

## Módulos de reabilitação de fachadas Painéis metálicos prefabricados

### 1. INTRODUÇÃO

O peso do consumo de energia dos edifícios existentes no consumo energético global do sector da construção é cada vez mais relevante. Isto deve-se à qualidade cada vez maior da envolvente dos novos edifícios, conseguida principalmente através do uso generalizado de isolamento, de janelas mais eficientes e de melhores técnicas de conservação de energia, o que resulta em edifícios com cada vez menores necessidades de aquecimento e de arrefecimento quando comparadas com as necessidades energéticas dos edifícios existentes. Por outro lado, o estado de degradação de grande parte do edificado português reduz a qualidade de vida das populações e provoca a deterioração do património construído. Nos últimos anos, Portugal investiu apenas 13% do orçamento do sector da construção na reabilitação dos edifícios [1]. Na Europa, em média, este investimento é de cerca de 40% [2]. Em geral, o país não está ainda receptivo à necessidade e importância da reabilitação, valorizando ainda em demasia a construção nova.

Foi neste contexto que surgiu o projeto Reabilitação Energética de Edifícios, financiado pela FCT (FCOMP-01-0124-FEDER-007189), que pretendia desenvolver soluções eficazes para a reabilitação energética de edifícios existentes, aumentando o valor desta atividade e incentivando a sua prática. Este projeto nacional surge enquadrado por um projeto internacional desenvolvido no âmbito da Agência Internacional de Energia - projeto IEA ECBCS Annex 50. No decurso deste projeto, a equipa portuguesa desenvolveu uma solução pré-fabricada para a reabilitação energética de fachadas de edifícios cujas linhas orientadoras para o seu desenvolvimento são as a seguir referidas. O módulo de reabilitação desenvolvido tinha como objetivos principais:

- Aumentar a eficiência energética dos edifícios de habitação existentes através da aplicação generalizada de materiais de isolamento que contribuíssem para consumos energéticos de aquecimento e arrefecimento inferiores a 50 kWh/(m<sup>2</sup>·a);
- Constituir uma solução de reabilitação integrada, de elevada qualidade e com viabilidade económica que permitisse a inclusão de tubos e condutas no interior do módulo para distribuição de água quente, ventilação, climatização, etc.;
- Utilizar materiais com elevado potencial de reutilização/reciclagem e com baixa energia incorporada de modo a diminuir os impactos ambientais da sua utilização;
- Constituir uma solução capaz de reduzir o tempo de execução e aplicação bem como os transtornos causados aos ocupantes e envolvendo um menor investimento financeiro, contribuindo para uma maior aceitação da solução por parte dos potenciais interessados;
- Cumprir com as exigências regulamentares no que se refere ao desempenho térmico dos edifícios [3].

### 2. MÓDULOS DE FACHADA PRÉ-FABRICADOS

#### 2.1. ASPETOS GERAIS

O módulo de fachada foi desenvolvido a partir do sistema tradicional de revestimento descontinuo prefabricado, foi projetado de modo a permitir a integração de tubagens pelo seu interior e a espessura de isolamento a aplicar foi otimizada de modo a se obter o melhor desempenho energético numa perspectiva custo benefício. Foi desenvolvido um sistema que permite uma fácil e rápida montagem e desmontagem dos módulos que consiste em dois perfis – U em aço com um sistema de pernos e furos, montados em cada um dos lados do módulo, que encaixa numa estrutura de suporte que é fixada à parede existente (Fig.1).



Figura 1 Módulo de reabilitação pré-fabricado.



Figura 2 Vistas laterais do módulo de reabilitação pré-fabricado.

As dimensões de cada módulo são de cerca de 1m x 1m e o seu peso de 12kg/m<sup>2</sup> tendo estes valores sido seleccionados a fim de facilitar o seu transporte e aplicação.

A seleção dos materiais foi baseada num equilíbrio entre os aspetos técnicos e os aspetos económicos e no valor da energia incorporada dos materiais utilizados. Os materiais escolhidos foram os seguintes:

- Isolamento de aglomerado negro de cortiça - selecionado devido a uma produção industrial sem aditivos, sendo um material 100% reciclável, com uma densidade de 110 kg/m<sup>3</sup>, com uma condutividade térmica de 0,045 W / (m.K) e também muito abundante em Portugal;
- Poliestireno extrudido (XPS) - selecionado por permitir a moldagem e a criação de cavidades para alojar as condutas e também por apresentar um preço competitivo;
- Acabamento em alumínio - já que é um produto 100% reciclável, fácil de manipular e está disponível numa ampla gama de cores e texturas.

Após o estudo e teste de várias alternativas, a solução final foi a seguinte (do exterior para o interior): acabamento exterior de composto de alumínio (6mm); isolamento de aglomerado negro de cortiça (60mm); perfil-U em aço (1,5mm); isolamento de poliestireno extrudido (XPS-120mm) com ou sem cavidades moldadas para tubagens e cablagens; barreira pára-vapor (1mm). Na Fig. 2 pode ver-se o aspeto do módulo.

### 2.2 DETALHES CONSTRUTIVOS

O módulo de fachada tem uma espessura total de 18,8 cm e um peso de 12 kg. Com a aplicação deste sistema espera-se que a resistência térmica das paredes da envolvente exterior dos edifícios aumente em cerca de 4.º m<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 Fig. 3 apresenta a vista de topo do módulo e o esquema da sua composição.

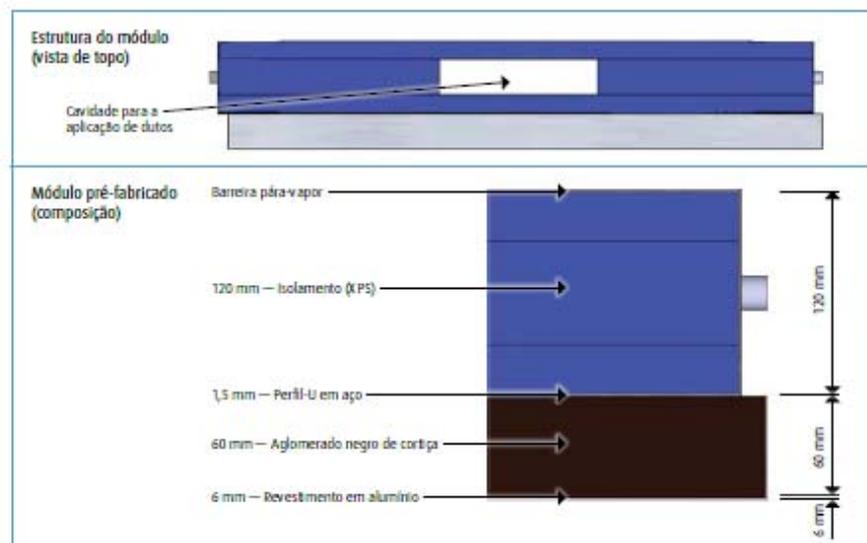


Figura 3 Vista superior do módulo e composição do módulo.

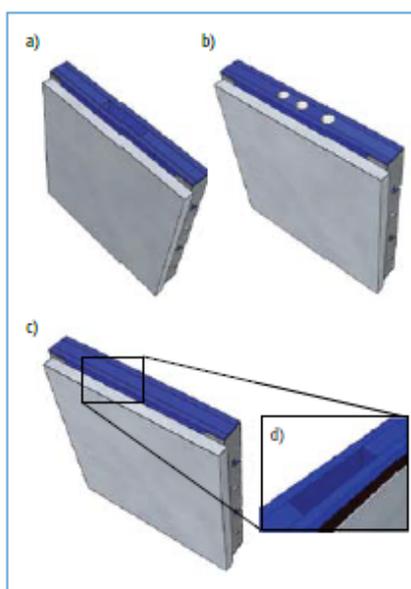


Figura 4 Desenho original do módulo de reabilitação pré-fabricado— a) sem ductos; b) com ductos moldados; c) com cavidades para a introdução de ductos.

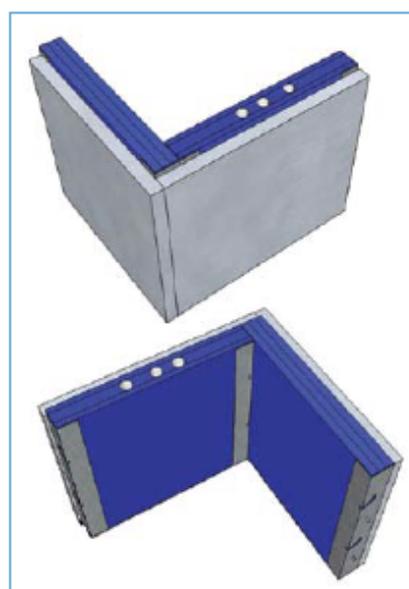


Figura 5 Módulo de reabilitação pré-fabricado— módulos de canto.

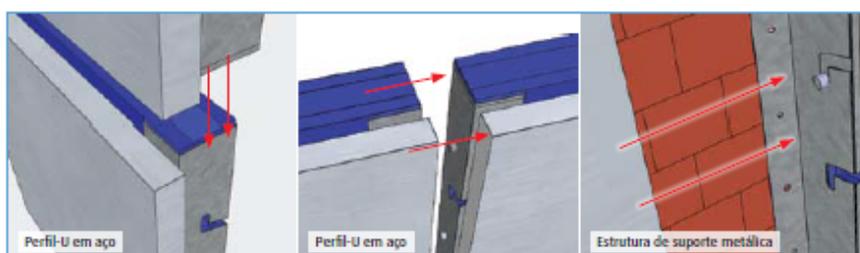


Figura 6 Sistema de ligação entre os módulos de reabilitação e opções de instalação.

Este módulo foi concebido para minimizar as ligações coladas e mecânicas melhorando as potencialidades de reciclagem. O isolamento XPS só é ajustado aos perfis de aço em U e o acabamento de alumínio tem a forma de uma caixa a fim de alojar o isolamento de cortiça.

Com este desenho, o módulo de reabilitação tem um alto potencial de reciclagem, tornando possível reciclar e reutilizar os materiais individualmente. Esta abordagem conduz a uma solução mais sustentável que se baseia na utilização de materiais de baixa energia incorporada, na seleção do tipo de ligações que facilitam a desconstrução, na melhoria da eficiência energética dos edifícios e na capacidade de reciclagem da solução no fim do ciclo de vida do produto.

### 2.3. TIPOS DE MÓDULOS

Quatro tipos de módulos estão disponíveis para as diferentes necessidades, como mostram as Figs. 4 e 5:

- Módulo padrão;
- Módulo com cavidade para alojar condutas;
- Módulo com condutas moldadas
- Módulo para a aplicação em cantos de edifícios.

### 2.4. LIGAÇÕES

A ligação entre os módulos é feita através de um sistema de encaixe (pernos/orifícios) como mostrado na Fig. 6.

Este sistema de ligações ajuda à montagem do módulo na estrutura de metal que serve de suporte e também à colocação dos módulos lado a lado.

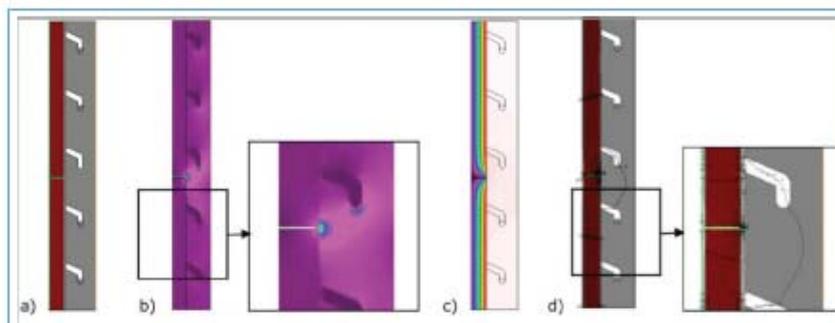


Figura 7 Resultados obtidos com a ferramenta informática THERM-2D na área de encaixe dos módulos de reabilitação pré-fabricados (corte do módulo (a), fluxos de calor (b), temperaturas (c) e as linhas isotérmicas (d)).

O sistema de encaixe dos módulos, colocados nas laterais dos mesmos, é composto por um perfil-U em aço com uma espessura de 1,5mm.

A localização dos orifícios e dos pernos difere da lateral direita para a lateral esquerda no perfil-U em aço do módulo. Esta posição permite o encaixe simultâneo do pino na ranhura, tanto à direita como à esquerda, do módulo à estrutura (módulo já aplicado), assegurando assim uma melhor distribuição das cargas aplicadas.

#### 2.5. DESEMPENHO DO MÓDULO

O desempenho do módulo pré-fabricado foi caracterizado e testado tendo em conta vários aspetos: ocorrência de pontes térmicas; controlo de humidade de condensação e valor do coeficiente de transmissão térmica (valor-U).

##### 2.5.1. PONTES TÉRMICAS

Pontes térmicas importantes podem aparecer neste tipo de soluções, principalmente nas zonas de ligação e encaixe. Foi utilizada a ferramenta THERM-2D [4] para analisar as secções mais críticas do módulo,

mostrando a Fig. 7 os resultados obtidos em termos de fluxo de calor e temperaturas ao longo da secção do módulo.

O diagrama de cores mostra que as áreas críticas ocorrem, como era de esperar, nas áreas de encaixe. Para minimizar este problema foi criado um sistema de encaixe (Fig. 8) onde a área de ligação é coberta por uma camada de cortiça com 60mm de espessura aplicada pelo exterior. Com esta solução de correção é possível obter uma redução de 80% no fluxo de calor que ocorre na área de encaixe, permitindo uma significativa redução da ponte térmica.

##### 2.5.2. CONTROLO DE HUMIDADE

Para efetuar a análise dos problemas de humidade no módulo foi utilizado o programa WUFI® [5]. As áreas críticas onde esta pode ocorrer são as zonas de ligação entre os diferentes materiais e entre o módulo e a parede existente. As simulações efetuadas demonstraram que não existe risco de ocorrência de humidade. A quantidade de vapor que passa através da parede pode ser controlada com a aplicação de uma barreira para-vapor entre o

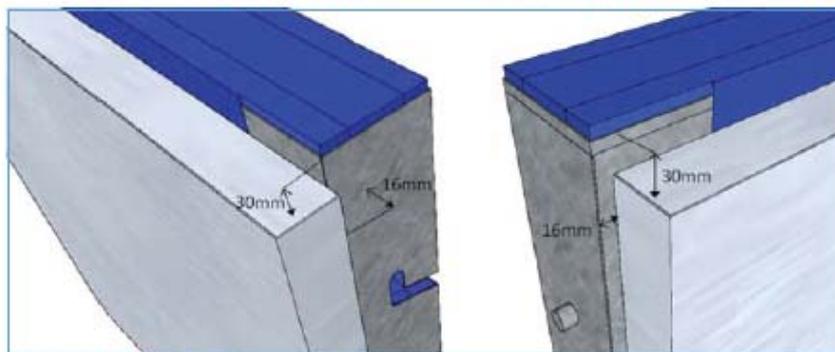


Figura 8 Correção das pontes térmicas no módulo de reabilitação.

## TEMADECAPA

Espessura (mm)	Materiais do módulo de reabilitação original				Materiais alternativos para o módulo de reabilitação			
	Acabamento em composto de alumínio	Acabamento em composto de alumínio	Acabamento em composto de alumínio	Acabamento em composto de alumínio	Acabamento em composto de alumínio	Acabamento em composto de alumínio	Acabamento em composto de alumínio	Acabamento em composto de alumínio
6	Isolamento em aglomerado negro de cortiça	Isolamento em lâ de rocha	Isolamento em lâ de vidro	Isolamento em lâ de vidro	Isolamento em lâ de rocha	Isolamento em lâ de rocha	Isolamento em lâ de rocha	Isolamento em lâ de rocha
1.5	Perfil metálico U	Perfil metálico U	Perfil metálico U	Perfil metálico U	Perfil metálico U	Perfil metálico U	Perfil metálico U	Perfil metálico U
120	Isolamento de poliestireno extrudido	Isolamento em lâ de rocha	Painel de isolamento de poliuretano	Isolamento de poliestireno expandido	Isolamento de poliestireno expandido	Isolamento de poliestireno expandido	Isolamento de poliestireno expandido	Isolamento de poliestireno expandido
1	Barreira pára-vapor	Barreira pára-vapor	Barreira pára-vapor	Barreira pára-vapor	Barreira pára-vapor	Barreira pára-vapor	Barreira pára-vapor	Barreira pára-vapor
Valor-U W/(m²·K)	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24

Tabela 1 Soluções alternativas em termos de materiais a utilizar nos módulos de reabilitação.

acabamento interior e a parede existente, solução utilizada, minimizando as hipóteses de ocorrência de condensação intersticial.

### 2.5.3. COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA (VALOR-U)

O coeficiente de transmissão térmica do módulo de fachada foi determinado por via analítica, com recurso ao programa THERM-2D [4], e por via experimental, com a colocação dos módulos em células de teste e a avaliação *in situ* deste parâmetro.

Os valores de U calculados analiticamente foram de 0.21 W/(m²·K) para a secção transversal e de 0.33 W/(m²·K) para a zona da cavidade. Experimentalmente, os valores encontrados foram de 0,19 W/(m²·K) para a zona da secção transversal e de 0.30 para a cavidade, resultando num valor de U global de 0,23 W/(m²·K).

### 2.5.4. APLICAÇÃO DO MÓDULO A DOIS CASOS DE ESTUDO

Para avaliar o contributo dos módulos de reabilitação de fachada para o desempenho energético de edifícios reais, foi feita a simulação energética de dois edifícios, uma moradia em Braga e um edifício de habitação coletiva em Guimarães, onde estes módulos foram aplicados. Foi utilizada a ferramenta de simulação dinâmica eQuest® [6] e o sistema de modelação Google SketchUp® [7]. As simulações mostraram que a aplicação dos módulos na fachada permitiu uma redução das necessidades de aquecimento de cerca de 30% relativamente à situação original.

## 3. CONCLUSÕES

A resistência térmica total do módulo de reabilitação de fachadas desenvolvido no âmbito deste projeto é de 4,35 m² · K/W e apresenta um valor-U de 0,23 W/(m² · K). A solução desenvolvida apresenta uma pequena ponte térmica na área de encaixe

entre os módulos e não apresenta pontes térmicas significativas noutras secções. O módulo também não apresenta risco de ocorrência de humidade de condensação.

Uma grande vantagem deste módulo é o tipo de ligação à parede existente que permite reduzir significativamente o tempo de montagem. Outra vantagem é a simplicidade do processo de fabrico que permite garantir uma qualidade acrescida da solução.

A simulação da aplicação destes módulos de reabilitação a diferentes tipos de edifícios mostrou o significativo potencial de poupança energética que permitem. Dois casos de estudo mostraram que as necessidades de aquecimento foram reduzidas em 30%.

Esta solução foi desenvolvida para materiais como o alumínio, a cortiça e o XPS. No entanto, outros materiais podem ser utilizados sem que as principais características do módulo de reabilitação se alterem significativamente. A Tabela 1 apresenta algumas soluções alternativas com desempenho térmico equivalente. ■

## REFERÊNCIAS

- [1] DGGE (2005), A Energia, os Recursos Geológicos e a Economia - Balanços Energéticos 1990-2003, Direção Geral de Geologia e Energia
- [2] IEA Energy Balances (2002), IEA Energy Statistics, International Energy Agency
- [3] RCCTE (2006), Regulation of the Buildings Thermal Behaviour Characteristics, Ministry of Public Works, Transportation and Communications, Decree-Law nº 80/2006 of April 4
- [4] LBNL (2006), THERMS. NFRC Simulation Manual. Lawrence Berkeley National Laboratory
- [5] D. Zirkelbach, Th. Schmidt, M. Kehler, H.M. Künzel (2007): Wufi® Pro - Manual. Fraunhofer Institute
- [6] J. Hirsh (2003): eQuest - Introductory Manual. James J. Hirsch
- [7] Google SketchUp Version 7.0 (2008), Google Inc.