

REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS COM APLICAÇÃO DE SOLUÇÕES DE FACHADA PREFABRICADAS

Em termos energéticos, o parque edificado é um dos sectores com necessidade de intervenção prioritária. Com a entrada em vigor da Directiva Europeia da Performance Energética de Edifícios, foi dado mais um passo no sentido de incentivar medidas que limitem o consumo de energia primária nos edifícios. No entanto, a reabilitação energética dos edifícios não é ainda uma prática corrente e é muitas vezes apontada como demasiado dispendiosa e/ou ineficiente. Neste contexto, e no sentido de contribuir para a inversão desta situação, o Laboratório de Física e Tecnologia das Construções (LFTC) da Universidade do Minho encontra-se a desenvolver sistemas prefabricados de fachada com o objectivo de reabilitar termicamente edifícios residenciais existentes. Este projecto resultou, em parte, da participação de um grupo de trabalho do LFTC no Projecto da Agência Internacional de Energia IEA ECBCS Annex 50, o qual tem como objectivo a reabilitação integrada de edifícios residenciais com a utilização de soluções prefabricadas. Numa primeira fase do projecto foi necessário realizar um estudo de campo identificando as patologias energéticas mais frequentes dos edifícios portugueses. De forma a otimizar as soluções a desenvolver é também essencial o recurso a ferramentas 3D e de simulação energética de modo a testar o design e o desempenho das várias opções, assim como assegurar que estas cumpram as exigências regulamentares. Assim, neste artigo serão apresentadas as diversas fases de desenvolvimento de soluções tipo prefabricadas de reabilitação no âmbito deste projecto.

Palavras-Chave: Reabilitação, prefabricação, eficiência energética, ferramentas de simulação.

1. INTRODUÇÃO

O peso relativo do consumo de energia dos edifícios existentes no consumo global verificado no sector dos edifícios está a aumentar de forma significativa. 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 [1]. Estes edifícios apresentam-se como altamente consumidores de energia quando se pretende neles garantir condições de conforto mínimas. Por

outro lado, o estado de degradação em que se encontra grande parte do parque habitacional português assume proporções que podem ser consideradas preocupantes. Verifica-se que em Portugal, nos últimos anos, apenas cerca de 23% do investimento feito no sector da construção de edifícios foi destinado à conservação e recuperação do património edificado, enquanto a média europeia se situa nos 45% [2]. Adicionalmente, a entrada em vigor da nova regulamentação térmica em Portugal, baseada na Directiva Europeia para a Eficiência Energética dos Edifícios (EPBD) [3], vem obrigar à certificação energética dos

P. Silva^a, M. Almeida^b, L. Bragança^b e V. Mesquita^a
^a DST, S.A.

^b University of Minho, Civil Engineering Department
psilva@civil.uminho.pt

edifícios novos e também de todos os edifícios de serviços existentes bem como dos edifícios residenciais existentes, embora estes apenas quando da sua venda ou aluguer. Espera-se que esta exigência tenha um impacto positivo no desempenho energético global dos edifícios e que seja um factor determinante no incentivo à execução de reabilitações térmicas do edificado. Em paralelo, o LFTC - UMinho está neste momento envolvido num projecto promovido pela Agência Internacional de Energia (IEA) - Annex 50, o qual pretende promover uma reabilitação energética eficiente dos edifícios residenciais, visando acções integrais e inte-

Caso de Estudo	Localização	Tipo de Edifício	Tipo de Ensaios Realizados
CS1	Braga	Moradia Unifamiliar	A, B, C
CS2	Braga	Moradia Unifamiliar	C
CS3	Fafe	Moradia Unifamiliar	A, B, C
CS4	Guarda	Moradia Unifamiliar	A, B
CS5	Guimarães	Moradia Unifamiliar	A
CS6	Guimarães	Moradia Unifamiliar	A
CS7	Porto	Apartamento	A, B
CS8	Porto	Apartamento	A, B
CS9	Maia	Apartamento	C
CS10	Viseu	Apartamento	A, B, C

Ensaio tipo: A – Determinação do coeficiente de condutibilidade térmica da envolvente; B – determinação do número de renovações de ar por hora; C - identificação de pontes térmicas.

Tabela 1 > Identificação dos Casos de Estudo.

gradas privilegiando a utilização da prefabricação. No âmbito deste projecto, suportado pelo projecto nacional financiado pela FCT (PTDC/ECM/67373/2006 – Reabilitação Energética de Edifícios), o LFTC - UMinho está a desenvolver sistemas prefabricados de fachada com o objectivo de reabilitar termicamente edifícios residenciais existentes. Descreve-se de seguida algumas das tarefas em curso no âmbito destes projectos.

2. CARACTERIZAÇÃO DO PARQUE HABITACIONAL EXISTENTE

2.1. Campanha de Medições

De forma a desenvolver soluções optimizadas de reabilitação de fachadas para o parque habitacional Português, é fundamental possuir um conhecimento aprofundado das patologias energéticas do mesmo. Devido à insuficiente informação existente, o LFTC iniciou uma campanha de caracterização de alguns edifícios representativos dos edifícios existentes com medições de alguns parâmetros que permitam aferir do seu desempenho energético. Esta campanha de medições foi feita em vários tipos de edifícios, com diferentes soluções construtivas e em diversas zonas climáticas. Os casos de estudo, localização, tipo de edifício

e tipo de medições realizadas até ao momento, estão sintetizados na Tabela 1.

2.2. Parâmetros Medidos

De acordo com o atrás referido e explicitado na Tabela 1, foram vários os ensaios efectuados e os parâmetros medidos. São de realçar os mais significativos:

- a) Coeficiente de Transmissão Térmica da Envolvente (U):** Para a determinação deste parâmetro foi aplicada a Norma ASTM C1155 – 95 [4], tendo sido necessário medir o fluxo de calor através das paredes, bem como a temperatura superficial em ambas as suas faces. Este parâmetro pode também ser obtido através da consulta da publicação do LNEC ITE 50 [5] ou ITE 54 [6], mas, em muitas das habitações existentes não é possível obter informação sobre a constituição das paredes ou esta está incorrecta.
- b) Infiltrações:** No caso de o edifício ser ventilado de forma natural, em termos regulamentares, este parâmetro pode ser obtido através da consulta do Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE) [7]. No entanto, a determinação mais rigorosa do seu valor pode ser feita, por exemplo, com recurso a equipamento laboratorial como a Porta-

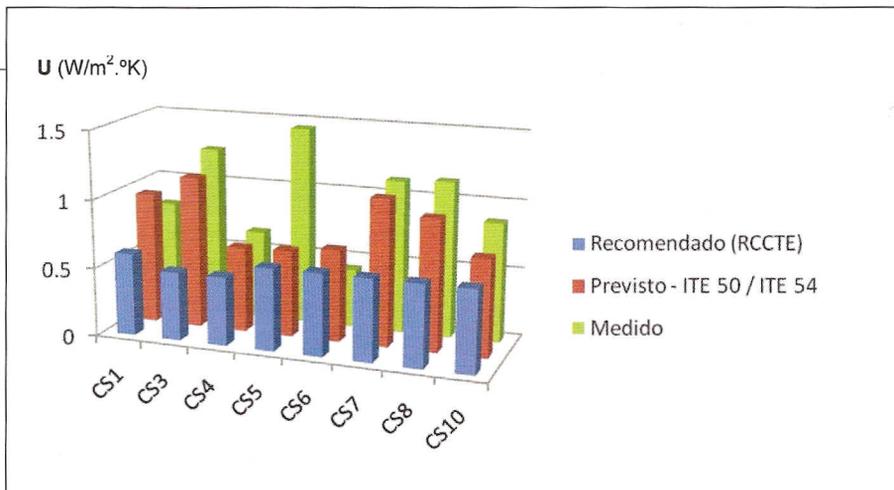
Ventiladora, a qual vai pressurizar/despressurizar a habitação, medindo o caudal de ar que entra/sai da habitação enquanto a pressão estabiliza, possibilitando, assim, a obtenção das infiltrações de ar.

- c) Identificação de Pontes Térmicas:** Pela regulamentação nacional (RCCTE) é apontada a metodologia a seguir para a quantificação do seu efeito para várias situações tipo. Mas, visto que uma parte significativa dos edifícios existentes não possui as plantas e os cortes necessários para uma identificação cabal de todas as pontes térmicas existentes, estas apenas podem ser identificadas através de instrumentos de medição adequados, como a câmara termográfica.

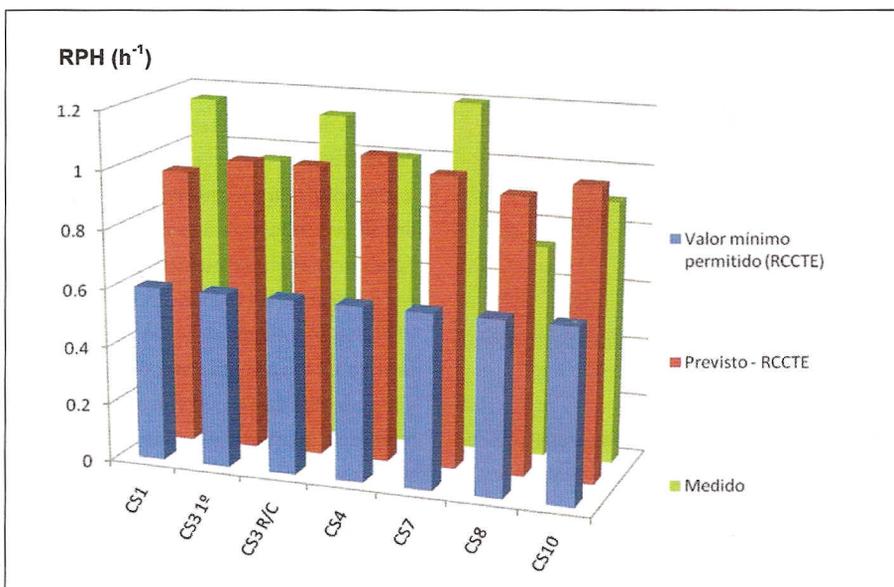
2.3. Resultados da Campanha de Medições

Os resultados obtidos através das medições executadas nos diversos casos de estudo vão ser apresentados por tipo de ensaio efectuado apresentando-se também os valores recomendados ou os obtidos em bibliografia especializada:

Coeficiente de transmissão térmica (U) – Na Figura 1 são apresentados, tanto os valores de U medidos para as paredes da envolvente dos casos de estudo analisados, como os valores de U obtidos/calculados com o ITE 50 e ITE 54



> 1



> 2

e os recomendados pelo RCCTE.

A partir da análise dos resultados foi possível concluir que, para a maioria das situações, os valores de U obtidos experimentalmente são ligeiramente superiores aos previstos pelo ITE 50 para as mesmas paredes e que, na generalidade, os valores de U são bastante superiores aos valores recomendados pela actual legislação, resultando assim em perdas térmicas excessivas através da envolvente. Mais uma vez se constata da necessidade de reforçar significativamente o nível de isolamento da envolvente sendo esta uma das acções prioritárias para alcançar uma reabilitação térmica eficaz.

Infiltrações – para este parâmetro a Figura 2 apresenta os valores medidos do número de renovações de ar por hora (RPH) dos diversos casos de estudo em análise, bem como os valores obtidos seguindo a metodologia indicada no RCCTE e ainda o valor mínimo permitido pela regulamentação (0,6). Os resultados indicam uma boa aproximação entre os valores do número de renovações de ar por hora obtidos seguindo a metodologia regulamentar para habitações apenas com ventilação natural e os valores medidos experimentalmente. Os valores são, no entanto, bastante altos e vão resultar igualmente em perdas térmicas substanciais. Assim, intervenções a este nível são também essenciais em acções de reabilitação, principal-

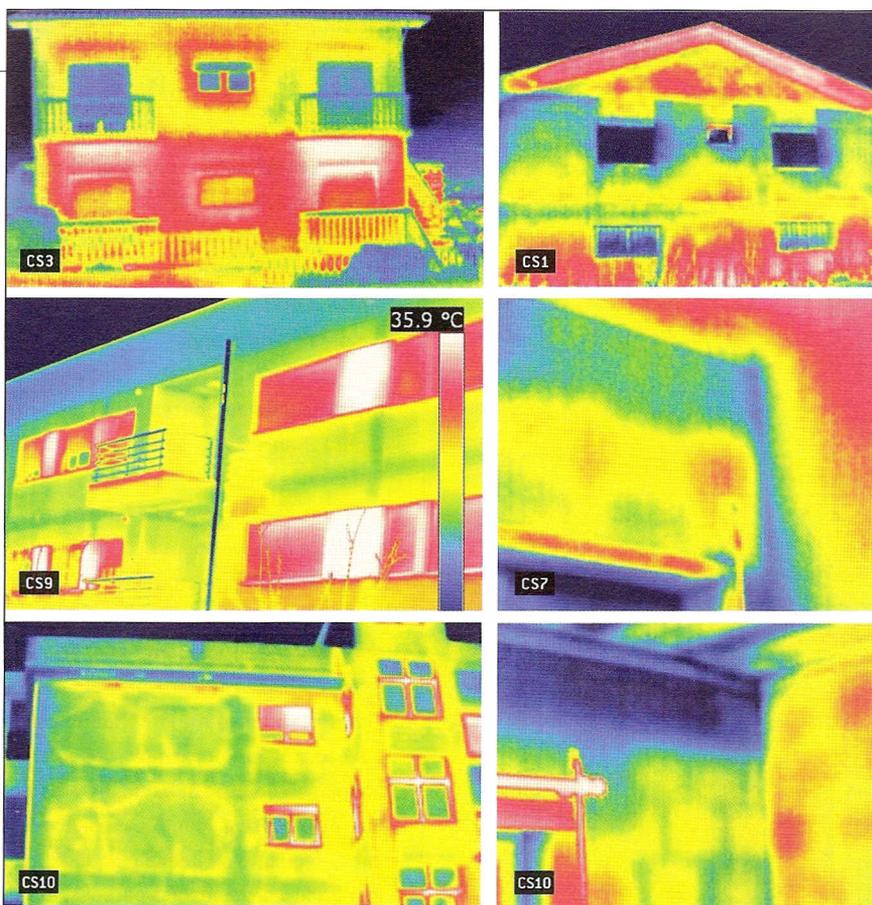
mente através da aplicação de sistemas de ventilação mecânicos, de preferência com mecanismos de recuperação de calor, pois será a forma mais eficiente de atingir os valores óptimos para a renovação de ar em habitações residenciais, com o mínimo desperdício de energia.

Identificação de pontes térmicas – Na Figura 3 apresenta-se um conjunto de fotografias termográficas relativas a alguns dos casos de estudo. Através desta técnica é possível identificar a estrutura construtiva das habitações, as pontes térmicas e as respectivas zonas críticas por onde existem maiores perdas de calor, ou seja, as zonas da envolvente que necessitam de tratamento prioritário em acções de reabilitação. Por exemplo, observando as imagens do CS10, na imagem da esquerda é possível identificar os pilares e lajes, enquanto na imagem da direita se identifica a alvenaria das paredes, assim como o talão de viga, o qual é uma ponte térmica com grande influência no balanço térmico. Como tal verificou-se que para evitar esta patologia, durante as intervenções de reabilitação será necessário, ou aplicar isolamento de forma contínua pelo exterior, ou isolar localmente pelo interior reforçando as zonas de ponte térmica (conforme as possibilidades).

Com a campanha de medições realizada foi possível identificar alguns dos problemas mais críticos do parque edificado, os quais terão que merecer uma atenção redobrada aquando de intervenções de reabilitação, de forma a melhorar significativamente o desempenho energético dos edifícios. Como tal, foi apurado que, em termos gerais, será necessário: reduzir significativamente o *coeficiente de transmissão térmica* (U), aplicando-se níveis de isolamento térmico bastante superiores aos existentes; *reduzir as infiltrações* com a aplicação de caixilhos mais estanques, calafetagem de janelas e portas ou utilização de sistemas

> Figura 1: Coeficiente de transmissão térmica [U] dos Casos de Estudo.

> Figura 2: Número de renovações de ar por hora para os diferentes Casos de Estudo.



> 3

de ventilação mecânica com mecanismos de recuperação de calor; evitar a existência de *pontes térmicas* isolando de forma contínua pelo exterior ou isolando localmente pelo interior.

3. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE REABILITAÇÃO DE FACHADAS

3.1. Premissas Iniciais das Soluções

No âmbito dos projectos atrás referidos, e no intuito de desenvolver soluções de reabilitação adequadas às actuais necessidades do parque habitacional português, o LFTC iniciou o desenvolvimento de algumas soluções de reabilitação de fachadas, nomeadamente:

- Sistema tipo fachada ventilada;
- Sistema tipo módulo prefabricado.

A avaliação do potencial destes sistemas, quer na vertente de design, quer nas vertentes de

aplicação, comportamento estrutural, comportamento termo-acústico, etc., está a ser feito com recurso a ferramentas informáticas de modelação 3D, ferramentas de simulação energética e construção de um protótipo. Durante o desenvolvimento das soluções de reabilitação propostas, as ferramentas aplicadas, até ao momento, foram a ferramenta gráfica 3D – Google SketchUp® [8] – de forma a testar a sua aplicação e verificar o aspecto das soluções, e a ferramenta de simulação energética – eQuest® [9] – com o objectivo de prever o aumento da eficiência energética das diversas soluções.

Solução tipo Fachada Ventilada

Este sistema é baseado em sistemas de fachada ventilada do tipo soluções tradicionais de revestimento independente descontínuo com isolante térmico na caixa-de-ar, mas utilizando sistemas construtivos típicos da empresa DST, S.A., com níveis de isolamento superiores aos habituais e com a integração dos tubos de

queda e outras tubagens pelo interior da fachada. Este sistema é composto por uma estrutura metálica de suporte, placas de isolamento térmico pelo interior da solução (poliestireno expandido extrudido – XPS – 6cm) e um revestimento em pedra natural, ou aglomerados de sobras de pedra do centro produtivo de rochas da DST (3 cm). Esta solução conduz a um incremento da resistência térmica da envolvente opaca de cerca de $1.71 \text{ m}^2 \cdot \text{°K/W}$. Esta solução possui uma espessura total de 21 cm e um peso específico total de 61.8 kg/m^2 .

Sistema Tipo Módulo Prefabricado

Este sistema de reabilitação é baseado nos tradicionais revestimentos isolantes prefabricados descontínuos e tem como propósito o desenvolvimento de uma solução prefabricada que permita um processo de reabilitação rápido e de reduzido impacto para os utilizadores. Este módulo tem como princípios orientadores o aumento da eficiência energética dos edifícios através do aumento da resistência térmica da envolvente estando também prevista a integração das diversas tubagens no interior do módulo, permitindo não só atingir uma solução final esteticamente melhorada como proporcionar isolamento às tubagens. O módulo é composto por (do exterior para interior): revestimento exterior delgado (6mm), isolamento em aglomerado de cortiça (3cm), isolamento em XPS (12cm), caixa porta-tubagens com isolamento em poliuretano (12cm), isolamento em aglomerado de cortiça (2cm), barreira pára-vapor e revestimento delgado interior. Este conduz a um incremento da resistência térmica da envolvente opaca de cerca de $4 \text{ m}^2 \cdot \text{°K/W}$, considerando a média ponderada entre a zona corrente e a zona de tubagens. Esta solução possui uma espessura total de 17.7 xcm e um peso específico total de, aproximadamente, 12 kg/m^2 .

3.2. Modelação 3D – Google SketchUp®

A ferramenta de modelação 3D Google SketchUp® tem como objectivo a criação de

> Figura 3: Fotografias termográficas dos vários Casos de Estudo.

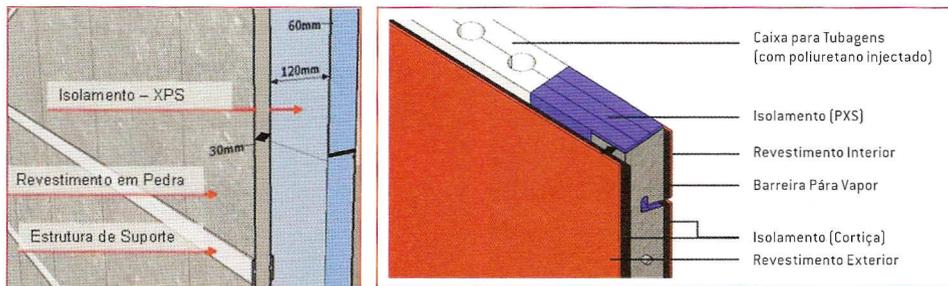


a)
> 4

b)

c)

d)



a)
> 5

b)

modelos 3D para uma fase conceptual do projecto. Esta ferramenta foi utilizada na implementação das soluções desenvolvidas a um caso de estudo – habitação unifamiliar em Braga. Para tal, foi modelada a habitação e seguidamente estudada a aplicação das soluções. A intervenção de reabilitação estudada consiste não só na aplicação dos sistemas de reabilitação em desenvolvimento mas também no melhoramento global de toda a envolvente da habitação, ou seja, no isolamento da laje de cobertura (8 cm de XPS), no isolamento perimetral do pavimento (2 cm de XPS) e na substituição dos caixilhos e envidraçados existentes por novos – caixilho de alumínio com corte térmico e vidros duplos – $U_{\text{wdn}}^{-1} = 2.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$ a partir das imagens apresentadas seguidamente é possível observar a habitação em estudo (Figura 4a) e os respectivos modelos 3D (Figura 4b, 4c, 4d). Adicionalmente são apresentados os modelos 3D das soluções de reabilitação em desenvolvimento (Figura 5a e 5b) e sua aplicação ao caso de estudo (Figuras 6 e 7).

3.3. Avaliação do Desempenho Energético aplicando a Ferramenta de Simulação Energética eQuest®

A ferramenta de simulação energética eQuest®

é gratuita e foi desenvolvida pelo Departamento de Energia dos EUA para a avaliação do desempenho energético das habitações. Utiliza o recentemente actualizado motor de cálculo DOE-2.2, bastante mais rápido, e permite a simulação de novos sistemas energéticos. Com o objectivo de verificar o desempenho energético das soluções de reabilitação em desenvolvimento, foi simulada a sua aplicação ao caso de estudo anteriormente apresentado - habitação unifamiliar em Braga, Para tal, foi exportado o modelo criado no Google SketchUp® para formato CAD e seguidamente importado pelo eQuest. Com o modelo definido no eQuest foram definidas as características da envolvente, os equipamentos, o perfil de ocupação e o perfil de iluminação, para a habitação original e para a habitação com aplicação dos sistemas de reabilitação, sendo então simulados os vários cenários. Os resultados obtidos com a simulação (Tabela 2) mostram uma redução significativa das necessidades energéticas da solução reabilitada, principalmente com a aplicação da solução de reabilitação tipo Módulo Prefabricado.

Com a utilização da ferramenta de simulação foi possível verificar que, apenas com a aplicação dos sistemas de reabilitação, isolamento da cobertura, isolamento perimetral no pavimento e substituição de vidros simples

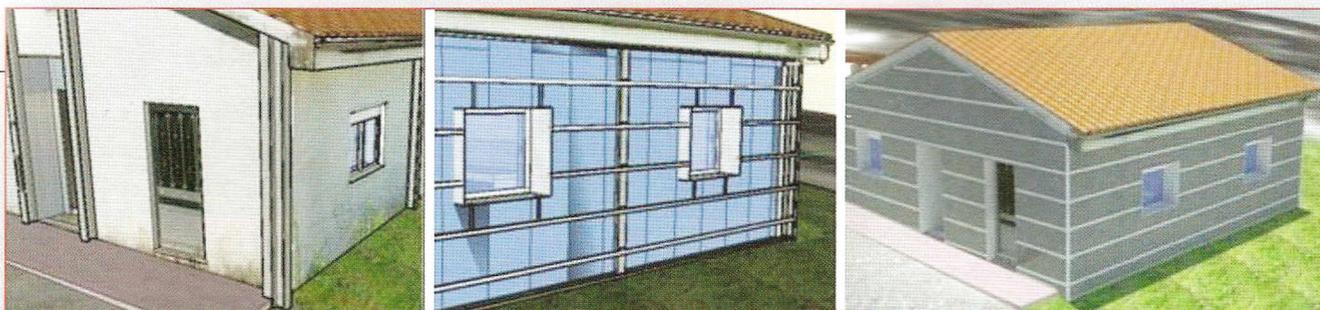
por duplos, foi possível obter uma redução das necessidades energéticas de 63%, para o caso do sistema de fachada ventilada e de 73%, para o caso do módulo prefabricado. No entanto, estes valores terão que ser aferidos/confirmados em testes experimentais da solução de reabilitação em ambiente real e à escala real. Para isso está em fase de construção um protótipo que será montado nas células de teste existentes nas instalações do LFTC-UMinho.

4. CONCLUSÕES

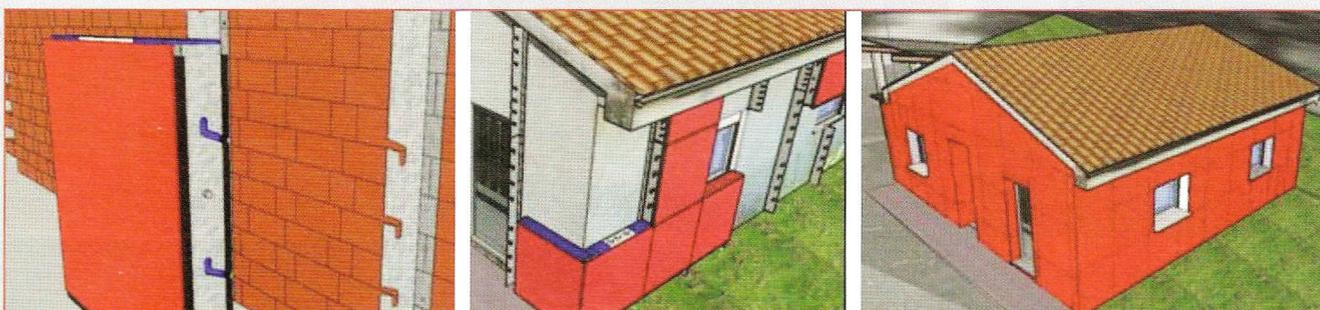
Seguindo as mais recentes políticas internacionais, é premente uma redução acentuada dos actuais consumos energéticos dos edifícios existentes. Considerando que o parque habitacional existente é responsável por grande parte da energia final consumida, foi considerado de extrema utilidade o desenvolvimento de soluções de reabilitação energética. Neste contexto, foi executada uma extensa campanha de monitorização de habitações residenciais existentes, de forma a identificar as reais necessidades de reabilitação do parque edificado. Foram em seguida propostas duas soluções de reabilitação térmica de fachadas nas quais foram tidos em consideração os

> Figura 4: Habitação em estudo: a) fotografia; b) modelo 3D exterior; c) modelo 3D interior; d) modelo 3D corte.

> Figura 5: Componentes da Solução a) tipo Fachada Ventilada b) tipo Módulo Prefabricado.



> 6



> 7

Caso de estudo em Braga		Original	Sistema de Fachada Ventilada	Módulo Prefabricado
U (W/m ² .°K) da fachada		2.15	0.46	0.21
Necessidades Energéticas (kWh/m ² .ano)	Aquecimento	318.1	108.2	68.5
	Arrefecimento	1.2	10.5	18.3
	Totais	319.3	118.7	86.8

Tabela 2 > Coeficiente de transmissão térmica (U) e necessidades energéticas para o caso de estudo em Braga.

resultados da campanha de medições, os resultados da modelação 3D assim como os resultados das simulações energéticas efectuadas. De acordo com os resultados obtidos foi possível concluir que a aplicação dos sistemas desenvolvidos permite reduzir as necessidades energéticas entre 60% e 70%. De modo a validar as soluções de reabilitação propostas está prevista a execução de alguns protótipos, seguindo-se a sua monitorização. Assim, a partir da utilização de soluções de reabilitação prefabricadas será possível, além de uma considerável redução dos consumos energéticos, obter também uma solução esteticamente melhorada através de intervenções rápidas, de qualidade controlada e relativamente económicas, reduzindo-se assim o

incómodo provocado aos ocupantes aquando da realização deste tipo de intervenções.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia) pelo seu financiamento ao Projecto PTDC/ECM/67373/2006, assim como a atribuição da bolsa SFRH / BDE / 15599 / 2006 ao autor Pedro Silva, sem os quais não seria possível realizar o trabalho apresentado. Adicionalmente, um agradecimento especial à administração da DST, S.A., nomeadamente ao Eng.º José Teixeira, pelo investimento disponibilizado para a realização de alguns dos estudos apresentados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INE – Instituto Nacional de Estatística. Census 2001. INE, 2001.
- [2] Euroconstruct, Country of the Month – Portugal. Agosto, 2005.
- [3] European Commission: On the Energy Performance of Buildings, Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council, Dezembro 2002.
- [4] ASTM, Standard Practice C 1155 - 95. Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.11, West Conshohocken, 1999.
- [5] C. Pina dos Santos e L. Matias. ITE 50 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios. LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, 2006.
- [6] C. Pina dos Santos e R. Rodrigues. ITE 54 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios. LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, 2006.
- [7] RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Decreto-Lei nº 80/2006, 4 de Abril, 2006
- [8] Google SketchUp – Version 7.0. © Google Inc. 2008.
- [9] Hirsch, J. eQuest v3.40 – Tutorial. James J. Hirsch, 2003.

> Figura 6: Etapas de aplicação da Solução tipo Fachada Ventilada e aspecto final da habitação em reabilitação.

> Figura 7: Etapas de aplicação da Solução tipo Módulo Prefabricado e aspecto final da habitação.