 20.0 | 0.1    | 1.0                |
| L90G10PCM30F | 561.4 | 47   | 10.0  | 30.0 | 0.1    | 1.0                |
| L80G20PCM20F | 561.4 | 31   | 20.0  | 20.0 | 0.1    | 1.0                |
| L70G30PCM20F | 561.4 | 32   | 30.0  | 20.0 | 0.1    | 1.0                |
| L60G40PCM20F | 561.4 | 32   | 40.0  | 20.0 | 0.1    | 1.0                |

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 *Trabalhabilidade*

Os ensaios de trabalhabilidade foram realizados com o objetivo de conferir uma trabalhabilidade adequada ao manuseio das argamassas desenvolvidas. Os ensaios foram realizados com base no método da mesa de espalhamento, especificado pela norma europeia EN 1015-3. O valor resultante do ensaio apenas foi considerado, quando compreendido entre 160-180 mm.

De acordo com a figura 2, é possível verificar variações na quantidade de água a adicionar à mistura de acordo com a incorporação de microcápsulas de PCM. Sendo que, um aumento de 10% de PCM provoca um aumento na quantidade de água de cerca de 52%. O que pode ser explicado pela finura característica do PCM utilizado e pela absorção da parede polimérica que reveste o material de mudança de fase.

A incorporação de fibras não provocou qualquer alteração na quantidade de água a adicionar à argamassa, no entanto verificou-se uma ligeira diminuição no diâmetro de espalhamento obtido.

A incorporação de 10% de gesso provocou um ligeiro aumento na quantidade de água. Sendo que, para uma mesma argamassa um aumento de 20% de gesso, originou um aumento de cerca de 3% na quantidade de água adicionada à argamassa.

#### 4.2 Resistências mecânicas

A avaliação das resistências mecânicas foi feita com base no estudo do comportamento das argamassas à compressão e flexão, sendo que ambos foram avaliados com base na EN 1015-11.

Para o comportamento em flexão foram utilizados provetes prismáticos com dimensões de 40x40x160mm<sup>3</sup>. Os ensaios foram realizados com controlo de força, a uma velocidade de 10N/s. O comportamento em compressão foi avaliado efetuando a aplicação da carga no proveite com recurso a uma peça metálica, suficientemente rígida para uniformizar a carga vertical. Os provetes utilizados para o ensaio foram as metades resultantes dos ensaios de flexão. Os ensaios foram realizados com controlo de força, a uma velocidade de 50N/s.

De acordo com os resultados obtidos (figura 3) é possível observar uma melhoria nas características mecânicas, provocada pela introdução de uma maior quantidade de PCM. Contudo, verifica-se uma diminuição do valor da resistência à flexão e compressão, para uma percentagem de incorporação de PCM de 30%, comparativamente à composição com incorporação de 20% de PCM. Assim a percentagem ótima de PCM a adicionar na argamassa é de 20%. É ainda possível verificar que o valor obtido para uma percentagem de incorporação de PCM de 30%, é superior ao apresentado pelas argamassas sem incorporação de PCM, o que mais uma vez nos permite concluir o efeito benéfico provocado pela incorporação de PCM nestas argamassas.

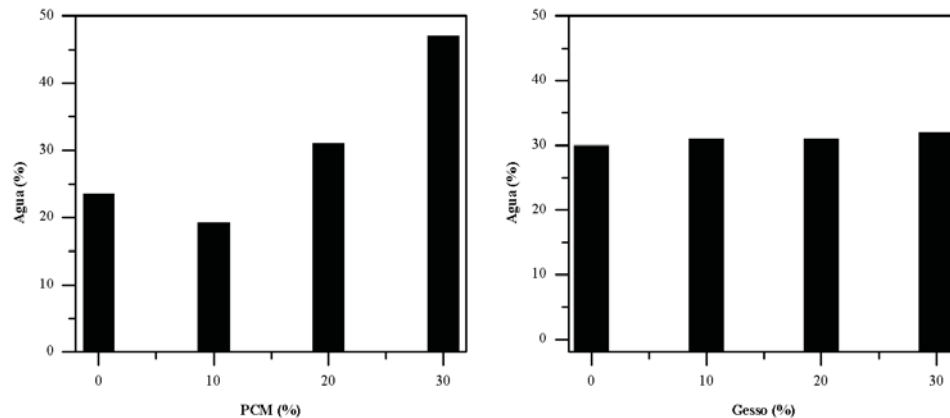


Figura 2. Quantidade de água adicionada à argamassa (em % da massa total de partículas sólidas).

A incorporação de 10% de PCM leva a um aumento do valor da resistência à flexão superior a 300%. Na resistência à compressão o aumento verificado é de cerca de 330%. Estes valores foram obtidos através da comparação entre o valor obtido para as composições com 10% de PCM relativamente às composições sem incorporação de material de mudança de fase. Este aumento das resistências mecânicas encontra-se relacionado com o aumento da porosidade originado pela introdução de uma maior quantidade de água. Sendo que o aumento da porosidade facilita a carbonatação das argamassas.

#### 4.3 Retração

O estudo da retração apenas foi efetuado para 5 das 15 composições estudadas. Desta forma, foi possível observar a influência da presença de microcápsulas de PCM nas argamassas, assim como a ação provocada pela introdução de fibras de nylon e gesso. Uma vez que, a introdução destes materiais teve como principal objetivo a diminuição e controlo da retração.

Para avaliar a retração, foi desenvolvido um dispositivo capaz de medir as variações de dimensões em vários provetes, desde o instante em que a argamassa foi colocada no molde até à posterior desmoldagem, aos 7 dias (Figura 4). Previamente à colocação da argamassa, os moldes do dispositivo de medição foram preparados com um óleo correntemente utilizado em cofragens, tendo como objetivo a eliminação do atrito às superfícies. Após a desmoldagem, foi possível continuar a monitorização da retração ao longo do tempo, com recurso a outro dispositivo de medição.

O dispositivo desenvolvido consiste numa base para colocação de um molde triplo, com dimensões de  $25 \times 25 \times 250 \text{ mm}^3$  e seis transdutores de deslocamento (LVDT). Foi acoplado um transdutor de deslocamento na extremidade de cada amostra, com o objetivo de permitir a medição da retração ao longo do provete. Os transdutores de deslocamento foram conectados a um sistema de aquisição de dados. A quantificação da retração é realizada com base na equação (1):

$$\varepsilon = \frac{(L_i - L_t)}{250} \quad (1)$$

Onde:  $\varepsilon$  = Retração;  $L_i$  = Comprimento inicial;  $L_t$  = Comprimento no instante t.

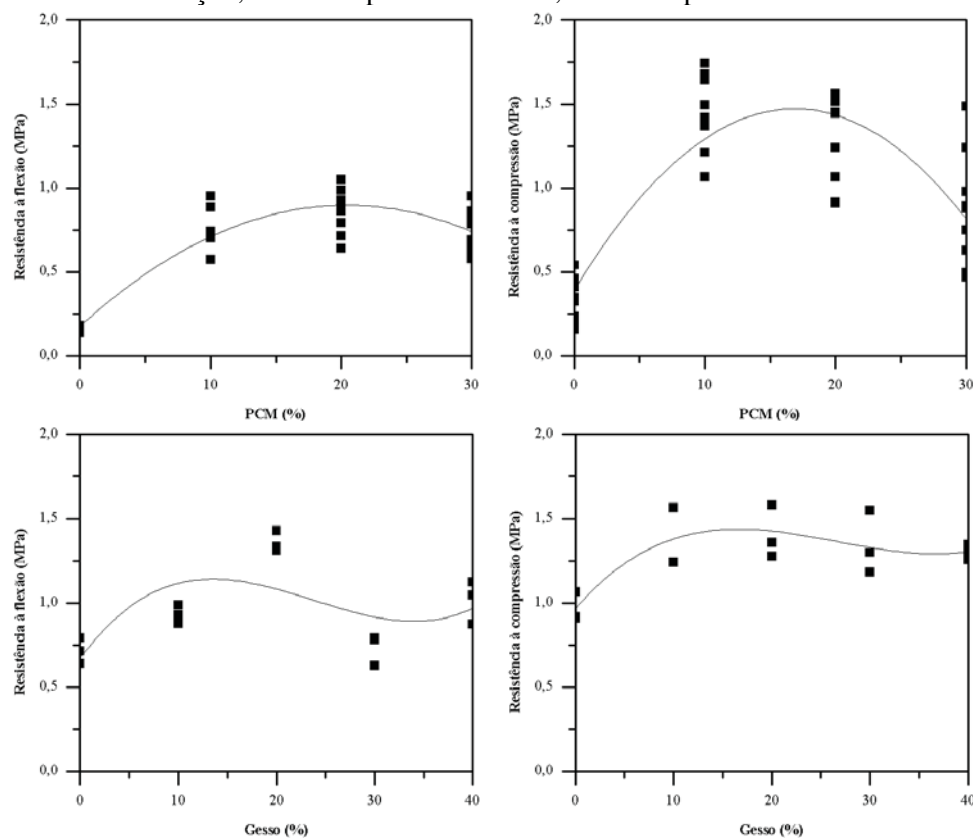


Figura 3. Comportamento à flexão e compressão das argamassas estudadas.

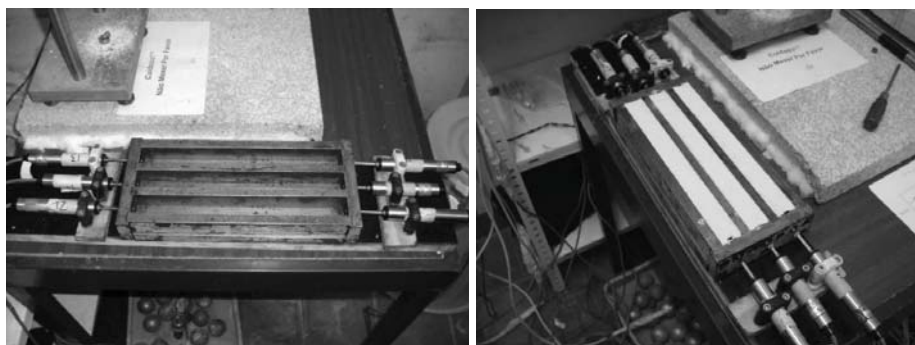


Figura 4. Dispositivo de medição da retração das argamassas no estado fresco.

Os resultados permitiram verificar um aumento no valor medido da retração com a incorporação de microcápsulas de PCM. No entanto, a adição de gesso e fibras de nylon, resulta numa diminuição da retração nas primeiras 24 horas de monitorização (Figura 5).

A análise dos resultados até 7 dias (Figura 6) permitiu identificar diferentes comportamentos nas argamassas testadas. A introdução de 20% de microcápsulas (L100G0PCM), provocou um aumento na retração de cerca de 4 vezes, relativamente à argamassa de referência (L100G0). A adição de fibras de nylon (L100G0PCMF), provocou uma diminuição na retração para cerca de metade, comparativamente com a argamassa L100G0PCM. Por sua vez a adição de gesso (L80G20PCMF e L60G40PCMF) permite também observar uma diminuição no valor da retração. O aumento da retração com a incorporação de PCM deve-se à maior quantidade de água utilizada, aumentando a retração por dessecação. A diminuição de retração originada pela inclusão de fibras deve-se a estas impedirem os movimentos no interior das argamassas. Por outro lado, a diminuição de retração verificada com a inclusão de gesso, deve-se à expansão que ocorre com a sua hidratação.

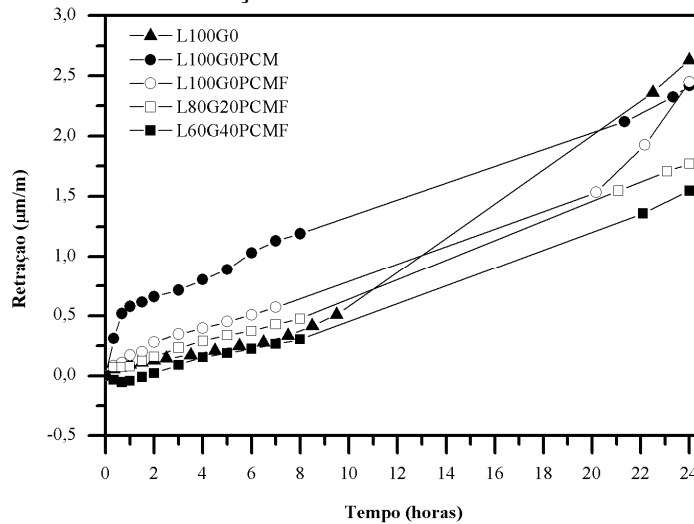


Figura 5. Retração desde a moldagem até às 24 horas.

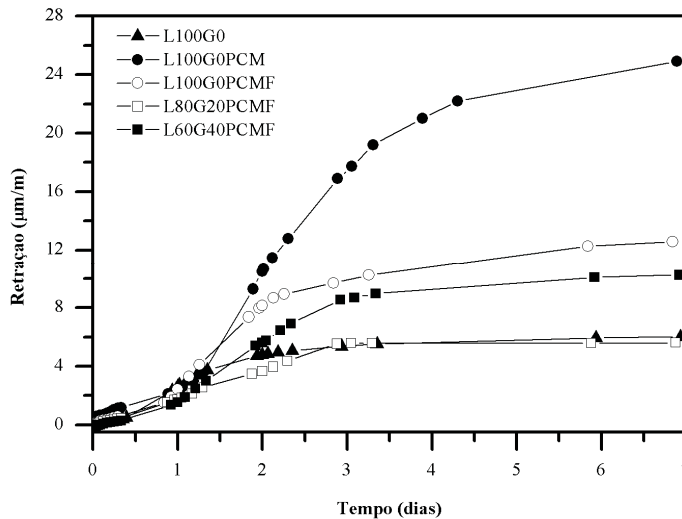


Figura 6. Retração desde a moldagem até aos 7 dias.

## 5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode concluir-se que a utilização de microcápsulas de PCM em argamassas de revestimento para interiores, pode ser encarada como uma solução viável para aplicações no sector da reabilitação. Uma vez que estas possuem um compromisso entre a sua resistência e aparência estética. Estas argamassas podem ser aplicadas em camadas

com cerca de 2-3 mm, regularizando a temperatura no interior dos edifícios sem prejuízo das áreas úteis dos mesmos.

Os resultados obtidos nos ensaios de retração permitiram concluir que o uso conjunto de fibras e de gesso constitui uma boa solução para os problemas relacionados com a fissuração, causados pela incorporação de microcápsulas de materiais de mudança de fase.

Foi ainda possível verificar a necessidade de uma quantidade de água maior, com um maior nível de incorporação de materiais de mudança de fase, de forma a obter uma trabalhabilidade adequada para a argamassa. O comportamento em compressão e flexão, permite observar um melhor desempenho, para percentagens de incorporação de microcápsulas de PCM entre 15% e 20%. Isto deve-se à necessidade de uma maior quantidade de água em argamassas com incorporação de 30% de PCM, provocando desta forma uma porosidade mais elevada que não é compensada pela carbonatação. Sendo assim, o benefício obtido nas características mecânicas relacionado com a incorporação de uma maior quantidade de PCM é atenuado pela presença de uma maior quantidade de água, de forma a conferir uma trabalhabilidade adequada às argamassas.

Através da análise dos diferentes ensaios efetuados, é possível concluir que a argamassa com incorporação de 60% de cal aérea, 40% de gesso e 20% de PCM, revelou-se a mais interessante, tendo mostrado um excelente equilíbrio entre as suas características mecânicas e retração.

## REFERÊNCIAS

- Athienitis, A.; Liu, C.; Hawes, D.; Banu, D., Feldman, D. 1997. Investigation of the Thermal Performance of a Passive Solar Test-Room with Wall Latent Heat Storage. *Building and Environment* 32:405-410.
- Cabeza, L.; Castell, A.; Barreneche, C.; Gracia, A.; Fernández, I. 2011. Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15:1675-1695.
- Cunha, S.; Aguiar, J.; Ferreira, V.; Alves, V. 2011. Use of Phase Change Materials Microcapsules in Aerial Lime and Gypsum Mortars. *European Symposium on Polymers in Sustainable Construction*, 6-7 Setembro, Varsóvia, Polónia.
- Darkwa, K.; O'Callaghan, P.; Tetlow, D. 2006. Phase-change drywalls in a passive-solar building. *Applied Energy* 83: 425-435.
- Entrop, A.; Brouwers, H.; Reinders, A. 2011. Experimental research on the use of micro-encapsulated Phase Change Materials to store solar energy in concrete floors and to save energy in Dutch houses. *Solar Energy* 85:1007-1020.
- European Committee for Standardization. 1999. EN 1015-11. Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar.
- European Committee for Standardization. 2004. EN 1015-3. Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table).
- Jin, X.; Zhang, X. 2011. Thermal analysis of a double layer phase change material floor. *Applied Thermal Engineering* 31:1576-1581.
- Khudhairi, A.; Farid, M. 2004. A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials. *Energy Conversion and Management* 45:263-275.
- Lin, K.; Zhang, Y.; Xu, X.; Di, H.; Yang, R.; Qin, P. 2004. Experimental Study of Under-Floor Electric Heating System with Shape-Stabilized PCM Plates. *Energy and Buildings* 37:215-220.
- Regin, A.; Solanki, S.; Saini, J. 2008. Heat transfer characteristics of thermal energy storage system using PCM capsules: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12:2438-2458.
- Schossig, P.; Henning, H.; Gschwander, S.; Haussmann, T. 2005. Micro-encapsulated Phase Change Materials Integrated in to Construction Materials. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 89:297-306.
- Sharma, A.; Tyagi, V.; Chen, C.; Buddhi, D. 2009. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13:318-345.
- Shilei, L.; Neng, Z.; Guohui, F. 2006. Impact of Phase Change Wall Room on Indoor Thermal Environment in winter. *Energy and Buildings* 38:18-24.
- Silva, P.; Almeida, M.; Bragança, L.; Mesquita, V. 2010. Reabilitação energética de edifícios residenciais com aplicação de soluções de fachada prefabricadas. *Construção Magazine* 35:29-34.
- Tyagi, V.; Kaushik, S.; Tyagi, S.; Akiyama, T. 2011. Development of phase change materials based microencapsulated technology for buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15:1373-1391.
- Zhang, Y.; Zhou, G.; Lin, K.; Zhang, K.; Di, H. 2007. Application of latent heat thermal energy storage in buildings: State-of-the-art and outlook. *Building and Environment* 42:2197-2209.

# Avaliação da Sustentabilidade de Soluções de Reabilitação Energética para Paredes Exteriores de um Edifício de Habitação

Andreia Macedo

*Bolseira de Investigação, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal*  
*andreia\_maced2@hotmail.com*

Ricardo Mateus

*Universidade do Minho, Guimarães, Portugal*  
*ricardomateus@civil.uminho.pt*

Sandra Silva

*Universidade do Minho, Guimarães, Portugal*  
*sms@civil.uminho.pt*

**Resumo:** A indústria da construção tem um papel de destaque no Desenvolvimento Sustentável, contribuindo de forma significativa para os impactes ambientais, sociais e económicos da humanidade. A construção de novos edifícios e infraestruturas e a sua reabilitação devem reger-se pelos princípios de desenvolvimento sustentável. A reabilitação de edifícios pode contribuir para uma melhoria do desempenho ambiental das cidades e da qualidade de vida dos seus cidadãos. O presente trabalho pretende contribuir para o desenvolvimento sustentável através da identificação e seleção de soluções construtivas e materiais para a reabilitação de paredes exteriores de um edifício, de modo a que sejam o mais compatíveis possível com os objetivos do desenvolvimento sustentável

## 1 INTRODUÇÃO

Apesar do elevado ritmo de construção nova verificada nos últimos anos, o parque edificado português e em particular o setor residencial, mesmo considerando a construção mais recente, ainda é genericamente envelhecido (ADENE, LNEC, INETI e IPQ, 2004).

Segundo os dados do Instituto Nacional de Estatística, o parque habitacional de Portugal encontra-se degradado e com uma qualidade construtiva deficiente (INE, 2008). Com estes dados conclui-se que é necessário requalificar e preservar o parque habitacional existente, evitando a sua degradação física, adotando níveis de conforto e salubridade mínimos. O nível de degradação no parque habitacional justifica-se pelo facto de, na generalidade, não ser objeto de intervenções regulares de manutenção/reabilitação, pela falta de qualidade dos materiais, processos e sistemas construtivos empregues nos edifícios e pelo facto da época de construção ser anterior à existência de regulamentação térmica de edifícios (ADENE, LNEC, INETI e IPQ, 2004).

As construções anteriores à entrada em vigor do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, posteriormente revogado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006, são insatisfatórias do ponto de vista do seu contributo para o grau de conforto térmico do ambiente interior, pelo que estão associadas a um excessivo consumo energético para climatização. A reabilitação energética do edificado, para que este se enquadre nos requisitos impostos pelo atual RCCTE, contribui para uma redução significativa do seu consumo energético, maximizando, ao mesmo tempo, as condições de conforto, saúde e bem-estar dos seus ocupantes.

A envolvente de um edifício (paredes exteriores e cobertura) desempenha um papel fundamental na eficiência energética do mesmo. A aplicação de isolamento térmico pode possibilitar a economia de até 30% de energia, poupando-se no aquecimento e arrefecimento dos espaços interiores (Lisboa E-Nova, 2008).

A reabilitação energética de um edifício é assim uma abordagem inovadora e promissora para a correção de situações de inadequação funcional, proporcionando a melhoria das condições de

conforto térmico e de habitabilidade dos seus ocupantes, permitindo reduzir o consumo de energia para aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação. Esta contribui também para o objetivo estratégico de redução das necessidades energéticas de Portugal e cumprimento das metas definidas com a assinatura do Protocolo de Quioto.

O presente trabalho tem como finalidade otimizar, sob o ponto de vista de eficiência energética, a solução de reabilitação de uma fachada que apresente o melhor nível de sustentabilidade. Para a avaliação do nível de sustentabilidade de diferentes soluções de reabilitação da envolvente vertical exterior dos edifícios, isto é do seu nível de desempenho global baseado em indicadores ambientais, sociais e económicos, será utilizada a Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC).

Os resultados obtidos neste estudo resultam da aplicação da referida metodologia a um caso de estudo. A aplicação a um caso de estudo, correspondente a um edifício unifamiliar convencional em Portugal, permitiu avaliar a influência da solução de reabilitação nos impactes ambientais incorporados, no consumo de energia e nos custos de operação.

## 2 METODOLOGIA APLICADA

### 2.1 *Objetivo*

O objetivo fundamental deste trabalho passa pela seleção de soluções construtivas e processos de construção para as fachadas de edifícios, de modo a que a reabilitação seja o mais compatível possível com os objetivos relativos ao desenvolvimento sustentável.

A selecção da melhor solução de reabilitação para fachadas, segundo o nível de sustentabilidade será conduzida pela metodologia MARS-SC (Mateus e Bragança, 2006). Esta metodologia propõe que a sustentabilidade das soluções construtivas seja avaliada, para cada elemento construtivo, relativamente à solução de referência e considerando os três indicadores de sustentabilidade: ambiental, funcional e económico.

Após a hierarquização, por nível de sustentabilidade, do conjunto de cenários com vista à reabilitação de fachadas, optimizou-se o edifício em estudo, implementando a solução de reabilitação de fachadas com melhor nível sustentabilidade. Para o efeito analisaram-se os seguintes aspetos:

- O comportamento térmico, calculando os consumos energéticos anuais em função do aumento da espessura de material de isolamento térmico da fachada do edifício;
- Os custos associados à implementação das soluções reabilitação, com diferentes espessuras de material de isolamento térmico;
- Os custos associados aos consumos de energia dos cenários de reabilitação de fachadas para as diferentes espessuras de material de isolamento térmico;
- O tempo de retorno de investimento, em anos, das soluções de reabilitação em função da redução dos consumos energéticos para as diferentes espessuras de isolamento térmico dos cenários de reabilitação de fachadas.

De modo a obter a solução optimizada e determinar a solução de reabilitação mais adequada a implementar no edifício existente analisou-se o tempo de retorno do investimento da reabilitação para um caso de estudo.

### 2.2 *Descrição do edifício em estudo*

Para a realização do estudo definiu-se um edifício virtual equivalente a um edifício unifamiliar, localizado no Concelho de Guimarães. O edifício, de geometria quadrangular, encontra-se orientado a sul (Figura 1).

O edifício em estudo é constituído por um piso, com 64m<sup>2</sup> de área útil de pavimento e 2,7m de pé-direito livre. As paredes exteriores são constituídas por um pano duplo de alvenaria de tijolo vazado de 0,11m, separados por uma caixa-de-ar de 0,03m, rebocados em ambas as faces. A cobertura é inclinada, com quatro águas e desvão não habitável. A esteira horizontal é composta por uma laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas e abobadilhas cerâmicas com 0,25m de espessura e 0,02m de reboco para revestimento inferior. A esteira inclinada é constituída por telhas cerâmicas apoiadas sobre uma estrutura de madeira. Os vão envidraçados são em vidro simples e caixilharia em alumínio, correspondendo a 22% da área de pavimento.

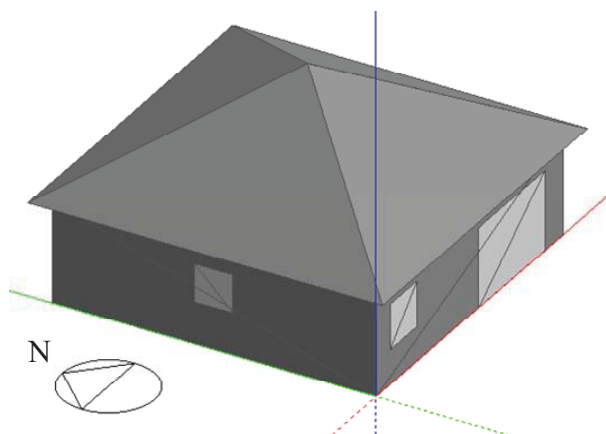


Figura 1. Edifício em estudo

### 2.3 Metodologia para a avaliação da sustentabilidade

A metodologia implementada neste estudo foi a Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC).

Esta metodologia propõe que a sustentabilidade das soluções construtivas seja avaliada relativamente à solução de referência, isto é, a solução construtiva mais aplicada para um determinado local.

A metodologia MARS-SC desenvolve-se em quatro etapas:

- Quantificação dos parâmetros;
- Normalização dos parâmetros;
- Agregação dos parâmetros;
- Determinação do nível de sustentabilidade;

#### 2.3.1. Quantificação dos parâmetros

A fase de quantificação dos parâmetros estabelece o número e tipo de parâmetros a analisar em cada um dos indicadores. A definição dos parâmetros depende dos objetivos da avaliação, das características próprias das soluções construtivas, das exigências funcionais que se pretendam satisfeitas, das características particulares do local e dos dados disponíveis (Mateus e Bragança, 2006)

Nos últimos anos, a ISO e o CEN têm-se destacado no desenvolvimento de ações de normalização no âmbito da avaliação da sustentabilidade dos edifícios. A ISO, através da norma ISO/TC 21929-1 (2006) fornece o enquadramento e as orientações para o desenvolvimento e seleção de indicadores de sustentabilidade adequado para os edifícios. Esta norma aborda a avaliação do desempenho ambiental, social e económico de um edifício.

Na aplicação da MARS-SC às soluções construtivas analisadas neste trabalho são considerados cinco parâmetros ambientais, dois funcionais e um económico (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros a analisar na metodologia MARS-SC

| Ambientais                                                              | Funcionais                                                                                 | Económicos                                  |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| - Potencial de Esgotamento das Reservas de Combustíveis Fosseis (FFDP); | - Consumo total de energia (kWh/m <sup>2</sup> . ano);                                     | - Custo de reabilitação (€/m <sup>2</sup> ) |
| - Potencial de Aquecimento Global (GWP);                                | - Redução sonora aparente e isolamento sonoro normalizado ou padronizado ( $D_{2m,nT,W}$ ) |                                             |
| - Potencial de Acidificação (AP);                                       |                                                                                            |                                             |
| - Potencial de Eutrofização (EP);                                       |                                                                                            |                                             |
| - Potencial de Oxidação Fotoquímica (POCP).                             |                                                                                            |                                             |

Neste trabalho foi utilizada a ferramenta informática SimaPro (PRé-consultants, 2008) e foram empregues os métodos CML Baseline 2000 (CML, 2001) para a avaliação de impactes ambientais e Cumulative Energy Demand (PRé-consultants, 2010) para a avaliação da energia primária incorporada.

No que concerne aos parâmetros funcionais em estudo na avaliação das soluções de reabilitação de fachadas, estes foram analisados através do consumo energético para aquecimento e arrefecimento (kWh/m<sup>2</sup>.ano) e da qualidade acústica das soluções construtivas. Os consumos energéticos anuais foram estimados usando a ferramenta de simulação energética DesignBuilder (DesignBuilder, 2012). A qualidade acústica foi prevista através do cálculo do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ( $D_{2m,nT,W}$ ), usando o método do Modelo Misto proposto por Meisser (Meisser, 1973) e cuja adequação às soluções construtivas portuguesas foi estudada por Diogo Mateus e António Tadeu (Mateus et al, 1999).

Relativamente aos parâmetros económicos foi realizado o levantamento dos custos de construção (€/m<sup>2</sup>) de cada um dos cenários de reabilitação através do gerador de preços da construção incorporado na base de dados do software CYPE 2011.

### 2.3.2. Normalização dos parâmetros

A normalização dos parâmetros tem como objetivo evitar os efeitos de escala na agregação dos parâmetros de cada indicador. Na normalização é utilizada a fórmula de Diaz-Balteiro (2004) equação 1.

$$\bar{P}_i = \frac{P_i - P_{*i}}{P_i^* - P_{*i}} \quad (1)$$

Em que  $P_i$  representa o resultado da quantificação do parâmetro  $i$ .  $P_i^*$  e  $P_{*i}$  correspondem ao melhor e ao pior resultado do parâmetro de sustentabilidade  $i$ .

O método de normalização utilizada torna os parâmetros considerados na avaliação da sustentabilidade adimensionais e converte-os numa escala compreendida entre 0, o pior valor, e 1, o melhor valor.

### 2.3.3. Agregação dos parâmetros

A apresentação do desempenho de uma solução através da listagem dos resultados obtidos ao nível de todos os parâmetros considerados, isto é, ambientais, funcionais e económicos, complica a compreensão do desempenho global da solução. Para solucionar esta questão, são combinados, dentro de cada dimensão, os diversos parâmetros, em função do peso (importância) que é atribuído a cada um no cumprimento dos requisitos de projeto.

As equações (2), (3) e (4) apresentam o modo como se agregam os parâmetros dentro de cada dimensão para se determinar o desempenho ao nível de cada dimensão do desenvolvimento sustentável (Mateus e Bragança, 2006).

$$\bar{I}_A = \sum_{i=1}^n w_{Ai} \cdot \bar{P}_{Ai} \quad (2)$$

$$\bar{I}_F = \sum_{i=1}^n w_{Fi} \cdot \bar{P}_{Fi} \quad (3)$$

$$\bar{I}_E = \sum_{i=1}^n w_{Ei} \cdot \bar{P}_{Ei} \quad (4)$$

O peso de cada parâmetro na avaliação ao nível de cada dimensão, não é consensual, pois varia de metodologia para metodologia de avaliação e reconhecimento da construção sustentável.

### 2.3.4. Determinação do nível de sustentabilidade

A fase posterior à agregação de cada um dos parâmetros, ao nível de cada dimensão da sustentabilidade, consiste na determinação do desempenho global da solução construtiva. A nota sus-

tentável (NS) é determinada através da equação (5) (Mateus e Bragança, 2006).

$$NS = w_A \cdot I_A + w_F \cdot I_F + w_E \cdot I_E \quad (5)$$

Na equação (5), NS é o resultado da ponderação de cada dimensão  $I_j$  com o respetivo peso ( $W_j$ ), na avaliação da sustentabilidade. A soma dos pesos atribuídos aos três indicadores tem de ser igual a 1, de modo a se obter uma nota sustentável compreendida entre 0 e 1 (Mateus e Bragança, 2006).

Como através da construção sustentável se pretende principalmente uma maior compatibilidade entre os ambientes construído e natural, sem que com isso se comprometa em primeiro lugar a funcionalidade e por fim a viabilidade económica do projeto, considera-se nesta avaliação (Mateus e Bragança, 2006):

- Peso do indicador ambiental:  $W_A = 0,3$
- Peso do indicador funcional:  $W_F = 0,5$
- Peso do indicador económico:  $W_E = 0,2$

Calculados os índices de comparação é possível avaliar, ao nível de cada parâmetro, se a solução construtiva em estudo é melhor ou pior do que a solução construtiva de referência.

#### 2.4 Metodologia para a otimização do isolamento térmico na solução de fachada

A otimização do isolamento térmico na solução de fachada foi conduzida através da simulação energética do edifício em estudo. Através do programa informático Design Builder, simulou-se o consumo de energia total, em kWh/ano, para cada uma das soluções de reabilitação para as diferentes espessuras de material de isolamento térmico a implementar no edifício.

Com os valores dos consumos energéticos em kWh converteram-se os mesmos em custo económico de acordo com as tarifas energéticas em vigor. Apesar do preço do tarifário incluir o preço da potência instalada e ainda o preço de energia que varia com o seu consumo, considerou-se o valor de energia de 0,1365€/kWh (EDP, 2012).

De modo a obter a solução otimizada e determinar a solução ideal de reabilitação a implementar no edifício existente analisou-se o tempo de retorno do investimento da reabilitação.

O custo correspondente ao primeiro ano corresponde à soma do custo de investimento (custo de reabilitação) com o custo de energia anual obtido através da simulação energética, tal como apresentado na equação (6).

$$C_1 = C_{reabilitação} + C_{energia} \quad (6)$$

Para um determinado período de  $t$  anos determinou-se a variação dos custos acumulados de investimento e energia através da equação (7).

$$C_t = Custo_{t-1} + (C_{energia} \times (1 + a)^t) \quad (7)$$

Em que  $t$  corresponde ao ano para o qual se pretende determinar o custo e  $a$  equivale à taxa de variação da energia, com valor de 4%.

### 3 SOLUÇÕES COM VISTA À REABILITAÇÃO DE FACHADAS

O reforço do isolamento térmico das paredes exteriores admite três grandes opções, caracterizadas pelas diferentes localizações possíveis do isolamento térmico a aplicar:

- Isolamento térmico exterior;
- Isolamento térmico interior;
- Isolamento térmico na caixa-de-ar (limitando-se apenas ao caso de paredes duplas).

Neste trabalho serão analisadas cinco soluções de reabilitação pelo exterior, duas pelo interior e uma por injeção de isolamento na caixa-de-ar, perfazendo um total de oito soluções.

#### 3.1 Soluções de isolamento térmico pelo exterior

Nesta secção apresentam-se cinco soluções construtivas de isolamento térmico pelo exterior.

*Solução Fach. 1 – Sistemas de isolamento térmico por revestimento delgado sobre o isolante*

Os sistemas de isolamento térmico por revestimento espesso sobre o isolante (Figura 2) são

constituídos por: um isolante, em placas, colado ao suporte; um revestimento de ligantes hidráulicos armados com rede metálica; e por uma camada de um revestimento delgado de massas plásticas ou uma tinta aplicada sobre o paramento exterior.

Nesta solução considerou-se o isolamento térmico em placas de poliestireno expandido extrudido com 0,03m de espessura. Nos revestimentos considerou-se argamassas não-tradicionais, armadas com uma rede de fibra de vidro para camada base e para o revestimento de acabamento argamassas não-tradicionais, com aplicação de tinta com rendimento de 13,00 m<sup>2</sup>/l/demão aplicada sobre o paramento exterior em argamassa.

#### *Solução Fach. 2 – Sistemas de isolamento térmico por revestimento espesso sobre o isolante*

Os sistemas de isolamento térmico por revestimento delgado sobre o isolante (Figura 3) são constituídos por: um isolante em placas colado ao suporte; um revestimento delgado de ligante misto, armado com uma rede flexível, quase sempre em fibra de vidro, formando-se assim a camada base do revestimento; e um revestimento de acabamento, em geral um revestimento delgado de massas plásticas, formando assim a camada de acabamento de revestimento.

Na presente solução considerou-se isolamento térmico em placas de poliestireno expandido extrudido com 0,03m de espessura. No que respeita aos revestimentos ligantes considerou-se argamassas não-tradicionais, armadas com uma rede metálica em aço-galvanizado. A camada de revestimento delgado é um reboco não-tradicional e o acabamento corresponde à aplicação de uma tinta com rendimento de 13,00 m<sup>2</sup>/l/demão sobre o paramento.

#### *Solução Fach. 3 – Revestimentos fixados ao suporte através de uma estrutura intermédia*

As soluções de revestimentos independentes descontínuos (Figura 4), com interposição de um isolante na caixa-de-ar, consistem na colocação de uma camada de isolamento térmico, fixo directamente à parede através de uma estrutura de suporte metálica ou em madeira. Esta estrutura é formada por montantes e travessas, sobre as quais é colocado um revestimento independente exterior, constituído por elementos descontínuos (ADENE, LNEC, INETI e IPQ, 2004).

Nesta solução considerou-se: uma camada de isolamento térmico em placas de poliestireno expandido extrudido com 0,03m de espessura; uma estrutura de suporte em aço-inoxidável com os perfis horizontais de dimensão 0,50x0,125m e verticais com 0,40x0,70m, ambos com espessura de 0,002m; e um revestimento exterior em placas cerâmicas com dimensão de 0,60x0,30 m com espessura de 0,03m.

#### *Solução Fach. 4 – Componentes prefabricados constituídos por um isolante e um paramento, fixados directamente à parede*

Os sistemas de isolamento térmico por elementos descontínuos prefabricados (Figura 5) são obtidos a partir de elementos previamente produzidos em fábrica, constituídos por um material isolante em placa, revestido exteriormente por uma película de natureza metálica, mineral ou orgânica.

Na presente solução considerou-se a aplicação de um painel pré-fabricado de poliestireno expandido moldado com 0,03m de espessura e de um revestimento liso em chapa de aço-galvanizado, de 0,004m de espessura.

#### *Solução Fach. 5 – Rebocos Isolante*

Esta solução trata-se da aplicação de argamassas que incorporam grânulos de pequeno diâmetro de isolante térmico, Figura 6. Estas argamassas em comparação com as convencionais conseguem reduzir a condutibilidade térmica.

### *3.2 Soluções de isolamento térmico pelo interior*

Nesta secção serão apresentadas duas soluções de reabilitação de isolamento térmico pelo interior.

#### *Solução Fach. 6 – Execução de uma contrafachada pelo interior em alvenaria*

A execução de uma contra-fachada de alvenaria no lado interior da parede a reabilitar (Figura 7), com colocação de isolante na caixa-de-ar, implica a seguinte sequência de operações: colagem de placas de um isolante térmico, execução de um pano interior de alvenaria de tijolo furado, e aplicação no paramento interior um revestimento tradicional de ligantes hidráulicos e uma pintura com tinta de emulsão aquosa não texturada com base em polímero sintético.

Nesta solução considerou-se a aplicação de placas de isolamento térmico com espessura de

0,03m em poliestireno expandido extrudido; tijolo furado de 11 com dimensão de 0,30x0,20m e espessura de 0,11m; argamassas tradicionais para assentamento e revestimento, e aplicação de tinta com rendimento de 13,00 m<sup>2</sup>/l/demão sobre o revestimento.

*Solução Fach. 7 – Execução de uma contrafachada pelo interior em gesso*

A execução de uma contra-fachada de placas de gesso cartonado no lado interior da parede a reabilitar (Figura 8), com colocação de isolante na caixa-de-ar implica as seguintes operações: colagem de placas de um isolante térmico, fixação à parede exterior de uma estrutura de suporte, fixação à estrutura das placas de gesso cartonado.

Para a execução da contra-fachada em gesso considerou-se as placas de isolamento térmico em poliestireno extrudido expandido com 0,03m de espessura; estrutura de suporte em alumínio com o perfis horizontais e verticais de dimensão 0,03x0,08m e espessura de 0,0008m, painéis de gesso cartonado com 0,0125m de espessura e ainda uma camada de reboco tradicional com espessura de 0,015m com aplicação de tinta com rendimento de 13,00 m<sup>2</sup>/l/demão sobre a mesma.

**3.3 Soluções de isolamento térmico em caixa-de-ar**

Nesta secção será apresentada uma solução de reabilitação de injeção de isolamento térmico na caixa de ar.

*Solução Fach. 8 – Injecção de isolamento na caixa-de-ar de paredes dupla*

Esta solução é aplicável exclusivamente a edifícios em que as paredes exteriores sejam construídas por dois panos. O reforço do isolamento térmico por preenchimento da caixa-de-ar é, nestes casos, a solução mais económica e mais simples de executar. Para a sua concretização, basta abrir furos de injeção. Nesta solução considerou-se o preenchimento de uma caixa-de-ar com 0,03m de espessura com a injeção de espuma de ureia-formaldeído.

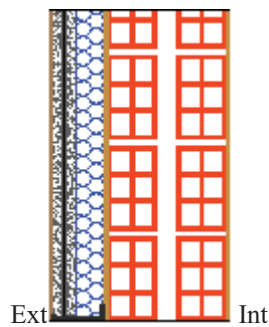


Figura 2. Solução Fach. 1- Sistemas de isolamento térmico por revestimento delgado sobre o isolante

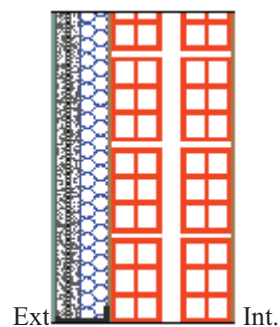


Figura 3. Solução Fach. 2 - Sistemas de isolamento térmico por revestimento espesso sobre o isolante

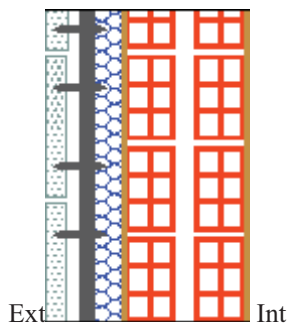


Figura 4. Solução Fach. 3 - Revestimentos fixados ao suporte através de uma estrutura intermédia

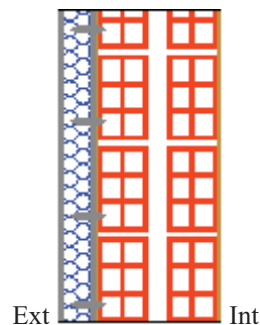


Figura 5. Solução Fach. 4 - Componentes prefabricados constituídos por um isolante e um paramento, fixados diretamente à parede

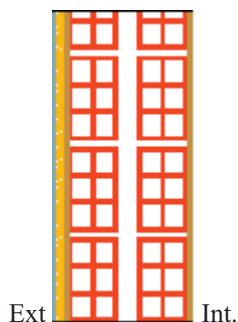


Figura 6. Solução Fach. 5 - Rebocos Isolantes

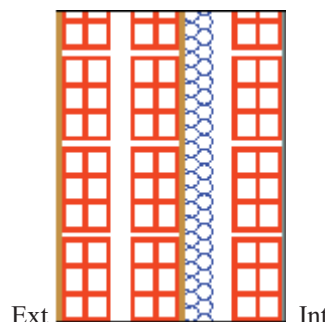


Figura 7. Solução Fach. 6 - Execução de uma contrafachada pelo interior em alvenaria

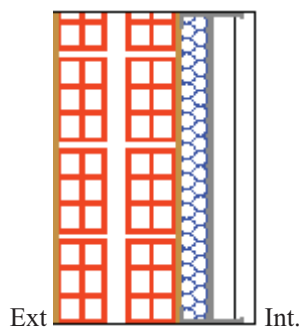


Figura 8. Solução Fach. 7 - Execução de uma contrafachada pelo interior em gesso

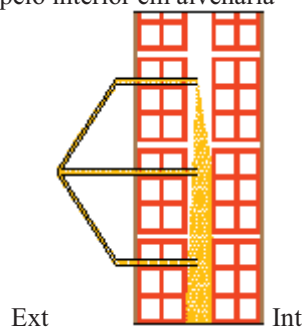


Figura 9. Solução Fach. 8 - Injeção de isolamento na caixa-de-ar de paredes dupla

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Avaliação da sustentabilidade das soluções de fachada

Tendo em consideração a importância do comportamento térmico, relativamente às restantes exigências funcionais dos elementos da envolvente vertical, as soluções de reabilitação em análise foram definidas de modo a que os seus coeficientes de transmissão térmica fossem, no mínimo o mais semelhante possível.

Como solução de reabilitação de referência adotou-se a solução de sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior, com revestimento delgado aplicado sobre o isolante (Fach. 1). Esta consideração deveu-se ao facto desta ser a solução convencionalmente aplicada na reabilitação da envolvente vertical exterior de edifícios em Portugal.

A espessura do isolante térmico de cada uma das soluções foi definida tendo por base o valor de referência do coeficiente de transmissão térmica ( $U=0,45\text{W/m}^2\text{C}$ ) para elementos exteriores verticais em zona corrente (zonas opacas) de edifícios situados na zona climática de inverno I2, de acordo com o RCCTE. A espessura de isolamento de todas as soluções foi definida de modo a: respeitar os requisitos do RCCTE para a zona climática considerada; utilizar as espessuras de material isolante disponíveis no mercado; que todas as soluções tivessem um coeficiente global de transmissão térmica ( $U$ ) semelhante ao da solução referência. Desta forma, todas as soluções apresentam um  $U$  de aproximadamente  $0,44\text{W/m}^2\text{C}$ .

Os resultados obtidos para cada uma das soluções construtivas no que respeita à agregação dos parâmetros ambientais, funcionais e económicos estão representados na Tabela 2. Estes, foram obtidos através das equações (2), (3) e (4) que apresentam o modo de agregação dos parâmetros dentro de cada um dos indicadores.

A fase posterior à agregação de cada um dos parâmetros, ao nível de cada dimensão da sustentabilidade, consiste na determinação do desempenho global da solução construtiva. A nota sustentável (NS) é determinada através da equação (5).

Na Tabela 3 apresentam-se as soluções de reabilitação hierarquizadas por ordem decrescente de sustentabilidade.

Analisando os resultados obtidos através da aplicação da metodologia para avaliação da sustentabilidade aos oito cenários de reabilitação para fachadas, verificou-se que, dentro desta amostra e de acordo com os parâmetros analisados, a solução de reabilitação mais sustentável é a solu-

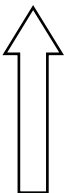
ção Fach.6 enquanto a solução de reabilitação menos sustentável é a solução Fach.5.

As características que mais contribuem para que a solução Fach.6 (execução de contrafachada em alvenaria pelo interior) seja a mais sustentável são: menor consumo de energia para proporcionar conforto aos seus ocupantes, melhor desempenho a nível acústico, menor custo de construção, assegurando a necessária inércia térmica, quando comparada com a solução referência. Esta solução também apresenta alguns inconvenientes tais como, por exemplo, a redução da área útil dos espaços interiores, a realização de obras no interior do edifício (com os respetivos impactes sobre os ocupantes) e necessidade de refazer parte das instalações.

Tabela 2. Desempenho ambiental ( $I_A$ ), funcional ( $I_F$ ) e económico ( $I_E$ ) de cada um dos cenários de reabilitação

| Solução | $I_A$ | $I_F$ | $I_E$ |
|---------|-------|-------|-------|
| Fach.1  | 0,67  | 0,55  | 0,66  |
| Fach.2  | 0,72  | 0,55  | 0,64  |
| Fach.3  | 0,05  | 1,00  | 0,00  |
| Fach.4  | 0,31  | 0,66  | 0,69  |
| Fach.5  | 0,98  | 0,00  | 0,94  |
| Fach.6  | 0,59  | 0,54  | 0,88  |
| Fach.7  | 0,70  | 0,53  | 0,63  |
| Fach.8  | 1,00  | 0,07  | 1,00  |

Tabela 3. Soluções de reabilitação de fachadas, hierarquizadas por ordem decrescente de sustentabilidade

| Solução | NS   |                                                                                                                                     |
|---------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fach.6  | 0,63 |  <p>Mais sustentável</p> <p>Menos sustentável</p> |
| Fach.2  | 0,62 |                                                                                                                                     |
| Fach.1  | 0,61 |                                                                                                                                     |
| Fach.7  | 0,60 |                                                                                                                                     |
| Fach.4  | 0,56 |                                                                                                                                     |
| Fach.8  | 0,54 |                                                                                                                                     |
| Fach.3  | 0,51 |                                                                                                                                     |
| Fach.5  | 0,48 |                                                                                                                                     |

#### 4.2 Metodologia para a otimização do isolamento térmico na solução de fachada

Na solução em análise na metodologia de avaliação da sustentabilidade foi considerada a aplicação de placas de poliestireno expandido extrudido com espessura de 0,03m. Esta solução apresenta um consumo energético anual, para aquecimento e arrefecimento, de 85,20kWh/m<sup>2</sup>.ano, o que representa um custo de 744,33€/ano. No que concerne ao custo de investimento este é de 1350,94€.

No que se refere à otimização do isolamento térmico, na avaliação do desempenho energético do edifício foi avaliado o efeito do aumento da espessura de isolante térmico para 0,05m, 0,10m, 0,15m e 0,20m.

Na Tabela 3 são apresentados os consumos energéticos, os custos energéticos associados aos consumos de energia e os custos associados à implementação da solução construtiva otimizada.

Tabela 4. Consumos energéticos e custos associados para as diferentes espessuras de isolamento térmico

| Solução                        | Consumo energético | Custo de energia | Custo de reabilitação |
|--------------------------------|--------------------|------------------|-----------------------|
| Solução existente              | 111,55             | 974,47           | 0,00 €                |
| Fach.6 com 0,03m de isolamento | 85,20              | 744,33           | 1.350,94€             |
| Fach.6 com 0,05m de isolamento | 84,14              | 735,05           | 1.489,27 €            |
| Fach.6 com 0,10m de isolamento | 82,51              | 720,81           | 1.832,23 €            |
| Fach.6 com 0,15m de isolamento | 81,61              | 712,94           | 2.175,91 €            |
| Fach.6 com 0,20m de isolamento | 81,03              | 707,87           | 2.519,59 €            |

Analisando os resultados apresentados na Tabela 3 é possível verificar que qualquer que seja a espessura de isolamento a implementar é possível obter reduções significativas no consumo

energético e nos custos associados, quando comparado com a solução base.

Através da equação (6) determinou-se o valor de energia para o primeiro ano. Para os restantes oito anos o custo da energia foi obtido através da equação (7).

Com os resultados obtidos através das equações referidas anteriormente e definindo um período de retorno de investimento de 8 anos analisou-se graficamente o ano em que os custos acumulados da solução existente se igualam aos das soluções com diferentes espessuras de isolamento térmico. Essa análise encontra-se apresentada na Figura 10.

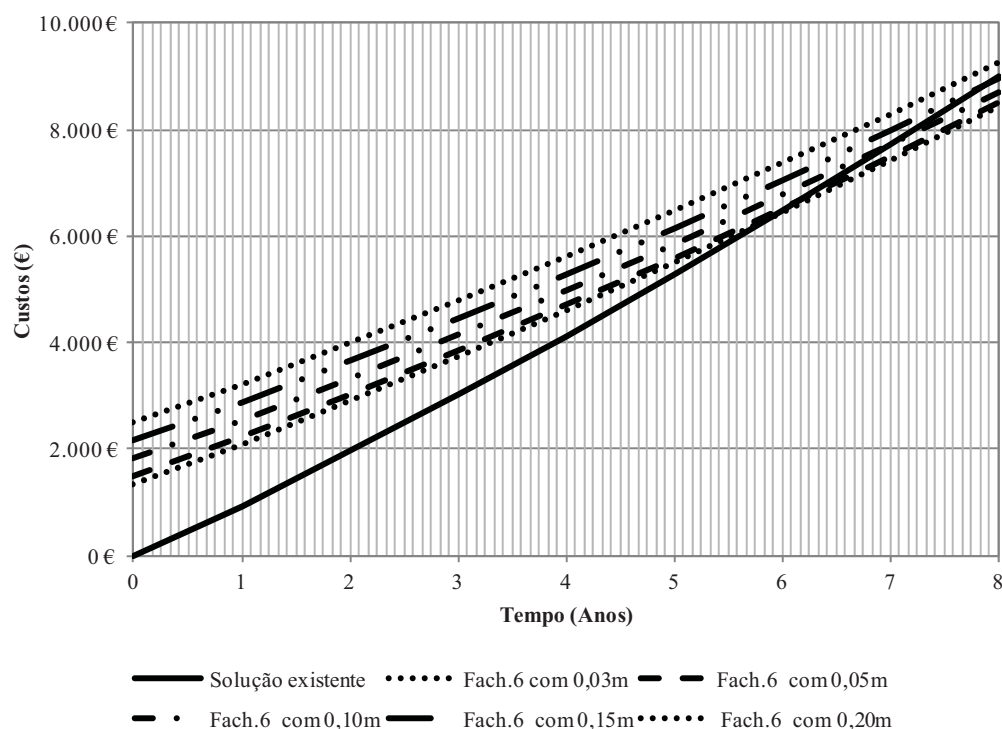


Figura 10. Custos acumulados da solução existente e das soluções otimizadas

Pela análise da Figura 10, verifica-se que o tempo de retorno do investimento correspondente às soluções de reabilitação com espessuras de 0,03m, 0,05m, 0,10m e 0,15m é inferior a 8 anos.

A solução de reabilitação otimizada consiste na execução de um pano de alvenaria pelo interior, incorporando um material de isolamento térmico em poliestireno expandido extrudido, pois na aplicação da metodologia de avaliação da sustentabilidades aos oito cenários de reabilitação para fachadas, verificou-se que, dentro desta amostra e de acordo com os parâmetros analisados, esta era solução de reabilitação mais sustentável.

Esta solução tem a desvantagem de reduzir a área útil dos compartimentos, isto é, quanto maior for a espessura de isolamento térmico menor será a área útil do compartimento. Desta forma, determinou-se que a solução com 0,10m de isolamento em poliestireno extrudido expandido é a solução a implementar na reabilitação, com um consumo energético de 82,51kWh/m<sup>2</sup>.ano, que em termos de custos corresponde a 720,81€/ano. Esta solução apresenta um custo de investimento em reabilitação de 1.832,23€.

## 5 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A reabilitação energética de um edifício existente é uma abordagem importante, que tem por objetivo melhorar a qualidade térmica da envolvente, as condições de conforto térmico dos ocupantes e racionalizar os consumos de energia.

A eficiência energética de edifícios envolve a redução do consumo de energia ao mesmo tempo que se mantém ou melhoram os níveis de conforto, qualidade do ar, entre outros requisitos dos edifícios.

As medidas de reabilitação energética a implementar num edifício podem ser de quatro géneros: reforço da proteção térmica conferida pela envolvente dos edifícios; controlo das infiltrações de ar; recurso a tecnologias solares passivas e ativas e melhoria da eficiência energética dos sistemas e equipamentos energéticos.

Numa primeira fase deste estudo pretendeu-se hierarquizar os cenários de reabilitação de fachadas de acordo com seu nível de sustentabilidade. Esta análise foi conduzida através da Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas – MARS-SC.

Analisando os resultados obtidos na aplicação da metodologia MARS-SC aos oito cenários de reabilitação de fachadas, verificou-se que, dentro desta amostra e de acordo com os parâmetros analisados, a solução de reabilitação mais sustentável corresponde à execução de uma contrafachada de alvenaria (Fach.6), enquanto a solução de reabilitação menos sustentável é a solução de rebocos isolantes (Fach.5).

No procedimento da otimização do isolamento térmico nas soluções de fachadas, a solução em análise foi a execução de uma contrafachada de alvenaria - Fach.6 (solução que obteve o melhor nível de sustentabilidade dentro das soluções de reabilitação de fachadas). Nesta solução, Fach.6, considerou-se a aplicação de placas de isolamento térmico com espessura de 0,03m em poliestireno expandido extrudido. Esta solução apresentou um consumo energético de aquecimento e arrefecimento para o período de um ano de 85,20kWh/m<sup>2</sup>.ano, o qual economicamente representa um custo de 744,33€/ano e um custo de investimento em reabilitação de este representa um valor de 1350,94€.

No que se refere à otimização do isolamento térmico na solução de fachada, considerou-se o aumento da espessura de isolante térmico para as espessuras de 0,05m, 0,10m, 0,15m e 0,20m.

Para o aumento de 0,05m de espessura de isolamento térmico na solução de fachada obteve-se através da simulação energética um consumo de 84,14kWh/m<sup>2</sup>.ano que em termos de custos corresponde a 735,05 €/ano. Esta solução apresenta um custo de investimento em reabilitação de 1.489,27€.

No que concerne ao aumento de espessura de poliestireno extrudido expandido na solução de fachada para 0,10m, obteve-se um consumo energético de 82,51kWh/m<sup>2</sup>.ano, que em termos de custos corresponde a 720,81€/ano. Esta solução apresenta um custo de investimento em reabilitação de 1.832,23€.

Relativamente ao aumento da espessura de isolamento térmico na fachada para 0,15m, apurou-se através da simulação um consumo energético de 81,61kWh/m<sup>2</sup>.ano, correspondendo a um custo económico de 712,94€/ano. Esta solução apresenta um investimento em reabilitação no valor de 2.175,91€.

Aumentando para 0,20m de espessura de poliestireno extrudido expandido na solução de fachada, obteve-se um consumo energético no valor de 81,03kWh/m<sup>2</sup>.ano o qual corresponde a um custo de 707,87€/ano. Esta solução apresenta um investimento em reabilitação no valor de 2.519,59€.

Com os resultados obtidos verificou-se que qualquer que seja a espessura de isolamento a implementar na reabilitação é possível obter reduções significativas de consumo energético e custos associados, quando comparado com a solução existente no edifício em estudo.

De modo a obter a espessura otimizada de poliestireno expandido extrudido e determinar a solução ideal de reabilitação a implementar na fachada do edifício existente, estudou-se o período de tempo de retorno para o investimento da reabilitação, tendo em atenção os custos de investimento de reabilitação, os custos para climatização e AQS do edifício existente e das várias espessuras de isolamento térmico.

Definiu-se um período de retorno de investimento de 8 anos e analisou-se o ano em que os custos acumulados da solução existente se igualavam às soluções com diferentes espessuras de isolamento térmico. Concluiu-se que os custos acumulados da solução existente igualavam os custos acumulados das soluções com espessura de isolante térmico de 0,03, 0,05m, 0,10m e 0,15m num período inferior a 8 anos.

Com os resultados alcançados na otimização do isolamento térmico na solução de fachada, determinou-se que a solução que incorporava um isolamento térmico em poliestireno expandido extrudido com 0,10m de espessura seria a solução a implementar na reabilitação da fachada do edifício.

Este estudo mostra a importância da análise do tempo de retorno do investimento na reabilitação, de forma a mostrar aos clientes a relevância de não se focarem apenas no custo inicial das

intervenções de reabilitação, pois é possível aumentar o conforto dos utilizadores e reduzir significativamente os custos de utilização em períodos de retorno curtos (até 8 - 10 anos).

Espera-se, que este estudo contribua de forma positiva e significativa nas tomadas de decisão dos projetistas que tenham como objetivo proporcionar melhorias nas condições de conforto dos seus utilizadores, a um patamar mínimo de custos e de impactes ambientais.

## REFERÊNCIAS

- ADENE, LNEC, INETI & IPQ (2004). Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais. Informação disponível online em [<http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/0000008/dlsmbi-zoqgvncjxfdkgikimrulbfcqg/Reabilita%CC83oenerg%CC83tica.pdf>], acedido em 17 de junho de 2010.
- CML (2001). CML 2 Baseline Method (2000). Centre for Environmental Studies (CML), University of Leiden, 2001. Informação online disponível em [<http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/ssp/lca2/index.html>] acedido em 15 de Fevereiro de 2012.
- CYPE (2011). CYPECAD (Versão After Hours). Software para engenharia e Construção versão 2011. Portugal.
- DesignBuilder (2012). DesignBuilder. Building design, simulation and visualisation software version 3.0.0.105. DesignBuilder Software Ltd. London, United Kingdom.
- Diaz-Balteiro, L. & Romero C. (2004). In a Search of a Natural Systems Sustainability Index. Ecological Economics 49. P. 401-405.
- EDP (2012). Tarifa edp casa. Informação disponível online em [<http://www.edp.pt/pt/particulares/edp/edpcasa/Pages/Tarifario.aspx>], acedido em 13 de Maio de 2012.
- ISO/TC 21929-1 (2006). Sustainability in building construction – Sustainability indicators - part1: Framework for the Development of indicators for buildings. Geneva. International Organization for Standardization.
- Lisboa E-Nova (2005). Matriz Energética do Concelho de Lisboa. Lisboa: Lisboa E-Nova. Agência Municipal de Energia-Ambiente de Lisboa.
- Mateus, Diogo Manuel Rosa; Tadeu, António José Barreto (1999). Comportamento Acústico de Edifícios. Laboratório de Construções, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- Mateus, Ricardo; Bragança, Luis (2006). Tecnologias Construtivas com Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção. Edições Ecopy: Porto. ISBN 978-989-95194-1-1.
- Meisser, Mathias (1973). Acustica de los Edificios. Editores Técnicos Asociados, S.A., Barcelona, 1973 (Tradução do título original “La Pratique de L’Acoustique dans les Batiments”, S.D.T.B.T.P., Paris.
- Pimentel, D. (1973). Food Production and the Energy Crisis. Science, 182(4111), pp.443-449.
- RCCTE (2006). Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE). Decreto-Lei 80/2006.
- PRé-consultants (2010). SimaPro 7. LCA software version 7.2. Amersfoort, The Netherlands: Product Ecology Consultants.
- PRé-consultants (2008). SimaPro Database Manual – Methods Library. Amersfoort, The Netherlands: Product Ecology Consultants.

# Urban Rehabilitation Towards Sustainability

Patrícia Oliveira

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*  
b5829@civil.uminho.pt

Luís Bragança

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*  
braganca@civil.uminho.pt

**ABSTRACT:** The sustainable concern is nowadays reflected in construction, reconstruction and rehabilitation of the building and how it can contribute to a lower environmental impact. Is intended to understand how the culture expressions forms, by the (re)construction and, of architectural styles in their inherent periods, is able to transform implicitly with creativity in the evolution of cities and societies. To reverse the amorphous urban area situation, it is necessary to intervene with sustainable geniality based on particular policies and strategies to regenerate the built space contributing to a sustainable social, economical and environmental growth and development. Why rehabilitate? What is the weight of rehabilitation on sustainability? These are some questions seeking an answer approach on the development of this paper. It is further developed as a sustainable city reference, the city of Freiburg im Breisgau, Germany, due to the implementation of reconstruction and rehabilitation policies and measures environmentally viable.

## 1 INTRODUCTION

Currently the concept of sustainable urban design focuses on energy efficiency, involving principles based on energy resources effectiveness, reducing waste and pollution, in the community configuration and structure, in their health and well-being. Notwithstanding is the implementation of a sustainable urban design plan and their own buildings, searching for the proliferation of a community independently able to support themselves using renewable energies and sustainable practices, environmentally friendly, based on people daily needs.

Nevertheless, sustainability is still perceived as an added value and not as a basic and substantial need to the cities development, maybe because of the actual mentality in most cities where the society presents itself as “lazy” and accommodated. Regarding the urban rehabilitation, the urban centres preservation and of their architectural and cultural heritage maintenance. Is breathed the need for evolution, though much more controlled and orderly than any urban area, that does not have this significant weight of the cities evolution history involve. It is also required an adequate intervention in the urban revitalization and sustainable spatiality adaptation, so that can provide life experiences and forms that are integrated into the premises currently required to society. City centres are devoid of people, it is necessary to overcome this situation and implement strategic plans for sustainable development in action. But, how play the lead role in urban growth and development according to the reality and contemporary exigency, following sustainable principles and environmentally healthy? Stimulate sustainability and implement promoting measures to the attractiveness and optimization of energetic-environmental redesign to the built means (Tirone, 2007), can be an important development solution, but should also be made according to a set of parameters that can be revitalizing to the city. The rehabilitation of urban centres must have in consideration design liability premises contributing so

to a cost reduction, of fuel consumption and reducing the pollution level in order of a better quality of life and therefore, a better environment.

## 2 IMPORTANCE OF REHABILITATION TOWARDS SUSTAINABILITY: WHY SHOULD WE REHABILITATE?

During the last decades, the cities decentralization was witnessed, in the seeking of better living conditions. The privileged in society are often able to improve their quality of life, for instance by moving to better neighbourhoods or to the countryside in order to escape from unhealthy conditions (EEA, 2009a). As consequence this factor has developed disqualifying physical, functional and built environment in the historic centres and their significant urban degradation.

What is the importance of urban regeneration in the context of sustainability? Firstly it is necessary to understand what implies rehabilitating. Rehabilitate the urban environment –public and built space – implies inhabiting existing buildings, so that they can acquire life and thus assigning movement to the public spaces. To inhabit these buildings it is necessary to recover them, providing good living conditions, space functionality and environmental effectiveness, that is, rehabilitate the existing buildings, improving their efficiency.

Built environment rehabilitation is not limited to heritage conservation factor. According to João Belo Rodeia (2009b), urban rehabilitation aims to enhance citizens life quality by improving the built environment. Therefore, the rehabilitation must be conducted with the intention of promoting spaces with effective premises to give responsiveness to current requirements and social, economic and environmental values integration. The heritage conservation and urban rehabilitation are strategic areas for Europe, due to its rich comprise cities historical culture character, and so is naturally concerned about the urban policies sustainability. The shift to more sustainable lifestyles is therefore not simply a matter of putting the environment first but also about recognizing that the economic viability of cities must built on a sustainable basis of long-term social, environmental and economic stability and equity (EEA, 2009a). It is then need to ensure the evolving mentalities so that can be available to face a new perspective on quality of life, based this time on sustainability, generating a real increase in quality of life equal to all social groups and encouraging developments so that does not prejudice the future generations. Lies with policymakers to clarify these factors in order to use them as a basis for sustainable cities development so that can effectively contribute to a urban sustainability successful strategy.

## 3 TO A SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Rehabilitation allows the reconciliation of the urban society and city centre decline, provides the social cohesion and minimizes the environmental impact caused by urban development. The Charter of European Cities & Towns towards Sustainability, usually known as Aalborg Charter, comes to show this reason, when it refers the urban sustainability principles by seeking to ensure sustainable development as a creative process, local and balanced; an urban economy that works for sustainability and where natural capital is a development limiting factor; creation of employment in according to sustainable principles whereas economic inequality is reflected in unsustainable behavior blocking the evolutionary process; development of planning policies carried out by the city itself where are shown the environmental impact assessment taking advantage of the opportunities offered by large urban agglomerations, having essentially in account the public transport services, energy supplies and, the spread of strategies to reduce the use of means of individual transport modes and stimulating the use of "environmentally friendly" transports.

The cities governors can and must boost changes in inhabitants' behavior reducing the negative impacts of urban development both in the urban sprawl and urban growth based on the automobile utilization (EEA, 2009a).

Rehabilitation permits the exploitation of resources and preexistent infrastructure and consequently reduces the consumption of raw materials, decreases the waste production from construction, and reduces also the fuel consumption for the transportation of raw materials and adjacent work materials. The regeneration allows also the neighbourhood economic revitalization as well as the replacement of the comfort associated with the security that entails each space.

According to UNESCO Director-General, Irina Bokova, (2010) the provision of equal access to social services is crucial, not only because of the social justice question but also as an essential contribution to sustainability in the urban environment. Cities dwellers have to be equally able to access, independently of their origins, to a good education quality, to a sustainable urban water supply, greener, efficiently energetic, and to a full range of cultural activities which focuses on diversity. It is necessary the implementation of integrated strategies in the urban context covering the spatial diversity of urban regeneration.

#### 4 SUSTAINABLE STRATEGIES: REUSING MATERIALS

Cities have to be reproduced and therefore change is something inherent in reality and urban condition. Cities have to follow the time progress and therefore should be attractive and provide production clusters in which people feel able to live, to experience culture, leisure and entertainment. It is needed the regeneration of the city having into consideration a new ecological dimension and in a kind of challenge, in search of the environmental impact reduction caused by the pollution from constructions and everything that comes from these. For this, reusing the existing building by itself is not enough. This is not about heritage rehabilitation by "washing building faces", in a sustainable perspective, it is also necessary to reuse the building components that are in a position to do so and providing the material recycling, applying them whenever possible in the same construction works. Paola Sassi (2006) states that to minimize the need for new materials, it is important to use the maximum of existent materials. Furthermore, the reutilization of these existent materials, reduces the impact associated to the waste elimination. The way to assure a greater extension of life to buildings is having in mind an "environmental solidarity", that is, designing carefully to promote the minor environmental impact as possible, and also formulating the building so that it can be changed functionally, relatively easily, through the own structure flexibility. The materials reutilization is always preferable to its recycling. This should be avoided whenever as possible, but when materials are not reusable or economically unviable the solution involves the inevitable recycling and this is facilitated if the materials are the purest as possible.

An eco-efficient reconstruction will bring benefits to the communities through the reduction of long-term operating costs of the construction, in the economy, biomass and fuel consumption and in the reduction of water and electricity consumption.

##### 4.1 *Focusing Passive Design*

Cities are the focus of energy and other resources consumption (EEA, 2009a) and it is exactly on the urban scale where occurs the amplification of the problems related to the energy resources consumption and on the fossil fuels conservation more conducive to the environment. Energy efficiency is part of an integrated search for a sustainable development considering the impact on regional and global atmosphere, on earth, water, vegetation, wild life and human population (EC, 1999).

Generically, the passive design strategy tries to promote good environmental performance buildings through their architecture. The architectural design provides the maximization of the solar radiation catchment for storage to use in winter heating and in the summer seeks to protect and dissipating the heat away from buildings reducing the energy consumption needs to obtain a pleasant thermal comfort in the building. In accordance with Livia Tirone (2007) over the years it was verified that human activities have changed and, what city dwellers currently require, regarding the health and comfort at home, is quite different from the reality experienced in previous decades. Also states that a traditional mediterranean house replies passive and naturally to the needs for which it was created but, may only artificially respond to the needs of an healthy and comfort required nowadays. But what affects the dwellings comfort? The comfort is affected by the air temperature, wind and his movements, the humidity and by the solar radiation. Is there a solution for such problems? Taking advantage of the same factors at the time of architectural design without thereby disturb the environment. It can be said that a building will have a

lower environmental impact when it contemplates the use of natural elements such as wind, sun, water and building materials themselves, in search of the actual comfort needs.

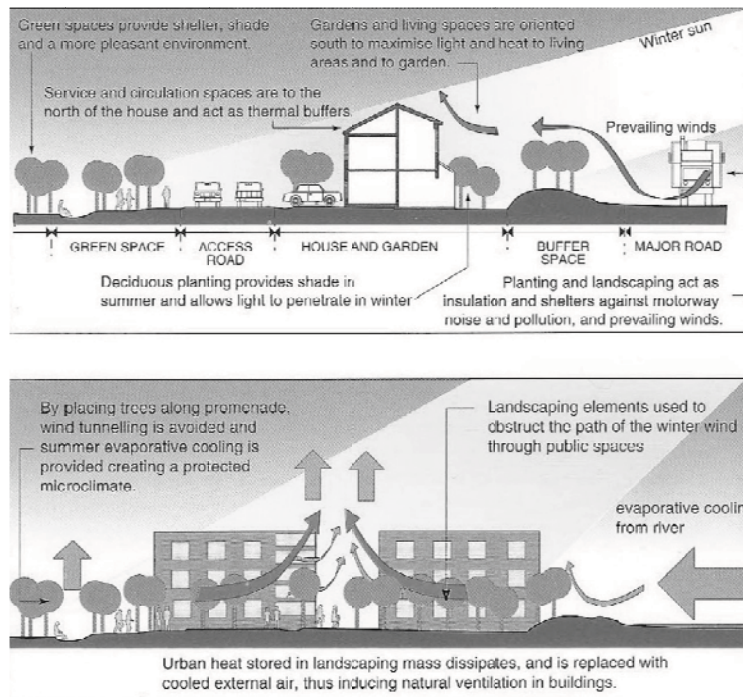


Figure 1. Some strategies for residential and commercial buildings, (source: A Green Vitruvius, 1999).

Exist in the cities a strong relationship between shapes and urban spaces, and it is convenient to use the urban design as a strategy for energetic efficiency. This premise during the urban design decision-making can allow a significant improvement in the local microclimate through the shelter creation on the excessive exposure to sunlight or wind spaces, and can also mitigate negative impacts of urban conditions (EC, 1999). Nevertheless, it is also a matter of balancing passive strategies relations, which should always be reflected through their annual performance, with other aspects of environmental fulfillment, particularly natural ventilation and lighting.

#### 4.2 Addressing Natural Light

In the urban network spaces are liable to the reception of sunlight, but in most cases city components, structures, buildings and other urban elements are causing obstruction to the direct solar radiation. In rehabilitation of the urban centres built environment is necessary to rethink current policies in order to improve the efficient natural factors use, as light, during its sustainable intervention. Location is obviously a very important factor when discusses the lighting impact in the built spaces. Urban form is the result of a complex set of pressures and influences acting on a interdependent feature: climatic, economic, social, political, strategic, aesthetic, technical and regulatory, and so urban climate differs according to the territory, territorial obstruction, which surrounds itself (EC, 1999).

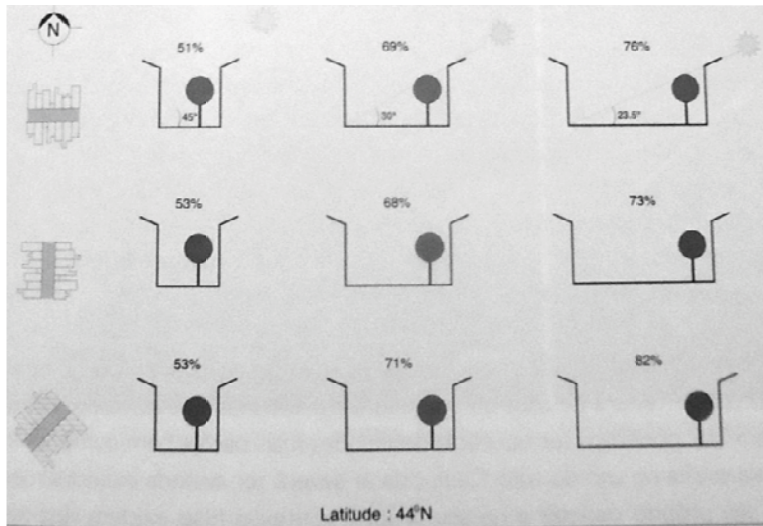


Figure 2. Solar access to buildings related to obstruction distances, (source: A Green Vitruvius, 1999).

The effectiveness of sunlight in the built environment depends on other factors of the microclimate which make this to become in a benefit or a disadvantage. Depending upon a lot of latitude to which the object is constructed, the sun can be the most important factor on their exposure or on protection during the summer. The buildings orientation and location, on spatial urban plan constitutes a conditioning factor on urban centres rehabilitation since neither all of the city configuration is provided with a good location in relation to sun exposure and therefore it is necessary to complement and appeal in order to take advantage of all natural elements to optimizing the building energy performance. It is not possible to outline specific rules generalizing to intervention cases, it is necessary to implement them in the cities. These range in terms of latitude, altitude, in the own climate and therefore also vary the climacteric conditions. In the building, the amount of natural light available inside varies depending on the position of the same territory, by the degree of shading that it is subject to, for the disposal landscape in the surrounding and for the exterior finishes that the buildings presents (EC, 1999).

The clear soil and adjacent building surfaces increase the light amount available inside of the buildings for many reasons, being the most evident by conduction, which according to Rafael S. Florensa (1995) this type of illumination are spaces also understood as non-habitable spaces designed specifically to conduct the solar radiation to certain areas of the building, and for the own surfaces reflection. The incident natural light on built space as a great influence on the visual and comfort quality of the same. Light can be captured through several solutions or mechanisms, and is mentioned as example the skylights, door banners glass, domes or even reflective blades among others. In the existing building, is necessary to rethink, in many cases, how the natural light can reach an area with greater amplitude.

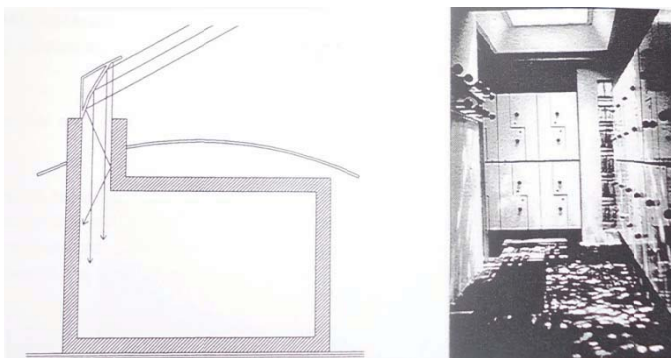


Figure 3. Example of illumination by conduction, (source: Florensa, 1995).

In the public space rehabilitation, care falls on the trees placement. These elements, when they do not have a well planned position, are reflected in a reduction of the light transmission even if they are native and deciduous elements. To prevent this fact, the ideal would be to locate trees on the building southern slope taking into account their height and distances they may have to the built facades. The solar exposure should contribute to the energy storage and exploitation of consumption not only for the building consumption, in the case of direct and indirect solar gains, but also to generate consumable energy to the distribution on a network for the society consumption. Why not take the urban regeneration and create a platform of solar energy to serve the city? As did Freiburg im Breisgau, Germany, after the bombing suffered during the world war, in the reconstruction of urban and planning of renewable energy.

## 5 ANALYZING FREIBURG

Like many other European cities the urban center of Freiburg was bombed during the II World War resulting in the destruction of almost 80% of the old city being rebuilt according to the preexistences of the old historical style. By 1970's, Europe suffers with the oil crisis, that has paralyzed a few countries, and to this joined the fact of the being planned a nuclear power plant to built at 30km from Freiburg. This fact generated considerable protests against the construction of the plant after the Chernobyl nuclear accident. Of this protest has resulted in the raising awareness about environmental problems within the Freiburg community. This is how the city takes the status of the ecological capital of Germany and becomes Europe most prominent solar city (Dauncey, 2003). It was necessary to reconstruct the city and tackle the nuclear power. Freiburg has traced firstly policies matching three fundamental principles based on energy conservation, in the utilization of technologies based on heat and power and finally the implementation of renewable energy use, creating their own sources, in order to meet the energy current needs and lowering the need of fossil fuels. With the Kyoto Protocol, Freiburg also committed itself to lower CO<sub>2</sub> emissions by about 25% of the values registered by 2010. In addition to Freiburg solar activities, the city has had several other environmental initiatives. A cycling plan was drawn up in 1970, and the city has over 500 km of bicycle paths (WWF, 20008).



Figure 4. Freiburg city center, (source: Petith, 2008a ).

Regarding to the built, Freiburg has bet into the city rehabilitation with some measures previously planned to optimize buildings energetically. It was necessary to implant thermal insulation

for increase the thermal comfort inside of the buildings, regulate the energetic efficiency in the new constructions, and implement “winter gardens” and bay windows to promote the greenhouse effect and the planning of solar panels during the new construction project. But the measures taken by the Freiburg municipality do not stop here. The old town centre became car-free in 1973, and in 1990, a 30 kph zones was introduced for almost all residential streets, except main roads. Freiburg introduced a low-cost flat-rate monthly "environment ticket" for the region-wide bus service in 1991, and there has been a 100% increase in people using public transport since 1980 (Dauncey, 2003). It is doubtful to say that the most important step to take is the encouragement of the rulers, urban planners, city planners and residents to change their strategy in the design and in the new buildings construction, encouraging a more sustainable community lifestyle and a well-being.

## 6 FINAL CONSIDERATIONS

Changing attitudes alongside with the changing of societies needs is an important factor for the environment improving. The prejudice lived in many European cities blocks the sustainable communities' development. The climatic effects are reflected in the direct consequences for people health and performance. It was intended to understand during this paper development how to contribute to develop an urban areas regeneration strategy based on sustainability factors through treaties and letters, searching for measures to a better environment. The challenge ahead is to improve energy efficiency in the buildings rehabilitation and public spaces boosting structures and materials reuse wherever as possible. Therefore, it is intended to contribute to the utilization of existing elements as a source of construction. It is necessary to introduce issues directly connected with the society, as is the case of sociology and economics, so that these elements become focal points members of the city thought and it should be implicit in its planning. It is not wanted the distortion of the cities, what is wanted is their rehabilitation to allow their own revitalization and therefore, it is demanded that the perspective of urban spaces suffers the lower image damage as small as possible. Rehabilitating thinking about tomorrow, about sustainability and in the most natural way to apply it, using renewable energies and design techniques that allows the non-usage of fossil energies and mechanical means to the heating, cooling, lighting and ventilation in the built environment. Such as has been Freiburg in the strategic measures implementation in favor of a more sustainable mobility, energy consumption and life quality, it should be currently insist on the urban network and in their own building and how is their regeneration treated to take advantage of what the preexistence has to offer, making environmentally friendly cities, not only on the built but also in a healthy relationship between societies and built spaces and the way societies view the sustainability factor.

## REFERENCES:

- Boskova, I. 2010, *How can we create sustainable, inclusive and Life creative cities in today's urban age?* Speech at the occasion of Shanghai World Exposition 2010 available online at <http://www.unesco.org/new/en/shanghai-world-expo-2010> checked on 31-01-2012.
- Cerón, M. P. A. 2008, *Arquitectura y clima*. México: available online at <http://www.arquitecturasostenible.com.mx/investigacion.php> checked on 29-01-2012.
- Dauncey, G. 2003, *Freiburg solar city*. Victoria, B.C: available online at [http://www.solarregion.freiburg.de/solarregion/freiburg\\_solar\\_city.php](http://www.solarregion.freiburg.de/solarregion/freiburg_solar_city.php) checked on 01-02-2012.
- European Environment Agency. 2009a, *Ensuring quality of life in europe's cities and towns: Tackling the environmental challenges driven by European and global change*. Copenhagen: Schultz Grafisk, available online at <http://www.eea.europa.eu/publications/quality-of-life-in-Europes-cities-and-towns> checked on 01-02-2012.
- European Commission. 1994, *Carta das cidades europeias para a sustentabilidade*. Aalborg, available online at [http://ec.europa.eu/environment/urban/pdf/aalborg\\_charter.pdf](http://ec.europa.eu/environment/urban/pdf/aalborg_charter.pdf) checked on 01-02-2012.
- European Commission. 1999, *A Green Vitruvius-principles and practice of sustainable architectural design*. Earthscan.
- Florensa R. S. & Roura H. C. 1995, *arquitectura y energia natural*, Barcelona: Ediciones UPC.

- Petith, T. 2008a, *Sustainable City – Freiburg* report. Available online at <http://madisonfreiburg.org/green/sustainablecity.htm> checked on 31-01-2012.
- Purvis, A. 2008b, *Is this the greenest city in the world?* The Guardian article history available online at <http://www.guardian.co.uk/environment/2008/mar/23/freiburg.germany.greenest.city> checked on 31-01-2012.
- Rodeia, J. B. 2009b, *A Reabilitação Urbana parece ter entrado finalmente na ordem do dia em Portugal*, Amadora: IMPRESSÃO Ligrate, Atelier Gráfico, Lda, available online at <http://arquitectos.pt/?no=2020492638,154> checked on 31-01-2012.
- Sassi, P. 2006, *Strategies for Sustainable Architecture*, Oxon: Taylor & Francis.
- Tirone, L. & Nunes K. 2007, *Cosntrução sustentável* soluções eficientes hoje, a nossa riqueza de amanhã. Lisboa: Tirone Nunes SA.
- WWF. 2008c, *Freiburg in a pathway towards a sustainable city*. Finland: available online at [http://www.wwf.fi/wwf/www/uploads/pdf/sustainable\\_model\\_city\\_freiburg\\_in\\_germany.pdf](http://www.wwf.fi/wwf/www/uploads/pdf/sustainable_model_city_freiburg_in_germany.pdf) checked on 01-02-2012.

# Efficiency Towards Urban Systems

Susana Vieira

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*  
*susanamachado.vieira@gmail.com*

Luís Bragança

*University of Minho, School of Engineering, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*  
*braganca@civil.uminho.pt*

**ABSTRACT:** Processes and expansion related to urban development put pressure on their natural environment. This pressure is translated into negative consequences for ecosystems, such as climate change, the reduction of the ozone layer and consequent loss of ability to absorb anthropic impacts from support system. The volume of emissions and impacts on support systems depends directly from the lifestyles of citizens and the management model of each city, the urban organization. This essay explores two attitudes towards the urban system, an interventional approach that seeks to optimize exploited resources, and a proactive approach, to reduce the consumption of natural resources, reaching the energy efficiency of cities and, simultaneously, reducing the inherent ecological footprint. The aim is to understand how the destructors phenomena can be reversed in order to correct and stabilize the deterioration caused upon the support system and how to plan and rehabilitate urban systems in order to reduce environmental impacts.

## 1 INTRODUCTION

Current urban context concerns the extent of the risks cities are exposed to, as a result of their expansion. Cities become the largest consumers of energy and the biggest polluters of the world, they are unsustainable organisms in the landscape, devouring and contaminating it. Population growth of cities has greatly enhanced; between 1950 and 1990 the urban population has multiplied by ten, rising from 200 million to 2000 million (Rogers, 2000), thereby leading to its development/expansion.

Urban development has the effect of modifying the conditions of cities, which if not properly reflected upon can cause significant, permanent and destructive effects on the environment. The preference of people for urban areas implies greater land use, construction, infrastructures and traffic congestion increase; consequently, these places become consumers of large amounts of energy and generators of waste and pollution, emitting gases into the atmosphere therefore destroying biodiversity and the urban ecosystem. The survival of society depends on healthy balance between the variables of population, resources and environment.

While reflecting upon the effects that cities have on the world it becomes urgent to reverse its impact, in order to absorb the amount of people and continue to ensure adequate conditions. Strategies to reduce environmental changes are needed when planning a city, these include worries on waste production and consume of natural resources like water, vegetation and soil; urban design skills should enforce sustainable policies in order to reduce the energy waste and its impact in the world. Cities should be planed to absorb the urban growth while being sustainable, offering living adequate conditions without mortgaging ones future or those of coming generations.

## 2 URBAN METABOLISM

Urban metabolism is a process of exchange between the city and its surroundings - its support system; the relation between the two entities is mediated by each city management model.

Cities operate on their support systems, extracting materials and energy and putting pressure on it; this exploitation has an impact on the natural environment and on its natural resources, according to the intensity of exploitation and the fragility of the environment. The materials and energy arrive in town in the form of raw materials or consumer goods in order to maintain and improve the organization of the urban system, its complexity. At the other end of the process, the city emits organic and inorganic waste, air pollution, chemical effluents and require a natural area capable of assimilating them. Impact areas, such as those created by either resource extraction or by waste deposition, form the local footprint. The flows and resource consumption are regulated by the models of urban organization, which determine the degree of environment exploitation and the impact that urban system will have on the support system (Image1).

This process is likely to become unsustainable if we do not consider two important aspects: the reduction of pressure on the support systems (E) and the increase of urban organization (H), represented by diversity (Rueda, 2002). This relation can be represented by the equation  $E / H$ , which is more efficient the smaller the E and the higher the H.

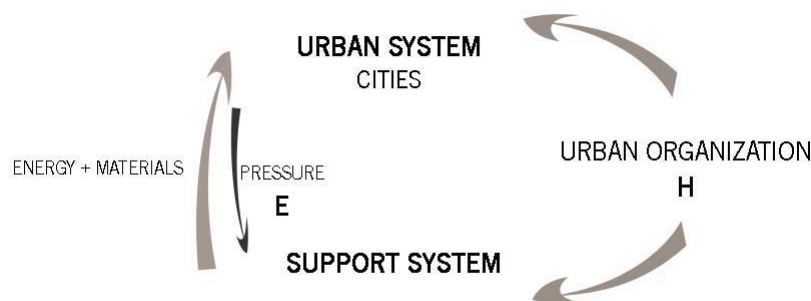


Image 1. Scheme: relation between E and H

Urban systems put pressure on their support systems, either by the extraction of natural resources for the entry of materials and energy, whether by waste deposition contaminants in the environment. Reducing the pressure on the support system is the leading way to a more efficient city and it depends on the organization of urban systems (Rueda, 2002).

E, as one can see at image 1, stands for a variable responsible for the pressure on the support systems, as such, one needs to increase information to correct the behavior of current excessive consumption of resources. In order to reduce this variable and obtain a more energy efficient urban system, it is necessary to define strategies to decrease energy consumption. These strategies should be defined in urban planning while considering the passive behavior of buildings, bringing them closer to energy self-sufficiency within thermal comfort and illumination, considering the orientation and insulation of buildings, the characteristics of walls and their linings, favoring outside shadowing, cross ventilation, obtaining better energy efficient results. The transport must be planned in an intermodal system and well connected, as well as city streets, providing a favorable mobility and reducing the need for motorized transport, encouraging green transport such as walking or cycling. Public spaces should also be planned taking into account the passive strategies of comfort and lighting, to reduce spending. Models of urban organization should consider the energy spent on waste and water management, seeking a method capable of balancing the resources (Rueda, 2002).

H, on the other side of this relation at image1, refers to the urban organization, in other words, its ability to prevent deterioration of ecosystems through better use of resources and reuse programs; urban organization relates to the concept of diversity or complexity based on the synergy between the multiplicity of urban uses and functions, pathways and elements of the city, providing better conditions for agglomeration and urbanization.

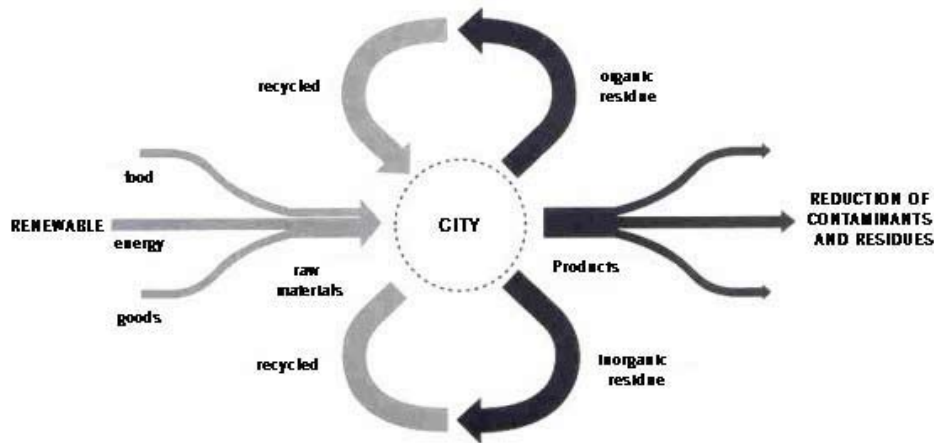


Image 2. Cyclic Urban Metabolism (source: image adapted from Rogers, 2000)

The urban organization (H) is related to the concept of cyclic urban metabolism, by Herbert Girardet, and argues that the consumption of energy (E) is reduced by improving performance and increasing the re-use of resources. The urban system should organize itself around the recycling of materials, cost reduction and conservation of non-renewable energy, taking advantage of renewable energy; it is a cycle process of use and re-use that increases the city income and reduces its impact on the environment, i.e., in its support system (Rogers, 2000). Throughout the process of cyclic urban metabolism, material and energy input in cities is reduced, as is the waste deposition and pollution of the atmosphere. Part of the waste produced by the urban system is treated, recycled and reused as raw materials while the other part is used for energy production, thus constituting a cyclical process. Hence it is possible to reduce the impact on the support system either by the extraction of resources, whether by waste disposal, reducing the ecological footprint.

### 3 INTERVENTIVE ATTITUDE: INCREASING THE H

To increase the variable H is to increase ability of the city to organize itself. It is necessary to adopt measures to promote energy saving and still maintain the efficiency of the city. A shared vision is needed, considering the components of the city as the principal agents, and getting the most out of them, trying to preserve the support system; its all about considering the urban system and its environment, as well as their interactions, understanding the problem and seeking appropriate solutions.

#### 3.1 Efficient Urban Models

Energy is fundamental to the functioning of urban systems, these consume more or less energy depending on the building typologies, on the models of mobility and on the technology and efficiency of the city model, it should move towards increased efficiency.

A dense and compact city model is the one which allows a better relation of both variables E and H. This model is associated to urban sustainability, allowing social, ecological and economic advantages, increasing energy efficiency, reducing resource and energy consumption, producing less pollution and avoiding the consumption of rural land (Rueda, 2002), providing a more stable system. The concentration of different activities into a limited area allows more efficient use of the city. It is important to mention that the more a city expands, less profitable becomes their public transport system and citizens become more dependent on motor vehicles.

An efficient city model promotes mobility and accessibility of its citizens, favoring and encouraging the use of green transport, balancing the use of public spaces and favoring pedestrians and community life. Another relevant point to the efficiency of an urban system is the planning of public spaces and green areas, those related to the amortization of environmental noise, absorption of carbon dioxide, mitigation of the pollution and production of oxygen, absorbing rainfall, and increasing the diversity of fauna and flora.

## Compact and mixed-use cores reduce the need to travel and create sustainable neighborhoods, full of vitality.

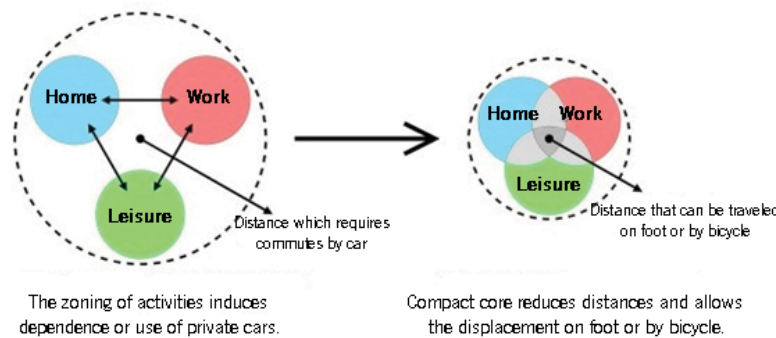


Image 3. Models of Compact and Dispersed City (source: image adapted from Rogers, 2000)

A city based on a core compact model facilitates the clear separation of rural areas, allowing a contrast to the complex natural systems, forming a different structure that provides the necessary balance between exploration and succession.

### 3.2 Urban Efficiency at Three Levels

Speaking of efficiency means speaking about the relationship between expended effort and obtained results; in this case, energy efficiency provides a measurement through which we can quantify the power supplied (E) to the urban system (removed from the support system), and the energy or well being that the urban system can produce, through urban organization (H). This relation continues to be represented by the equation  $E / H$  in the same terms mentioned above.

In the scope of environment rehabilitation and preservation, energy efficiency is the optimization of the urban system or of its diversity (H) using the least resources possible (E), re-using and availing them to the fullest. In this context three levels of the city can be considered (rooftop, surface and underground) as exploitable bases, permitting a full advantage of each layer (Rueda, 2002). Most development plans are only concerned with the surface level, neglecting the top level constituted by the rooftop, and the underground level.

The considering of all three levels of planning is related to the profitability of the entire city space, considering the capacity of its elements to collect, use and accumulate energy. The top level of the city is its buildings rooftops and can be used as the energy pickup level; one can install at this level micro wind turbines, photovoltaic systems, solar thermal systems, rainwater collection with the aim of capturing power for later use of the urban system. Still at this level, a new layer of biodiversity, consisting on green roofs can be created, and can be related to the surface level, contributing to the reduction of temperature and absorption of emissions (Rueda, 2002).

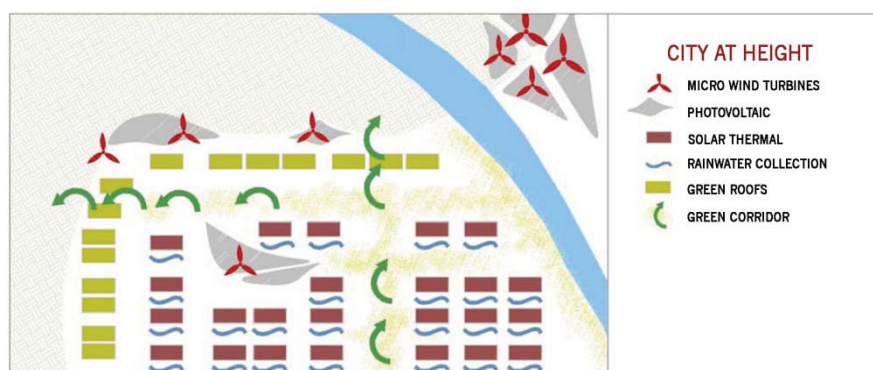


Image 4. City at Height (source: image adapted from Rueda, 2002)

The surface level is the most explored in urban planning, this layer is related to the consumption of resources and with the realization of urban life. Also at this level one can apply strategies to minimize the impacts, such as land use management in a compact urban system, planning of green and pedestrian routes, increased public and ecological transport and bioclimatic control through the planning of vegetation, water and shadows zones, even defining soundproofing and green facades strategies. Regarding urban design, cities should be designed to improve insulation and reduce spending on air conditioning.

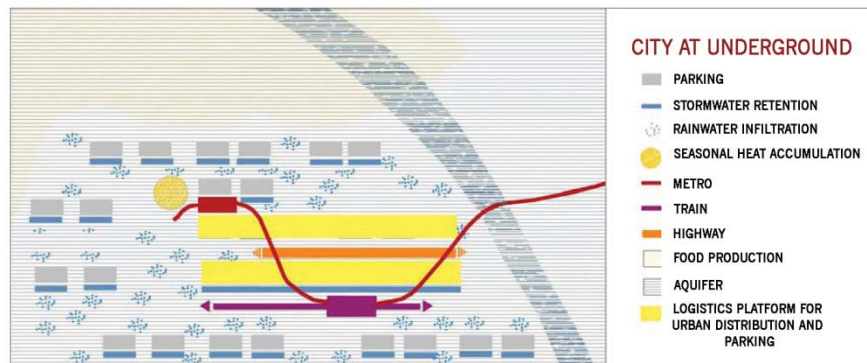


Image 5. City at Underground (source: image adapted from Rueda, 2002)

The underground level plays a decisive role related to the accumulation of unused energy and with the urban distribution and parking logistics. At this level, parking solutions and mobility infrastructures for public transport and for urban distribution routes (tunnels) can be developed, helping the mobility at the surface and releasing these soils for community life. This layer plays a key role in waste management through sub-soil solutions and as storage of energy captured on top level as the rainwater deposits or the seasonal heat; this level is also important in the context of the infiltration of rainwater, avoiding its excess accumulation in the surface (Rueda, 2002).

The relation between layers is obvious, an integrated planning of the three dimensions can bring benefits by making production processes more efficient and releasing part of the support system, moving towards a sustainable development.

#### 4 PREVENTIVE ATTITUDE: REDUCING THE E

On the one hand the urban system should be able to organize itself in order to reduce and reuse the amount of waste it produces, on the other to define strategies to reduce consumption of natural resources, using recycling and reuse of sources techniques and taking advantage of renewable energy, increasing the efficiency of the urban system. The implementation of sustainability in the city requires a change of citizens habits as well as its ways of thinking in order to minimize the strength of the impacts in general.

##### 4.1 Reducing Ecosystems Disturbance

In this sense it is necessary to reduce pressure on the ecosystem (E). The planning of a city (urban system) should be accompanied by the use that it has upon its support system. The established relation between the two systems should be studied and planned in order to provide a maximum resource efficiency and minimum disruption of ecosystems (Rueda, 2002 - efficiency). Articulating energetic degradation and the transformation of materials with the renewable energy flows and recycling and reuse techniques are the way to a reversal of the deterioration of support systems.

According to the cyclic model of metabolism, waste produced by the urban system should be recovered and re-entered in the urban system in the form of compost, raw materials or energy (Vendramini, 2005).

Also the use of overblown and irresponsible drinking water leads to the concern about the depletion of this resource. Drinking water should be used only for functions that require its qualities, other activities should be carried out with lower quality water. Urban planning should include strategies for the reuse of stormwater and wastewater for non potable uses, meeting the concerns of sustainable conservation of drinking water in urban areas. Strategies in this area al-

low you to increase water resources and reduce the required flow of treated wastewater discharged in the receiving water resources, protecting ecosystems and reducing the amount of pollutants released to the environment, it also facilitates public drainage systems and wastewater treatment, and a lower consumption of this resource.

The reduction in power consumption translates into greatly reduced disturbance of the support system, however this change requires a complete transformation of the current energy crop, which means understanding the changes of regional planning, urbanism, architecture, water management, waste, mobility, in other words, the urban reality (Rueda, 2002b). This change can be based on increasing energy efficiency so that they underestimate the losses, seeking a balance between the amount of energy produced by renewable and nonrenewable sources, maximizing the production of clean energy with less pollution effects, it is important to adopt appropriate ways of life for citizens, consuming less energy.

The atmospheric pollution is a direct consequence of energy consumption, factors such as increased traffic and the expansion of cities throughout scattered models are responsible such. This type of pollution has negative consequences on urban systems such as heat island effect, global warming and the reduction of the ozone layer. Reducing the exploitation of urban systems to their support systems is one goal to achieve.

## 5 FINAL CONSIDERATIONS

The current development of most of the cities is moving towards unsustainability, the increase in urban population means a greater exploitation of resources, leading to a situation of imminent breakdown. In this sense, cities should be rethought looking to minimize negative impacts and decreasing the degradation process. Action should be taken to reduce these impacts, considering the city as an ecosystem, defining principles and rules that dictate the operation of the urban system and move towards reducing the ecological footprint.

This paper is based on the relation between two variables, E and H, which define two attitudes needed in the urban development process, an attitude of prevention related to the reduction of exploitation of the support system, and an attitude-based intervention upon organizational systems designed to monetize the urban system. These attitudes are related and together seek to achieve a model of urban organization more sustainable, more efficient and more capable to absorb growth without degrading your support system.

While analyzing the urban metabolism of an urban system it is possible to see how each society uses energy, materials, water and soil for their maintenance and reproduction, and see where action is required; it is a valid tool for assessing the sustainability the cities. The cyclic process of metabolism can serve as a guide to support the planning of cities, favoring energy efficiency conditions and reducing consumption of resources: soil, water, materials and energy, minimizing waste flows and the incorporation of the cyclic idea - cyclic metabolism - on the processing of materials and energy moving towards a change of attitude (Rueda, 1995). The purpose of this paper was to provide an overview of the mechanisms to take into account when planning or rehabilitating a city, while reducing their environmental impacts, reversing the current situation, moving towards sustainable development.

## REFERENCES:

- Rogers, Richard; Gumuchdjian, Philip. 2000, *Ciudades para un pequeño planeta*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Rueda, Salvador. 1995, *Ecología Urbana. Barcelona i la seva regió metropolitana com a referents*. Beta Editorial.
- Rueda, Salvador. 2002, *La eficiencia energética en la planificación urbana* in Barcelona, ciudad mediterránea, compacta y compleja: una visión de futuro más sostenible. Barcelona: Ayuntamiento de Barcelona ; Agencia de Ecología Urbana.
- Rueda, Salvador. 2002b, *Eficiencia* in Barcelona, ciudad mediterránea, compacta y compleja: una visión de futuro más sostenible. Barcelona: Ayuntamiento de Barcelona ; Agencia de Ecología Urbana.
- Vendramini, Paula; Bruna, Gilda; Marques, Juliana. 2005. Fragilidade ambiental das áreas urbanas: o metabolismo das cidades in *Arquitextos*, 05.059, São Paulo: Vitruvius <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.059/472>>.

# Aplicação do Sistema de Avaliação SBTool<sup>PT</sup>-H na otimização da sustentabilidade de um caso de estudo em Guimarães

Fernando Mota, Joana Gonçalves, Michael Loureiro, Paulo Mendes

*Universidade do Minho, Escola de Arquitectura, Guimarães, Portugal*

*mota\_462@hotmail.com, joanadarq@live.com.pt, mico\_loureiro@hotmail.com, pjkm21@gmail.com*

Ricardo Mateus, Luís Bragança

*Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Guimarães, Portugal*

*ricardomateus@civil.uminho.pt, braganca@civil.uminho.pt*

**RESUMO:** O contexto presente alerta para a necessidade de repensar o atual modelo de consumo: a escassez de alguns recursos naturais, nomeadamente combustíveis fósseis e matérias-primas, e a consequente escalada de preços, tornam-se insustentáveis tanto a nível ambiental, como económico e social. A prática de uma construção sustentável é um dos passos mais importantes para fazer face a esta situação. Neste sentido, torna-se essencial a utilização de ferramentas que, durante a fase de projeto, permitam compreender os impactos associados às diferentes alternativas de projeto. O sistema de avaliação SBTool<sup>PT</sup>-H é uma importante ferramenta para os projetistas no sentido de se projetar com base nos princípios do desenvolvimento sustentável. Neste artigo apresenta-se a aplicação do sistema SBTool<sup>PT</sup>-H na otimização da sustentabilidade de um caso de estudo.

## 1 INTRODUÇÃO

Em 1987 o Relatório Brundtland define desenvolvimento sustentável como «o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazerem as suas próprias necessidades» (CMMAD, 1987), afetando não apenas a dimensão ambiental mas também as dimensões social e económica.

Em 1996, Herman Daly afirmava «No novo modelo económico o progresso não pode ser visto como a expansão quantitativa mas terá que ser visto como a melhoria qualitativa que assenta no facto de o sistema terrestre ser finito, não crescente e materialmente fechado» (Daly, 1996). No entanto, os dados da última década demonstram que ainda não houve uma tomada de consciência efetiva da necessidade de preservação dos recursos e do território. Em 2008 o consumo mundial de energia primária foi de 11 294,9 milhões de TEP (Toneladas de Petróleo Equivalente), o que representa um aumento de 1,7% face ao ano anterior. Desta energia, a esmagadora maioria (88%) corresponde a energia fóssil, não renovável e causadora de gases de efeito de estufa, nomeadamente petróleo, carvão e gás natural, sendo que a energia hidroelétrica aparece apenas em quarto lugar, correspondendo a 6% do total do consumo energético. Isto, apesar de as recentes crises económicas e petrolíferas terem ajudado a diminuir a escalada no consumo e levado a repensar o modelo energético global, atualmente ainda muito dependente do petróleo. Em Portugal, esta fonte de energia representa ainda 61% do consumo nacional de energia primária (Andrade, 2010), apesar de a radiação solar na zona mediterrânica ser extremamente favorável à produção de energia solar e de os ventos na Europa apresentarem grande potencial para produção de energia eólica (Tirone, 2012).

Paralelamente a esta situação, cerca de metade da população mundial vive em cidades, valor com tendência a aumentar nas próximas décadas (ONU, 2001), tornando urgente a necessidade de planeamento urbano e de regulamentação da qualidade da construção, para uma melhor gestão dos recursos. Evitar a construção massiva em desfavor das áreas com vegetação pode,

por exemplo, dar lugar ao efeito conhecido como «ilha de calor», aumentando as necessidades de arrefecimento artificial e, consequentemente os consumos energéticos, contribuir para o efeito smog e para o aquecimento global e ser nocivo para a saúde humana, como refere Kibert (2005).

Acresce que a indústria da construção é uma das mais representativas na economia mundial, correspondendo a 28,1% do emprego na indústria da União Europeia, mas também a que está associada a maiores impactes ambientais, pois é responsável por cerca de 30% das emissões de carbono e pelo consumo de mais matérias-primas, 50% acima de qualquer outro sector (Fernandes & Mateus, 2012). Segundo alguns autores, 40% da energia é utilizada para operar edifícios e o sector da construção é responsável por cerca de 50% dos materiais retirados da crosta terrestre (Tirone, 2012), tornando-se premente repensar o modo de construir, dando resposta ao novo paradigma da atualidade: desenvolvimento sustentável.

Face a esta problemática é essencial que, desde a fase de projeto, se repense a necessidade de ordenar o território, economizar água, maximizar a durabilidade do edifício, minimizar a produção de resíduos, optar por materiais eco-eficientes, implementar medidas de aproveitamento de energias endógenas e planejar a conservação e eventual desmantelamento da construção. Para atingir estes objetivos, a metodologia SBTool<sup>PT</sup>-H (Mateus & Bragança, 2011) revela-se uma importante ferramenta de projeto, mais do que de avaliação final, como se pretende mostrar no caso de estudo.

## 2 APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

O caso de estudo consiste no projeto de arquitectura de um módulo habitacional unifamiliar de tipologia T2, a implantar no vazio urbano existente entre as Avenidas D. João IV e Afonso Henriques e a Rua da Caldeirôa, em Guimarães, nas imediações das antigas fábricas Cavalinho, Herculano e Pimenta e Fábrica da Caldeirôa, hoje abandonadas (figura 1), na zona conhecida como Vale de Couros.

Trata-se de um terreno a cerca de 40 km da costa; a Norte e a Este confronta com construções existentes de cêrcea mais elevada, a Sul e a Oeste encontram-se árvores de grande porte. O aglomerado edificado envolvente é de média densidade, predominando as construções industriais, maioritariamente desactivadas, e algumas habitações unifamiliares.

O vale de Couros, no limite da cidade turística, mas ainda numa zona central de Guimarães, foi sendo urbanizado ao longo dos séculos pela sua proximidade com a ribeira de Couros, potenciadora da indústria de curtumes, adaptada com o tempo à indústria têxtil. A expansão para a periferia e a deslocalização da indústria levaram ao abandono gradual da zona, conduzindo ao seu envelhecimento e degradação, tornando-se numa zona esquecida da cidade. O seu valor patrimonial, mas também a sua localização estratégica, próxima tanto do centro histórico como da estação ferroviária e dos nós de acesso à variante, tornam o vale de Couros um bom exemplo do potencial de reabilitação das cidades. A estes factores associa-se uma grande área de vazios residuais, fruto do não planeamento urbano ao longo dos tempos, que deixam em aberto a possibilidade de uma ocupação em consonância com os diferentes extractos da História da cidade.

Redinamizar estes vazios urbanos, devolvendo-os à cidade, evitando a tendência de fuga para as zonas periféricas, permitiria maximizar o aproveitamento das infra-estruturas e das redes de comunicações, entre outros recursos já aplicados no lugar, potenciando comunidades mais integradas e sustentáveis, ao reduzir as necessidades de deslocação dos habitantes e estimulando a utilização de transportes públicos ou a circulação pedonal, com claras repercussões não só ao nível ambiental, mas também social.

Ainda que para efeitos do estudo se tenha considerado apenas um módulo, propõe-se, a título de exemplo, uma solução de implantação para duas habitações em banda (figura 2), que poderia ser desdobrada numa ocupação mais extensa de todo o lote. Assim, para efeitos de avaliação, contabilizou-se apenas uma área de 300 m<sup>2</sup> por habitação.

Dada a grande dimensão do lote, com cerca de 45 000 m<sup>2</sup>, procurou-se a implantação num lugar que garantisse simultaneamente facilidade de acesso, topografia adequada à construção, oferecendo à partida um menor declive, menores níveis de ruído e melhor exposição solar mas também sombreamento, protecção contra ventos e maior privacidade tirando partido da massa

arbórea existente. Assim, a entrada efectua-se a Norte/Nordeste, à cota 175, pela Rua da Caldeirôa, orientando os principais envidraçados da habitação a Sul/Sudoeste.



Figura 1. Zona de Implantação



Figura 2. Implantação de dois módulos de habitação

### 3 METODOLOGIA

A avaliação e otimização do caso de estudo baseiam-se no módulo de habitação da ferramenta internacional SBTool, adaptado à realidade portuguesa pela Associação iiSBE Portugal. Informações mais detalhadas sobre a metodologia encontram-se em Bragança & Mateus (2009). Nesta fase do processo de avaliação, não foram considerados os parâmetros referentes à Dimensão Económica da construção, centrando-se a avaliação em 20 parâmetros relacionados com as dimensões ambiental e social, cujas categorias são especificadas a tabela 1, abrangendo todo o ciclo de vida do edifício, desde a sua implantação à desconstrução, passando pela fase de utilização.

Tabela 1. Dimensões e respetivas categorias da sustentabilidade na metodologia SBTool<sup>PT</sup>

| Dimensões da Sustentabilidade | Categorias                                             |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Ambiental                     | C1 – Alterações Climáticas e Qualidade Ar Exterior     |
|                               | C2 – Uso do solo e biodiversidade                      |
|                               | C3 - Energia                                           |
|                               | C4 – Materiais e Resíduos Sólidos                      |
|                               | C5 - Água                                              |
| Social                        | C6 – Conforto e Saúde dos Utilizadores                 |
|                               | C7 - Acessibilidades                                   |
|                               | C8 – Sensibilização e educação para a Sustentabilidade |
| Económica                     | C9 – Custos de ciclo de vida                           |

Depois de uma primeira avaliação da sustentabilidade da solução base, apresentada no capítulo 4, procurou-se encontrar soluções para a optimização do projeto, apresentadas no capítulo 5. Ainda que se apresentem, sempre que possível, propostas de optimização para os parâmetros considerados, este estudo dá particular destaque ao Parâmetro 1, *Impactes Ambientais das Soluções Construtivas*, por se considerar que este terá grande influência nos restantes parâmetros, ao nível térmico, de qualidade do ar interior ou certificação de materiais, por exemplo.

#### 4 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DA SOLUÇÃO BASE

A solução base e respetiva avaliação são apresentadas na tabela 2, juntamente com uma curta descrição da importância e aplicação de cada parâmetro considerado. Para cada caso é assinalado ainda se o parâmetro foi sujeito a otimização ou se, por impossibilidade ou menor relevância para o caso de estudo, o mesmo não foi considerado. Na referida tabela são ainda discutidos alguns fatores de valorização ou possibilidades de melhoria.

Tabela 2. Avaliação da sustentabilidade da solução base

| Categoria                                                     | Parâmetro                                                                             | Aplicação                                                                                                                           | Solução base                                                                                                                                                                                                                       | Classe   | Optimiz.                                                       |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------|
| <b>C1</b><br>Alterações climáticas e qualidade do ar exterior | <b>P1</b><br>Valor agregado dos impactos ambientais de ciclo de vida                  | - Durabilidade<br>- Toxicidade<br>- Energia incorporada<br>- Potencial de reutilização e reciclagem                                 | - paredes exteriores com fachada ventilada, isolamento em XPS e tijolo cerâmico<br>- cobertura com laje de vigotas pré-esforçadas<br>- piso térreo com isolamento e soalho de madeira<br>- paredes interiores de tijolo com reboco | <b>C</b> | Sujeito a otimização                                           |
|                                                               | <b>P2</b><br>% de utilização do Índice de Utilização Líquida disponível               | - preservar o recurso finito território<br>- reduzir as necessidades de infra-estruturação                                          | - dois módulos numa vasta área de implantação                                                                                                                                                                                      | <b>E</b> | Multiplicação dos módulos permitiria uma ocupação mais extensa |
|                                                               | <b>P3</b><br>Índice de impermeabilização                                              | - absorver águas pluviais<br>- conservar a natureza e ecossistemas<br>- controlar as cheias.                                        | - solução de cobertura convencional<br>- pavimentos exteriores impermeáveis                                                                                                                                                        | <b>C</b> | Sujeito a otimização                                           |
| <b>C2</b><br>Uso do solo e biodiversidade                     | <b>P4</b><br>% da área de intervenção previamente contaminada ou edificada            | - contrariar a progressiva destruição de habitats naturais e o equilíbrio ecológico de zonas envolventes.                           | - inserindo-se num dos vazios urbanos deixados residualmente na malha da cidade, ocupa, para efeitos de avaliação, terreno considerado virgem                                                                                      | <b>D</b> | Permite a reestruturação urbana da zona da cidade.             |
|                                                               | <b>P5</b><br>% de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones                        | - contribuir para maior equilíbrio ecológico e sustentabilidade do meio construído.<br>- Combater o efeito ilha de calor que causa: | - não foram previstas quaisquer soluções de ajardinamento e integração de vegetação                                                                                                                                                | <b>D</b> | Sujeito a otimização                                           |
|                                                               | <b>P6</b><br>% de área em planta com reflectância igual ou superior a 60%             | maiores gastos energéticos e económicos, gravosos para o ambiente e para a saúde humana.                                            | - unicamente o rufo de zinco sem cobertura tem reflectância superior a 60%                                                                                                                                                         | <b>C</b> | Sujeito a otimização                                           |
| <b>C3</b><br>Energia                                          | <b>P7</b><br>Consumo de energia primária não renovável na fase de utilização          | - reduzir os consumos energéticos                                                                                                   | - desenho solar passivo tirando partido do sombreamento natural e de uma orientação solar favorável                                                                                                                                | <b>C</b> | Sujeito a otimização                                           |
|                                                               | <b>P8</b><br>Quantidade de energia produzida no edifício através de fontes renováveis | - promover a utilização de energias endógenas                                                                                       | - sem qualquer aproveitamento de energias endógenas                                                                                                                                                                                | <b>E</b> | Sujeito a otimização                                           |

Tabela 2 (cont.). Avaliação da sustentabilidade da solução base

| Categoria                                      | Parâmetro                                                                    | Aplicação                                                                                                                                                             | Solução base                                                                                                                 | Classe    | Optimiz.                                           |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------|
| <b>C4</b><br>Materiais e resíduos sólidos      | <b>P9</b><br>% em peso de materiais reutilizados na construção do edifício   | - Favorecer a reutilização directa de materiais<br>- Preferir soluções construtivas que facilitem a desconstrução                                                     | - não foi prevista a reutilização de materiais na construção do edifício                                                     | <b>D</b>  |                                                    |
|                                                | <b>P10</b><br>% em peso de materiais reciclados na construção do edifício    | - reduzir necessidades de matérias-primas<br>- diminuir quantidade de resíduos<br>- reduzir os impactes ambientais<br>- contribuir para o equilíbrio dos ecossistemas | - não se consideraram materiais reciclados na solução base                                                                   | <b>D</b>  | Sujeito a optimização                              |
|                                                | <b>P11</b><br>% em custo dos produtos de base orgânica certificados          | - combater a exploração abusiva, corte ilegal e desflorestação                                                                                                        | - materiais de origem desconhecida ou não certificada                                                                        | <b>D</b>  | Sujeito a optimização                              |
|                                                | <b>P12</b><br>% em massa de materiais substitutos do cimento no betão        | - reduzir a produção de cimento<br>- reintegrar resíduos e subprodutos industriais                                                                                    | - composição de betão convencional                                                                                           | <b>D</b>  | Sujeito a optimização                              |
|                                                | <b>P13</b><br>Índice de eficiência de deposição de resíduos domésticos       | - promover a recolha selectiva e a valorização de resíduos<br>- combater a deposição em lixeiras e aterros                                                            | - ponto de recolha e separação de resíduos (ecoponto público) a menos de 50 metros<br>- inexistência de ecopontos domésticos | <b>C</b>  | Sujeito a optimização                              |
| <b>C5</b><br>Água                              | <b>P14</b><br>Volume de água potável consumida anualmente per capita         | - sensibilizar para o consumo sustentável<br>- reduzir custos financeiros e ambientais associados ao tratamento de águas                                              | - prática corrente para torneiras e equipamentos                                                                             | <b>E</b>  | Sujeito a optimização                              |
|                                                | <b>P15</b><br>% de redução do consumo de água potável                        |                                                                                                                                                                       | - não prevista a recolha de águas pluviais                                                                                   | <b>D</b>  | Sujeito a optimização                              |
| <b>C6</b><br>Conforto e saúde dos utilizadores | <b>P16</b><br>Potencial de ventilação natural                                | - reduzir custos de climatização<br>- melhorar a qualidade ambiental interior                                                                                         | - correcto dimensionamento do módulo e grande área das aberturas permitem a ventilação natural cruzada de modo eficiente     | <b>A+</b> | Superior à prática convencional e à melhor prática |
|                                                | <b>P17</b><br>% em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo de COV | - reduzir impactes na qualidade do ar interior<br>- com produtos prejudiciais à saúde                                                                                 | - não prevista a selecção dos materiais de acabamento segundo o conteúdo COV                                                 | <b>D</b>  | Sujeito a optimização                              |
|                                                | <b>P18</b><br>Nível de conforto térmico médio anual                          | Não considerado para efeitos de avaliação                                                                                                                             |                                                                                                                              |           |                                                    |
|                                                | <b>P19</b><br>Média do factor luz dia médio                                  | - minimizar o consumo de energia para iluminação artificial<br>- criar ambientes com maior salubridade e conforto                                                     | - orientação solar adequada<br>- vãos recuados para um correcto sombreamento                                                 | <b>A+</b> |                                                    |
|                                                | <b>P20</b><br>Nível médio de isolamento acústico                             | Não considerado para efeitos de avaliação                                                                                                                             |                                                                                                                              |           |                                                    |

Tabela 2 (cont.). Avaliação da sustentabilidade da solução base

| Tabela 2 (cont.): Avaliação da sustentabilidade da solução base |                                                                                      |                                                                               |                                                              |           |                                                    |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------|
| Categoria                                                       | Parâmetro                                                                            | Aplicação                                                                     | Solução base                                                 | Classe    | Optimiz.                                           |
| C7<br>Acessibilidades                                           | <b>P21</b><br>Índice de acessibilidade a transportes públicos                        | - redução do recurso ao automóvel<br>- redução da emissão de gases associados | - 22 linhas de autocarro<br>- próximo da estação ferroviária | <b>A+</b> | Superior à prática convencional e à melhor prática |
|                                                                 | <b>P22</b><br>Índice de acessibilidade a amenidades                                  | ao efeito de estufa                                                           | - amenidades num raio máximo de 2500m                        | <b>A+</b> |                                                    |
| C8<br>Sensibilização e Educação para a Sustentabilidade         | <b>P23</b><br>Disponibilidade e Conteúdo do Manual do Utilizador do Edifício         | Não considerado para efeitos de avaliação                                     |                                                              |           |                                                    |
| C9<br>Custos de ciclos de vida                                  | <b>P24</b><br>Valor do custo do investimento inicial por m <sup>2</sup> de área útil | Não considerado para efeitos de avaliação                                     |                                                              |           |                                                    |
|                                                                 | <b>P25</b><br>Valor actual dos custos de utilização por m <sup>2</sup> de área útil  | Não considerado para efeitos de avaliação                                     |                                                              |           |                                                    |
| CLASSIFICAÇÃO GLOBAL                                            |                                                                                      |                                                                               |                                                              |           | C (0.26)                                           |

## 5 OPTIMIZAÇÃO DO PROJECTO SEGUNDO OS PARÂMETROS SBTOOL<sup>PT</sup>-H

### 5.1 Impactes ambientais das soluções construtivas

Para a optimização do projecto deu-se particular destaque à avaliação da sustentabilidade das soluções construtivas. Para além da solução base, avaliaram-se outras soluções convencionais para paredes exteriores, coberturas, pisos térreos e paredes interiores, procurando-se uma solução de equilíbrio entre conforto dos utilizadores e eco-eficiência.

#### 5.1.1. Paredes Exteriores

- Solução 1 - Parede dupla de alvenaria de tijolo cerâmico
- Solução 2 - Paredes em sistema LSF
- Solução 3 - Fachada ventilada (c/XPS e tijolo cerâmico)
- Solução 3.1 - Fachada ventilada (c/cortiça e tijolo cerâmico)
- Solução 3.2 - Fachada ventilada (c/XPS e bloco de betão)
- Solução 3.3 - Fachada ventilada (c/cortiça e bloco de betão)
- Solução 4 - Parede simples c\ sistema ETICS
- Solução 5 - Parede de dois panos com exterior em tijolo maciço
- Solução 6 - Parede simples com sistema ETICS (c/ cortiça)

Na solução 3 – *Fachada ventilada com XPS sobre tijolo cerâmico* – escolhida inicialmente, consideraram-se diferentes materiais de suporte: tijolos cerâmicos e blocos de betão; e diferentes isolamentos: XPS e aglomerado de cortiça. Como é visível na figura 3, o menor impacto nas categorias de impacto ambiental consideradas é obtido quando é utilizada cortiça como material de isolamento. No entanto esta solução fica, em termos ambientais, bastante aquém das restantes soluções, mesmo as mais convencionais, como a parede dupla de alvenaria de tijolo cerâmico (solução 1).

As opções mais equilibradas são as soluções 4 e 6, com sistema ETICS, ainda que seja notável a redução dos impactes ambientais quando se propõe a substituição do tradicional

isolamento em EPS pelo sistema CORKFACE, com aglomerado de cortiça negra. Ainda que implique um maior investimento inicial em relação à solução 4, a solução construtiva 6 é a mais eco-eficiente de todas as soluções analisadas, sem pôr em causa a performance térmica da parede.

#### 5.1.2. Cobertura

- Solução 1 – Cobertura com laje de vigotas pré-esforçadas
- Solução 1.2 – Cobertura ajardinada com laje de vigotas pré-esforçadas
- Solução 2 – Cobertura ajardinada com laje colaborante
- Solução 3 – Cobertura em sistema LSF

Das diferentes soluções de cobertura analisadas, a menos gravosa para o ambiente seria a solução 3, *cobertura em sistema LSF*. A solução 2, com laje colaborante, ainda que ajardinada, apresenta um desempenho francamente mau à luz dos critérios de avaliação, nomeadamente quando comparada com as restantes soluções.

Apesar de se reconhecer como melhor opção a solução 3, optou-se, no caso de estudo, por manter a opção inicial por uma cobertura com laje de vigotas pré-esforçadas, por uma questão de compatibilização e coerência com o sistema estrutural em betão definido. De modo a tornar a solução de cobertura ambientalmente mais eficiente optou-se unicamente por alterar para uma solução ajardinada (solução 1.2), o que permitirá, melhorar a performance térmica deste elemento construtivo, paralelamente a uma ligeira redução dos impactes ambientais em relação à solução original, tal como se pode verificar na figura 4.

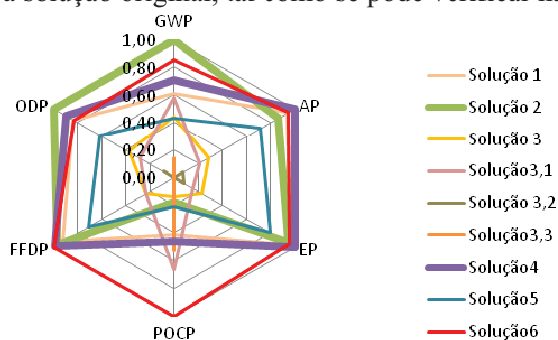


Figura 3. Avaliação da sustentabilidade das soluções construtivas para paredes exteriores

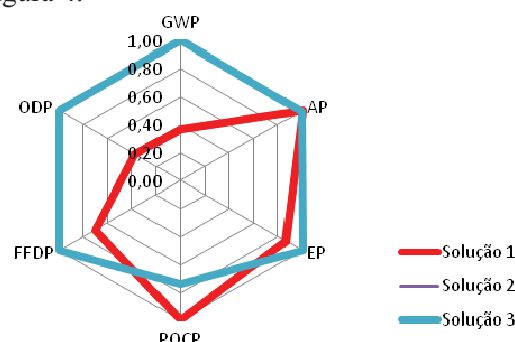


Figura 4. Avaliação da sustentabilidade das soluções construtivas para cobertura

#### 5.1.3. Pavimentos

- Solução 1 – Piso térreo com isolamento e soalho de madeira
- Solução 2 – Piso térreo sem isolamento e soalho de madeira
- Solução 3 – Piso térreo com isolamento e tijoleira

Na avaliação de pisos térreos consideraram-se duas opções principais: com e sem isolamento térmico. Como se pode verificar claramente na figura 5, os impactes ambientais são bastante superiores quando se opta por pavimentos isolados, piorando drasticamente se estes forem revestidos com tijoleira ou mosaico cerâmico (solução 3).

Neste caso, optou-se por uma solução de equilíbrio entre sustentabilidade ambiental e conforto dos utilizadores, apostando numa maior eficiência térmica, mantendo-se a solução construtiva prevista inicialmente, com soalho de madeira e isolamento térmico.

#### 5.1.4. Paredes Interiores

- Solução 1 – parede em gesso cartonado
- Solução 2 – parede em OSB
- Solução 3 – parede de tijolo com reboco
- Solução 4 – parede de faces em madeira

A solução 4, *estrutura metálica revestida com madeira*, apresenta os menores impactes ambientais, por utilizar madeira natural, tal como se pode observar na figura 6. A solução 2, apesar de bastante semelhante, torna-se mais prejudicial ao ambiente sobretudo pelos impactes associados à produção dos painéis OSB.

Neste critério, considerou-se a alteração das paredes de tijolo (solução 3) para paredes de gesso cartonado (solução 1), uma vez que a perda de massa térmica é irrelevante no resultado final e é balanceada pela utilização de material reciclado/reciclável, com um custo mais moderado que a melhor solução estudada, com faces em madeira.

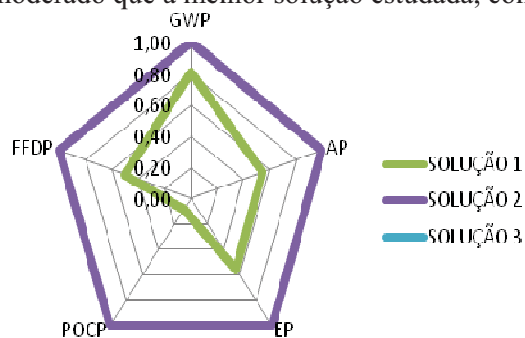


Figura 5. Avaliação da sustentabilidade das soluções construtivas para pavimentos térreos

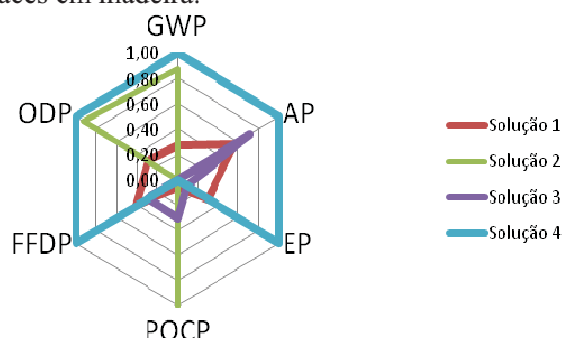


Figura 6. Avaliação da sustentabilidade das soluções construtivas para paredes interiores

## 6 SÍNTESE DOS RESULTADOS DA OPTIMIZAÇÃO

A comparação entre as classificações da solução inicial e as classificações obtidas após optimização, implementando-se as medidas sugeridas, relativamente aos vários parâmetros em estudo, mostra que é possível melhorar a construção e, simultaneamente contribuir para a sustentabilidade. A tabela 3 sintetiza as soluções propostas para cada parâmetro considerado.

Tabela 3. Avaliação do nível de sustentabilidade da solução otimizada

| Parâmetro                                                             | Solução otimizada                                                                                                                                                                                                       | Nível de Sustentabilidade inicial | Nível de Sustentabilidade final |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| P1<br>Valor agregado dos impactes ambientais de ciclo de vida         | - paredes exteriores: simples com sistema ETICS<br>CorkFace<br>- cobertura com laje de vigotas pré-esforçadas ajardinada<br>- piso térreo com isolamento e soalho de madeira<br>- paredes interiores em gesso cartonado | C                                 | B                               |
| P3<br>Índice de impermeabilização                                     | - pavimentos exteriores: grelhas de arrelvamento<br>- cobertura ajardinada<br>- recolha de águas pluviais na cobertura                                                                                                  | C                                 | A                               |
| P5<br>% de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones               | - ajardinamento da cobertura com vegetação rasteira autóctone<br>- espaços ajardinados a sul da habitação<br>- colocação de três choupos junto ao alçado Norte                                                          | D                                 | A                               |
| P6<br>% de área em planta com reflectância igual ou superior a 60%    | - cobertura ajardinada<br>- vegetação no exterior                                                                                                                                                                       | C                                 | A +                             |
| P7<br>Consumo de energia primária não renovável na fase de utilização | - isolamento com aglomerado de cortiça negra de 6cm<br>- vidro de baixa emissividade e baixo coeficiente global de transmissão térmica                                                                                  | C                                 | A +                             |

Após o estudo para a optimização do projeto verificou-se que é possível melhorar a classificação inicial de C (0.26) para B (0.63), sem considerar a dimensão económica. Os valores finais obtidos em cada categoria e dimensão encontram-se apresentados na tabela 4.

Tabela 3. Avaliação do nível de sustentabilidade da solução otimizada

| Parâmetro                                                                      | Solução otimizada                                                                                                                                                                           | Nível de Sustentabilidade inicial | Nível de Sustentabilidade final |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| P8<br>Quantidade de energia produzida no edifício através de fontes renováveis | - sistema de colectores solar térmico para Águas Quentes Sanitárias<br>- painéis fotovoltaicos na cobertura para micro-geração de energia, podendo atingir um Esolar de 2500 Kw/ano         | E                                 | A +                             |
| P10<br>% em peso de materiais reciclados na construção do edifício             | - painéis de gesso cartonado certificados, com 99% de conteúdo reciclado                                                                                                                    | D                                 | D                               |
| P11<br>% em custo dos produtos de base orgânica certificados                   | - isolamento de cortiça de origem certificada<br>- madeiras certificadas em apainelados interiores, guarnições, portas e outros elementos                                                   | D                                 | A                               |
| P12<br>% em massa de materiais substitutos do cimento no betão                 | - substituição de 22% do cimento por cinzas volantes no betão                                                                                                                               | D                                 | A                               |
| P13<br>Índice de eficiência de deposição de resíduos domésticos                | - ponto de recolha e separação de resíduos (ecoponto público) a menos de 50 metros<br>- instalação de ecopontos domésticos para estimular os utilizadores à deposição selectiva de resíduos | C                                 | A +                             |
| P14<br>Volume de água potável consumida anualmente <i>per capita</i>           | - autoclismos de dupla descarga<br>- chuveiros e torneiras de baixo fluxo<br>- electrodomésticos de baixo consumo                                                                           | E                                 | A                               |
| P15<br>% de redução do consumo de água potável                                 | - sistema de recolha de águas pluviais da cobertura para utilização nas bacias de retrete                                                                                                   | D                                 | A                               |
| P17<br>% em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo de COV          | - tintas e vernizes para acabamentos com baixo conteúdo em COV                                                                                                                              | D                                 | A                               |

Tabela 4. Desempenho global após otimização

| Dimensão            | Categoria                                              | Nível de sustentabilidade |    |
|---------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------|----|
| Ambiental           | C1 – Alterações climáticas e qualidade do ar exterior  | B                         |    |
|                     | C2 – Uso do solo e biodiversidade                      | B                         |    |
|                     | C3 - Energia                                           | A+                        | B  |
|                     | C4 – Materiais e resíduos sólidos                      | B                         |    |
|                     | C5 - Água                                              | A                         |    |
| Social              | C6 – Conforto e Saúde dos Utilizadores                 | A+                        |    |
|                     | C7 - Acessibilidades                                   | A+                        | A+ |
|                     | C8 – Sensibilização e educação para a sustentabilidade | A+                        |    |
| Classificação final |                                                        | B (0.63)                  |    |

## 7 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Ao aplicar a metodologia de avaliação SBTool<sup>PT</sup>-H ao caso de estudo é possível constatar que, por vezes, os pontos mais fortes do projeto podem estar diretamente relacionados com os seus pontos mais fracos. Se, por um lado, a escolha do lugar de implantação num dos vazios residuais deixados ao longo dos anos na malha urbana da cidade de Guimarães se traduz como uma mais-valia, tirando partido da infra-estruturação, amenidades e rede de transportes já existentes no lugar, com uma classificação A+, é esta mesma localização que se traduz em duas

das avaliações mais negativas, por se implantar num terreno ainda virgem e não rentabilizar o índice de utilização líquida disponível, com avaliações D e E, respetivamente. No entanto, é importante salientar que estes resultados não são de grande relevância, pois em termos práticos poderia optar-se por uma ocupação mais extensiva do lote. Por outro lado, embora intervindo em terreno considerado virgem, esta construção permitirá desbloquear e redinamizar uma zona urbana devoluta da cidade de Guimarães, com todas as vantagens urbanas associadas.

Há ainda a assinalar que nem todas as opções de otimização se traduzem em efetivas melhorias na classificação ou mesmo melhorias ambientais significativas, devido à sua reduzida escala, assumindo, antes de mais um importante papel na educação e sensibilização dos utilizadores mas também das empresas do sector da construção, para a importância da construção e do consumo sustentáveis. É o caso dos parâmetros relacionados com o consumo de água ou com o uso de ecopontos domésticos, mas também da opção por materiais reciclados, em que, como se pôde verificar, a utilização de painéis de gesso reciclado tem uma expressão mínima no global do projecto, não chegando a alterar a classificação do projeto.

Outras situações devem ser ponderadas com atenção, como por exemplo, a introdução de sistemas de produção de energia que permitam tirar partido de fontes renováveis, nomeadamente a solar. Se no parâmetro 8 as vantagens da introdução de painéis fotovoltaicos de grande eficiência se traduz numa subida muito grande na classificação, convém não esquecer que esta opção implicará repensar outros aspetos do projeto, como sobrecargas na estrutura, área livre da cobertura ajardinada ou custos do investimento inicial, que poderão afetar a prestação do projeto noutros parâmetros de avaliação.

Apesar disso é possível constatar que com uma ponderação prévia do projeto e através da adoção de medidas, na sua maioria simples, é possível melhorar a classificação final de C (0.26) para B (0.63), isto sem considerar a dimensão económica da construção. Ainda que estes parâmetros não tenham sido aprofundados, espera-se que o investimento inicial, maior do que o das práticas convencionais, possa ser largamente compensado pela redução de custos de utilização do edifício, tornando, cada vez mais, a sustentabilidade num valor acrescentado do imóvel.

Acima de tudo, a aplicação desta metodologia de avaliação a um caso de estudo, possibilita a compreensão do seu valor enquanto ferramenta de projeto, que permite ponderar e simular determinados fatores intrínsecos à utilização do edifício, compreendendo os impactos que as diferentes opções poderão apresentar ao nível ambiental, social e económico. A sua integração numa fase inicial do projeto, assim como a conjugação de esforços entre as diferentes disciplinas, permitirão projetar para o desenvolvimento sustentável.

## REFERÊNCIAS

- Andrade, A. (2010). *As mudanças climáticas e o problema energético*. Revista Tecnologia e Vida, nº7. Outubro 2010. ANET Norte. Portugal
- Bragança, L.; Mateus, R. (2009). *Guia de Avaliação SBTool<sup>PT</sup>-H V2009/2*. Edições iisBE. Guimarães. ISBN: 978-989-96543-0-3
- CMMAD (1987). Relatório Brundtland. Citado em [www.iisbeportugal.org](http://www.iisbeportugal.org). acedido em 25 de Fevereiro de 2012.
- Daly, H. (1996). *Beyond Growth*. Beacon Press. Boston. EUA. ISBN: 978-0-8070-4709-5
- Fernandes, J.; Mateus, R. (2012). *Energy efficiency principles in Portuguese vernacular architecture*. International conference BSA 2012. Porto: Portugal.
- Kibert, Charles (2005). *Sustainable construction – green building design and delivery*. 1st Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 434p.. ISBN: 0-471-66113-9.
- Mateus R.; Bragança, L. (2011). *Sustainability assessment and rating of buildings: developing the methodology SBTool<sup>PT</sup>-H*. Building and Environment (2011), 10.1016/j.buildenv.2011.04.023.
- ONU (2001), *World Urban Prospects*. 2001 Revision
- Tirone, L.(2012). *O meio edificado ao serviço de uma elevada qualidade de vida*. Seminário Prosperidade Renovável. CS Junho 2012. Guimarães. Portugal

## Índice de Autores

|                 |                                                    |              |                 |
|-----------------|----------------------------------------------------|--------------|-----------------|
| Aguiar, J.      | 109                                                | Ferreira, V. | 109             |
| Almeida, M.     | 1, 9, 17, 25, 33,<br>41, 49                        | Macedo, A.   | 117             |
| Araújo, C.      | 33                                                 | Mateus, R.   | 57, 117, 143    |
| Barbosa, J.     | 93                                                 | Mendes, P.   | 143             |
| Bezerra, J.     | 69                                                 | Mesquita, V. | 1, 9            |
| Bragança, L.    | 1, 9, 17, 33, 69,<br>81, 93, 103, 129,<br>137, 143 | Moura, F.    | 81              |
| Castanheira, G. | 103                                                | Mota, F.     | 143             |
| Cunha, S.       | 109                                                | Oliveira, P. | 129             |
| Gonçalves, J.   | 143                                                | Sacht, H.    | 17              |
| Loureiro, M.    | 143                                                | Silva, P.    | 1, 9            |
| Fernandes, J.   | 57                                                 | Silva, S.    | 25, 41, 49, 117 |
|                 |                                                    | Sousa, J.    | 41, 49          |
|                 |                                                    | Tadeu, A.    | 109             |
|                 |                                                    | Vieira, S.   | 137             |

Seminário Reabilitação Energética de Edifícios

Universidade do Minho

M. Almeida, L. Bragança, P. Silva, S. Silva, R. Mateus, J. Barbosa, C. Araújo (Eds.)

© 2012 Os Autores e os Editores. Todos os direitos reservados.