

## TENDÊNCIAS CONTEMPORÂNEAS NA REABILITAÇÃO DE FACHADAS



Paulo MENDONÇA  
Professor Associado  
Universidade do Minho, Guimarães

### SUMÁRIO

Este artigo tem como objetivo mostrar algumas tendências contemporâneas na reabilitação de edifícios, centrando-se nos elementos com maior influência no desempenho funcional e imagem exterior – as fachadas. Apresentam-se alguns casos de estudo demonstrativos da integração em fachadas de sistemas energéticos passivos e ativos. Como denominar comum aos casos de estudo apresentados, foram utilizadas tecnologias digitais, seja no projeto, representação e simulação do desempenho das soluções, seja na própria construção de protótipos e na eventual produção futura dos componentes. As tecnologias digitais têm contribuído para a alteração da nossa percepção e opções estéticas. O fácil acesso à informação e às tecnologias permite aumentar as ferramentas de projeto disponíveis para o apoio aos projetistas e construtores, bem como divulgar, desenvolver e promover o sentido crítico e a cultura arquitetónica no cidadão comum, aumentando o nível de exigência e de receptividade à inovação no promotor. Outro denominador comum às soluções apresentadas são a utilização de materiais de construção não convencionais, nomeadamente membranas, painéis solares e vegetação viva. A utilização inovadora de materiais convencionais é também explorada nalguns dos casos de estudo apresentados.

### 1. INTRODUÇÃO

Em 2015 existiam em Portugal cerca de 3,6 milhões de edifícios de habitação familiar clássica e 5,9 milhões de alojamentos familiares clássicos (+0,1% face ao ano anterior, em ambos os indicadores). Este número supera já largamente as necessidades de alojamento da população portuguesa, mesmo tendo em conta a reduzida dimensão dos agregados familiares. Apesar da diminuição do número total de obras de reabilitação entre 2010 e 2015 (-3 180 edifícios concluídos e uma taxa de variação média anual de -11,7%), verificou-se um crescimento

sucessivo do peso relativo deste tipo de obras, de 23,8% em 2010 para 33,4% em 2015 (cerca de +10 p.p.), em resultado da diminuição do número de edifícios concluídos em construções novas. Em 2015, cerca de 57% do total de obras de reabilitação destinaram-se a habitação familiar (em 2010 esta proporção foi 68,3%) evidenciando um crescimento do peso dos outros destinos, que não habitação, para estes tipos de obras. [1].

Em comparação com os restantes países da União Europeia, Portugal tem um Parque edificado relativamente recente, como se pode ver na Figura 1. Tal deve-se a um boom de construção durante os anos 80 e 90 do século passado, mas que no entanto apresenta, na sua grande maioria, edifícios feitos com pouca qualidade construtiva devido a limitações orçamentais e tecnológicas iniciais, mas também à falta duma legislação ambiental exigente (até ao início dos anos 90) e fiscalização deficitária. Hoje em dia, as novas exigências regulamentares, especialmente relacionadas com a implementação da Certificação Energética, seguindo diretivas europeias, estão a conduzir a mudanças relevantes, especialmente em relação à eficiência energética. No entanto, a legislação e as preocupações sobre os impactos ambientais relacionados com as fases de construção e demolição são ainda muito negligenciadas [2].

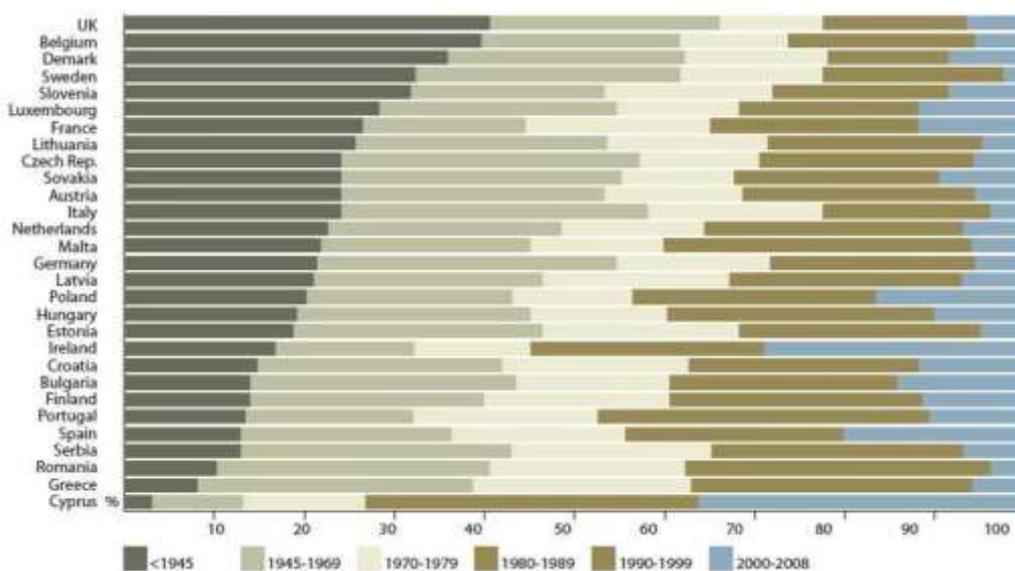


Figura 1: Idade do parque edificado nos diferentes países da EU (Fonte: [http://www.entranze.eu/files/downloads/D6\\_11/entranze\\_report\\_final.pdf](http://www.entranze.eu/files/downloads/D6_11/entranze_report_final.pdf)).

Desde a segunda metade do século XX, podendo-se pela análise da Figura 1 deduzir que correspondendo a mais de 50% dos edifícios existentes, o sistema construtivo mais comum hoje em dia em Portugal são os pórticos de betão armado com preenchimento em tijolo vazado nas paredes e por lajes de betão aligeiradas com abobadilhas em pavimentos e coberturas. A produção dos materiais cerâmicos para construção (tijolos vazados, abobadilhas e telhas) está concentrada principalmente no centro litoral do país [3].

## 2. REABILITAÇÃO ENERGÉTICA ATRAVÉS DA FACHADA

Sempre que se pretende reabilitar uma fachada, o projetista deve colocar-se diversas questões, entre outras [2]:

- Construção e estrutura: Como são os elementos / componentes da fachada do edifício, como se montam e como se suportam?
- Imagem: O que se pretende comunicar?
- Função: Quais são as solicitações a que esta deve dar resposta, incluindo o consumo energético no fabrico dos seus componentes, durante a construção, uso e demolição e qual a influência da configuração desta no consumo energético do edifício?

Destes aspetos referidos, um será aqui mais desenvolvido, pela crescente importância que tem conhecido: o desempenho energético associado com as maiores exigências em termos regulamentares e consciência ambiental.

Cada vez mais as fachadas aparecem tratadas como sendo os elementos mais influentes no funcionamento passivo do sistema energético dos edifícios. No entanto, estas não podem ser vistas numa forma isolada da influência de outros elementos construtivos, já que é o conjunto destes elementos que condicionam o desempenho energético dos edifícios. As propriedades dos elementos componentes da fachada terão de assegurar o correto desempenho ao longo da vida útil a um custo de manutenção que não seja desequilibrado relativamente ao custo inicial.

A envolvente dos edifícios na arquitetura vernacular Portuguesa, até meados do século XIX, era desenhada de acordo com as condições climáticas locais e os materiais disponíveis, normalmente com elementos pesados portantes na fachada que asseguravam maior massa térmica, em zonas do interior, mais continentais; e menor massa térmica em zonas marítimas, mais temperadas. A iluminação natural era um aspeto secundário, pelo menos em habitação, já que sobre este aspeto as tecnologias construtivas disponíveis ofereciam menos opções do que as atuais, essencialmente pela maior dificuldade na obtenção de vidros. Foi apenas na segunda metade do século XIX que, com a industrialização do seu fabrico, se tornou vulgar a utilização destes em janelas, cobrindo desta forma maiores áreas, mesmo em edifícios de habitação [2].

Este facto veio permitir a utilização do sol enquanto recurso energético, mas também incrementar a necessidade de utilizar sistemas de proteção solar, selecionados e configurados de acordo com as condições climáticas. A varanda envidraçada torna-se um recurso frequente de reabilitação em diversos contextos, essencialmente urbanos. As suas vantagens em termos de eficiência energética foram demonstradas na tese desenvolvida pelo autor deste artigo [2]. Na Figura 2 pode-se ver um exemplo de reabilitação num edifício oitocentista, realizada provavelmente na primeira metade do século XX, com uma solução de estufa envidraçada. Este recurso é explorado ainda atualmente, como o demonstra uma série de intervenções realizadas na reabilitação energética de edifícios de habitação social no Porto. Um exemplo de solução deste tipo foi implementado na reabilitação em 2007 do Bairro do Carvalhido, cuja construção inicial foi completada em 1958 (Figura 3).



Figura 2: Ampliação / reabilitação de varanda no Porto.



Figura 3: Reabilitação com estufa integrada no Bairro do Carvalhido, Porto.

A introdução dos sistemas de climatização mecânicos (AVAC) teve a sua origem no início do século XX. O “Larkin Administration Building” de Frank Lloyd Wright, acabado de construir em 1906 e localizado em Búfalo, Nova Iorque, dispunha de um sistema de climatização mecânico centralizado, para aquecimento e arrefecimento. Wright afirmaria mesmo na sua autobiografia em 1943, que este foi o primeiro edifício dos Estados Unidos com equipamento de ar condicionado. Também Charles Rennie Mackintosh pode reivindicar o lugar pioneiro na utilização de ar condicionado no edifício da Escola de Glasgow, completado em 1909, ainda que uma primeira fase de obra tenha ficado concluída dez anos antes [3]. Apesar destes primeiros exemplos datarem da primeira década de 1900, os sistemas AVAC apenas se generalizaram nos anos 50, após o fim da 2ª Guerra Mundial. Esta generalização impulsionou os projetistas a subverter a relação natural na adequação das características da envolvente exterior ao clima. Isto trouxe, com a grande divulgação do movimento internacional, o aparecimento de grandes superfícies vidradas em climas e com orientações pouco recomendáveis, com os consequentes problemas de consumos energéticos associados à manutenção das condições de conforto térmico.

Nos anos 70, a repentina subida dos custos energéticos e a tomada de consciência dos problemas ambientais associados à produção de energia a partir de combustíveis fósseis e nuclear, viria a alterar a tendência que se vinha sentindo para uma arquitetura descontextualizada do clima. Desta forma sentiu-se uma necessidade crescente de equacionar as implicações energéticas do desenho das fachadas. Neste contexto, os sistemas bioclimáticos começaram a ganhar um interesse crescente, promovendo-se o desenvolvimento da investigação e utilização destes. A Figura 4 sintetiza os diferentes sistemas energéticos em edifícios.

No caso da habitação, em que os ganhos internos não são muito significativos e, no caso concreto do clima português, as necessidades de aquecimento durante o Inverno são facilmente preenchidas por uma correta orientação e dimensionamento das áreas envidraçadas, um bom isolamento térmico, incluindo o isolamento noturno das áreas de envidraçados, e uma determinada massa térmica. Por outro lado, as necessidades de arrefecimento, no Verão, são normalmente resolvidas com o correto desenho da envolvente exterior, permitindo uma ventilação para arrefecimento noturno, o sombreamento dos envidraçados e uma determinada massa térmica no interior [2].



dificuldade de execução de montagem - necessidade dum maior cuidado nos detalhes de fixação e na aparência estética - pelo maior protagonismo que toma no exterior do edifício [2]. Anabela Silva [4] procedeu à tipificação e exemplificação de boas práticas de edifícios que integram sistemas de aproveitamento de energia solar ativos. Com o intuito de diversificar e alargar o âmbito deste confronto direto entre a tecnologia e o desenho arquitetónico, os exemplos estudados pretendem abranger um conjunto diverso de critérios. São expostos projetos dotados de sistemas solares em diferentes zonas de integração (fachada, cobertura e outros elementos construtivos) seja em edifícios novos, seja em projetos de reabilitação. Segundo Silva [4] diferenciam-se em seis categorias (Figura 5): a) estrutura isolada; b) elemento adicionado; c) elemento de dupla função; d) parte do elemento construtivo; e) fachada ou cobertura completa e f) pele total do edifício.

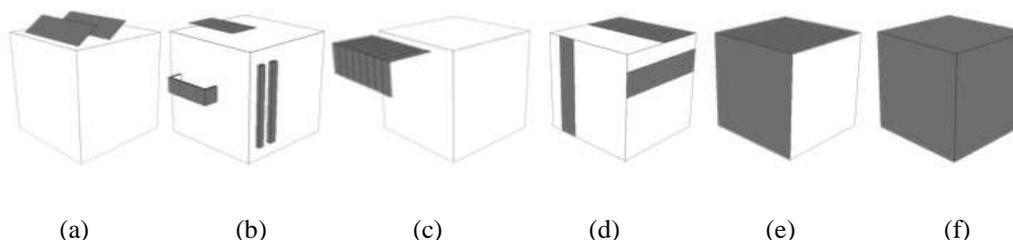


Figura 5: Representação esquemática das categorias de integração de sistemas de aproveitamento de energia solar [4].

De forma a complementar os exemplos exibidos, é exposto na Figura 6 um esquema que pretende explicar e demonstrar de forma simplificada a instalação técnica do painel solar em relação ao edifício: F1) instalação vertical distanciada da fachada; F2) instalação vertical sobre a fachada; F3) instalação vertical como revestimento de fachada; C1) instalação inclinada distanciada da cobertura ou fachada inclinada; C2) instalação inclinada sobre telhado ou fachada inclinada; C3) instalação inclinada como revestimento de fachada [4].

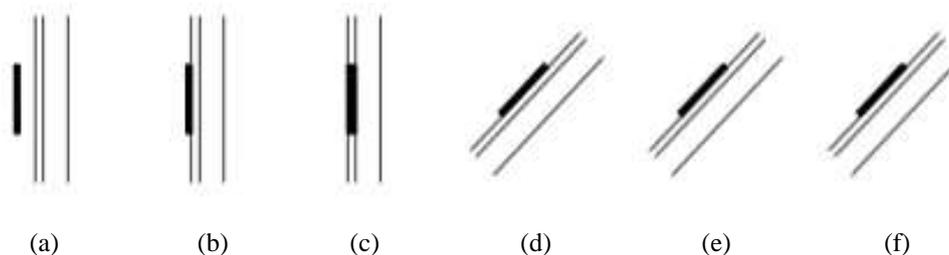


Figura 6: Esquema das possíveis instalações técnicas dos painéis solares em fachada (adaptado de [4]).

Um os projetos estudados por Silva [4] foi a reabilitação duma antiga Central elétrica da “Electricité de France” do início do século XX, levada a cabo por Emmanuel Saadi, no ano de 2007, foram instaladas células de silício monocristalino nos envidraçados da fachada principal. O programa do edifício assumia como principal objetivo a criação de duzentos e oitenta postos de trabalho no (agora) centro de atividades de quatro pisos. As células instaladas permitem produzir 60 MWh / ano de energia elétrica restaurando a função original do edifício, ao mesmo tempo que permitem proteger da radiação solar térmica e controlar a entrada de luz, permitindo ainda a manutenção de privacidade. A distribuição das células na fachada assenta sobre uma trama resultante da pixelização duma fotografia das alvenarias de pedra existentes no edifício [5].

A integração dos painéis pode não apenas apresentar dificuldades ou restrições a nível de projeto e de obra, mas pelo contrário englobar aspetos vantajosos que podem consistir, por

exemplo; em limitar os ganhos térmicos através do sombreamento de janelas. Um exemplo disto é a reabilitação da fachada do Edifício Northumberland, em Newcastle upon Tyne, Reino Unido, em 1994, projeto de Ove Arup. Esta obra inclui 430m<sup>2</sup> de painéis em fachada, uma potência instalada de 40kWp e uma produção anual de 25MWh/ano [6].

#### 4. SISTEMAS SOLARES PASSIVOS

Um sistema solar passivo para aquecimento ou arrefecimento pode ser definido como aquele em que as trocas de energia térmica se fazem por meios naturais. Esta definição permite a inclusão de sistemas em que a ventilação, por exemplo, é resultante da abertura mecânica automatizada dos caixilhos ou através de ventilação forçada de baixo consumo. Ainda que possa existir armazenamento, através da inércia térmica, a energia não é transformada e não é independente do sistema, portanto não pode ser aproveitada fora das horas previstas do funcionamento passivo do mesmo. O aproveitamento energético tem a ver com a orientação da fachada, a forma do edifício e a sua posição relativa a obstáculos sombreadores, tais como outros edifícios ou vegetação. A energia solar pode ser assim aproveitada para aquecimento, arrefecimento, renovação do ar e iluminação. Os sistemas solares passivos podem ser classificados segundo três categorias ou conceitos (Figura 4), baseados na abordagem ou combinação de sistemas de ganho, armazenamento e transmissão de energia térmica: ganho direto, ganho indireto ou ganho isolado.

##### 4.1. Sombreamento com vegetação

Uma solução de fachada com vegetação viva permite aumentar a eficiência energética dos edifícios. É capaz de garantir arrefecimento no verão, oferecendo um sombreamento natural e evapotranspiração, por outro lado, funcionar como isolamento térmico no inverno. Para além deste equilíbrio de temperatura, as fachadas verdes permitem diminuir a poluição até 30% nas grandes cidades, assim como atenuar o ruído exterior [7]. Outra das suas vantagens é a retenção da água da chuva, fazendo diminuir o risco de inundações e a contaminação dos rios e ribeiras. As fachadas verdes são, ainda, capazes de criar uma estética diferente no edificado, no sentido em que as próprias espécies vegetais transformam-se com o passar do tempo e de acordo com as estações. Assim, podem-se obter diferentes dimensões, cores e texturas renovando os espaços e criando uma nova dinâmica [7]. Aliando diversidade na escolha das espécies a utilizar ao uso de plantas autóctones, de acordo com as suas potencialidades para serem usadas neste tipo de estruturas, zelar-se-á assim pela conservação dos valores de uma região, das espécies lá existentes e a identidade de um espaço [8].

##### Ocupação Chiquinha Gonzaga

Trata-se de um edifício de finais dos anos 50, que se encontrava abandonado e em degradação no centro do Rio de Janeiro. Inicialmente destinado a ser um hotel, funcionou como escritórios. Uma associação de apoio social desenvolveu a sua reabilitação com o objetivo de lhe dar um novo uso e integrá-lo na cidade. O intuito desta reabilitação foi, para além de criar habitações para sem abrigos, desenvolver espaços comunitários. Esta apropriação chamou-se assim de “Ocupação Chiquinha Gonzaga” [9].

Um dos parâmetros foi um estudo da fachada principal voltada para sudeste, não só na relação visual de e com o exterior mas também com vista ao melhor aproveitamento energético, no âmbito duma preocupação com a sustentabilidade ambiental. É uma orientação problemática, dado que recebe forte incidência solar durante grande parte do dia. Os espaços que se abrem para ela eram sobreaquecidos, causando um desconforto fortemente influenciado pelo clima tropical quente desta região. Era importante manter iluminação e ventilação natural, além da comunicação visual para o exterior. A proposta apresentada para melhoria do conforto ambiental passou pela criação de um módulo plug-in (nome atribuído a partir do conceito desenvolvido pelos Archigram, no projeto Plug-in city). Ou seja, a criação de um dispositivo que é conectado à fachada existente de forma a ser “ativado” [10]. Trata-se de uma varanda

artificial. Um dispositivo que cria um pequeno espaço exterior para cada compartimento da fachada. Consiste numa caixa metálica que liga os vários compartimentos horizontais de cada piso, em que a face voltada para a rua é composta por duas grelhas metálicas. A grelha superior é basculante (nivelada com a janela original do edifício), permitindo ser aberta de forma a funcionar como segunda pala se sombreamento. Este sistema reúne uma série de vantagens. Permite a permanência da entrada de luz solar para o interior dos espaços mas neste caso indiretamente, reduzindo a temperatura interior. O sistema garante uma continuidade visual para o exterior e possibilita uma ventilação natural através das aberturas que compõem o dispositivo [9].

Este sistema também possui adaptações para conveniência dos habitantes, abrigando um estendal para secagem de roupas e suportes para jardineiras. Usos que previamente eram improvisados inadequadamente no interior dos apartamentos. Sendo que se trata de um prédio sem varandas, torna-se importante assegurar este tipo de funcionalidades, ao mesmo tempo que a vegetação ajuda na melhoria do ambiente interior. Configura-se uma nova fachada para o edifício, quebrando-se com a monotonia da fachada pré-existente [11].

### **Green Box**

Trata-se de uma garagem abandonada que deu origem a um pavilhão. Foi modificada pelos arquitetos italianos ACT Romegiall, tornando-se num espaço para ferramentas de jardinagem, área de cozinhar ou espaço de convívio e está integrada numa propriedade de casa de férias nos Alpes Réticos. A estrutura que envolve o edifício em aço galvanizado serve de suporte para a própria vegetação que se apodera e cobre todo o pavilhão camuflando-o na paisagem. Os materiais usados são ásperos e simples, suportando mais a ideia de refúgio que se esconde na envolvente e permite ainda assim ter uma vista privilegiada sobre as mudanças de estação e as alterações no jardim. O interior é retratado assim pelo que acontece no exterior, garantindo aos espaços identidades distintas [7].

### **Livraria Rong Bao Zhai**

A Livraria Rong Bao Zhai é um projeto de 2015, dos Archstudio, situado em Pequim, na China. Originalmente o espaço era uma loja de livros e de pintura chinesa com dois andares. De forma a renovar o conceito de livraria/ biblioteca tradicional, o que se propôs foi um café livraria que proporcionará distintas sensações neste novo espaço. É fomentada a comunicação entre pessoas, o contacto com os livros e a aproximação da natureza, que entra no espaço, permitindo um ambiente relaxante e confortável. As prateleiras de aço são leves, transparecendo a luz necessária para a leitura e para as plantas. Estas estão presentes em caixas também nas prateleiras e ao mesmo tempo podem ajudar no microclima interior deste lugar. As espécies escolhidas foram a malva-de-cheiro (*Pelargonium odoratissimum*) e a hortelã que foram colocadas junto ao café e em frente a janelas [7].

### **Estrutura modular com caixas de fruta**

O sistema modular para construção e reabilitação de fachadas proposto por Francisca Amorim [7] tem como base caixas de fruta em madeira reaproveitadas. Para permitir o crescimento de vegetação viva em fachada combinam-se diferentes materiais, maioritariamente de origem vegetal (Figura 7). As caixas são preenchidas por um substrato de fibra de côco. Este permite controlar a água e nutrientes, assegurando que a vegetação continue a crescer de forma natural, estando ou não no suporte físico: a caixa. Isto facilita a substituição das caixas sempre que necessário, sem que seja preciso a muda da planta. Para além destas vantagens, a fibra de côco assegura isolamento térmico e acústico. Aparafusada à caixa de madeira encontra-se aglomerado negro de cortiça. O aglomerado negro de cortiça garante um isolamento térmico contínuo através do encaixe entre todas as caixas. Este material é proveniente de uma matéria-prima de origem vegetal sujeita a um processo industrial com pouco impacto ambiental [7]. Na solução de fachada proposta (Figura 8), a vegetação também funciona como elemento de sombreamento. De acordo com a orientação solar, selecionam-se espécies de folha perene ou caduca que ajudem no controlo térmico da habitação e a maior ou menor entrada de luz. Em certas zonas, as plantas funcionam exclusivamente para uso alimentar, formando uma horta que apoia a cozinha [7].

Do lado interior a parede pode ser igualmente formada por caixas, criando não só armários ou gavetas de arrumações como também lugares de sentar e conviver. A separar as duas paredes encontra-se uma película de PVC, material transparente que é impermeável e garante visão para o exterior. O PVC cristal é um elemento contínuo, sendo interrompido somente nas janelas móveis que permitem a abertura para o exterior e a ventilação do edifício, por ventilação cruzada. A parede deverá ser fixada a uma calha metálica na parte inferior. Esta assegura também a recolha do excesso de água, proveniente da rega da vegetação [7].

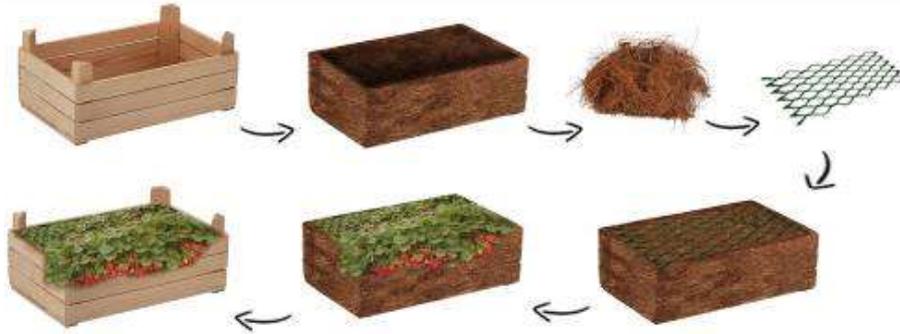


Figura 7: Sequência de montagem da vegetação no módulo de caixa [7]

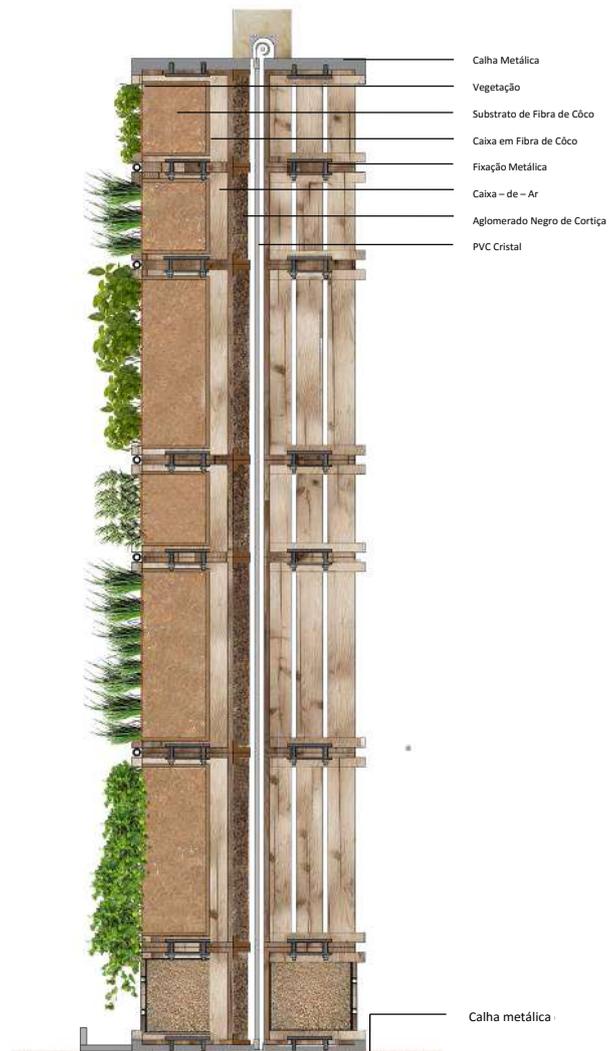


Figura 8: Corte vertical da solução de fachada modular com vegetação viva [7].

#### 4.2. Sombreamento com geometrias complexas

A forma de um dispositivo de sombreamento deve obedecer a certas regras que dizem respeito ao clima local, nomeadamente à geometria solar. O material apropriado deve também ser ponderado. São frequentemente utilizados metais, betão ou de madeira, mas também têxteis ou polímeros. Os polímeros podem ser interessantes como um material de construção para dispositivos de sombreamento por causa do peso reduzido, configurações geométricas quase ilimitadas e possível incorporação de diferentes graus de translucidez. A eficiência dos dispositivos de proteção solar também depende da sua posição em relação ao elemento transparente de estanquidade (geralmente um envidraçado), dispositivos exteriores são mais eficientes no verão e dispositivos interiores são mais eficientes no inverno, se o objetivo é o de alcançar um bom equilíbrio entre as necessidades de conforto térmico e de iluminação [2].

Apesar dos avanços significativos dados pelos sistemas BIM não existem ainda ambientes de design digital que conjuguem exaustivamente todas as necessidades relacionadas com a análise, simulação e conceção de dispositivos de sombreamento de fachadas. Torna-se portanto responsabilidade do projetista construir o seu próprio que permita a integração dos diversos softwares de simulação necessários para a otimização eficiente e orientada para o processo de design [12]. Loyens [13] desenvolveu uma metodologia de design otimizado em função de vários critérios simultâneos, combinando softwares e scripts proprietários unidos para resposta a um objetivo comum. Através desta metodologia projetou-se um sombreador de edifícios de geometria complexa, a ser produzido numa solução leve de membrana ou casca. O processo de design dum sombreador de geometria complexa pode ser dividido em quatro fases, com base em processos iterativos. O primeiro passo é definir uma geometria em relação a um conjunto de regras paramétricas, condições de contorno, requisitos de desempenho e restrições estruturais. Neste estudo um modelo 3D foi desenvolvido no Rhinoceros 3D [14] um software de CAD que permite a partilha de informação com outros softwares através da exportação em diferentes formatos de arquivo [12].

Uma célula de teste, para avaliação experimental de soluções de membrana de pequeno vão foi construída na Universidade do Minho, no Campus de Azurém, Guimarães. Este protótipo, descrito já em detalhe em anteriores publicações [15, 16] consiste num cubo com 2,5 x 2,5 x 2,5m (Figura 9).



Figura 9: Célula de Teste de Soluções de Membrana, Universidade do Minho, Campus de Azurém.

A sua estrutura principal é feita de perfis de alumínio. As fachadas Este e Oeste são feitas com uma membrana de poliéster branco opaco / PVC inserido nos perfis de alumínio através dum cordão de PVC. A sua estabilidade estrutural é assegurada por quatro tubos de aço com 20 centímetros de comprimento comprimidos contra a membrana por dois cabos de aço cruzados fixos aos cantos, que também asseguram a estabilização transversal dos painéis. As fachadas

Sul e Norte têm uma película de PVC transparente como elemento de estanquidade. A fachada Norte é uma estrutura pneumática, com dupla camada. A fachada Sul é um tensado com uma única camada, e foi deixada livre para testes de sistemas de sombreamento em membrana. Um dos ensaios efetuados foi feito com uma rede de Poliéster / PVC a sombrear pelo exterior (que se pode ver instalada na Figura 8). Este dispositivo assegura 60% de obstrução, com uma redução verificada na temperatura máxima e atraso térmico em relação ao mesmo compartimento sem sombreamento [16]. A mesma percentagem de obstrução e dimensão de célula foram adotadas para o estudo de Loyens [13]

Para a fase de otimização do processo de design digital dos dispositivos de sombreamento de geometria complexa, a geometria foi desenhada em ECOTECH 2011. O VBScript foi desenvolvido em Rhinoceros 3D. Por motivos computacionais o dispositivo de sombreamento foi limitado a uma estrutura subdividida em nove módulos idênticos [12]. Uma subdivisão em 16 e 25 módulos foi também considerada, mas não considerada neste estudo (Figura 10).

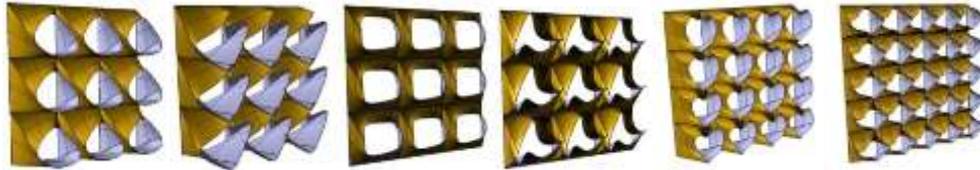


Figura 10: Exemplos de diferentes sombreadores gerados pelo script desenvolvido [12].

Os dispositivos de sombreamento foram otimizados em função de três objetivos, adotados como variáveis para a simulação [12]:

- Ganhos solares diretos, em W/h (para o dia 21/6), com vista a minimizar a temperatura na estação de arrefecimento;
- Ganhos solares diretos em W/h (para o dia 31/12), com vista a maximizar a temperatura na estação de aquecimento;
- Fator de Luz do Dia (FLD) médio no plano de trabalho.

As soluções seleccionadas foram usadas como população inicial para a otimização final depois de introduzir fatores de ponderação (Figura 11b). A solução final adotada considerando uma escolha final pelo designer é a representada na Figura 11 c).

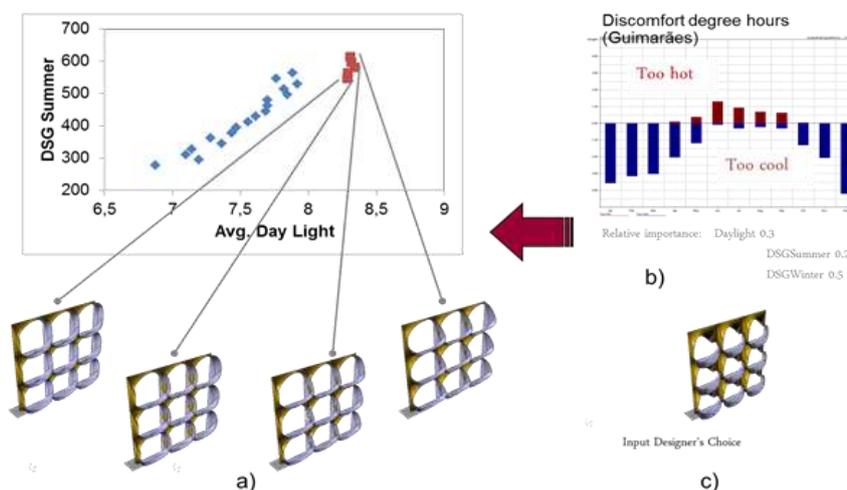


Figura 11: Resultados da otimização final (a); depois de introduzir fatores de ponderação (b); considerando a escolha do designer (c) [12].

#### 4.3. Sombreamento com fachadas filtro cerâmicas

João Amaro [9] elaborou um estudo acerca da utilização do tijolo cerâmico na arquitetura, destacando a adequação do tijolo à função de “filtro” em fachadas. Pretendeu-se promover um

novo uso para o tijolo cerâmico que tire partido das suas potencialidades. Assim, ambiciona-se a criação de uma parede “filtro” que perspetive promover um ambiente interior térmica e luminicamente mais confortável, tendo em conta a incidência solar média em Portugal Continental. Tendo como base os casos de estudo analisados, foi possível catalogar diferentes tipos de fachada “filtro” com tijolo. Como tal, foram realizados esquemas das tipologias espaciais mais vulgares neste tipo de solução (Figura 12).

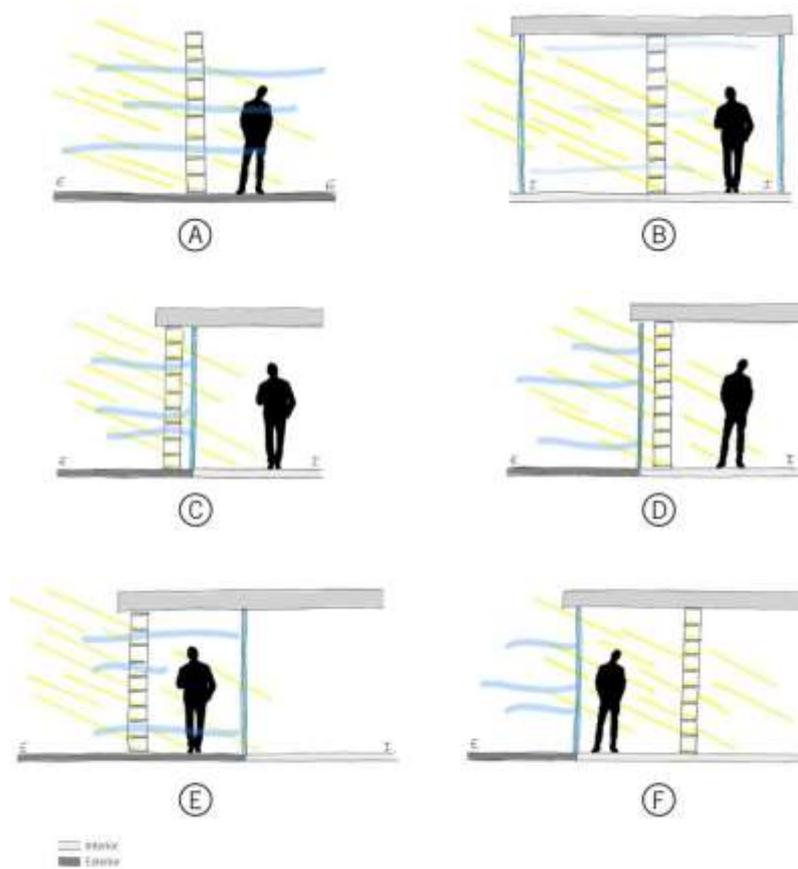


Figura 12: Tipologias de fachada “filtro” com tijolo [9].

Na tipologia A, a parede “filtro” é simplesmente colocada no exterior entre espaços não climatizados, permitindo a permeabilidade visual, a circulação de ar e filtrando os raios solares; Na tipologia B, a parede filtro situa-se no interior do edifício, permitindo a circulação de ar no interior dos espaços e a comunicação visual, contribuindo da mesma forma para filtrar a luz solar se for o caso; Na tipologia C, a parede filtro situa-se no exterior, tendo o pano de vidro pelo interior. Como o elemento de proteção solar se encontra pelo exterior, impede-se a entrada de radiação direta para o interior antes que penetre no vidro, minorando o efeito de estufa. Esta tipologia encontra-se presente na maioria dos casos estudados; Na tipologia D, a parede e o pano de vidro invertem as suas posições, estando a parede “filtro” pelo interior. O funcionamento é semelhante ao da tipologia anterior, mas como o vidro se encontra agora pelo exterior permite a entrada direta da radiação solar para o interior antes que seja filtrada pelo dispositivo sombreador incrementando o efeito de estufa; Na tipologia E, a parede “filtro” é colocada pelo exterior do edifício, mas desta vez gerando um espaço de circulação exterior entre si e o vidro. Todo o espaço à direita da parede “filtro” no esquema recebe a filtragem de luz e radiação, sendo que a ventilação só penetra o corredor; Na tipologia F, a parede “filtro” encontra-se pelo interior, gerando-se um espaço corredor intermédio entre esta e o elemento de estanquidade (vidro). O funcionamento é semelhante ao da tipologia D [9].

A parede “filtro” representada na Figura 13, de tipo C, foi considerada a melhor das soluções analisadas (de um total de 12), com um adequado equilíbrio entre os ganhos solares no Inveno

e a proteção no Verão e um custo de instalação reduzido. A solução consiste numa parede em tijolos de 30x20x7cm com 45% de vazios por m<sup>2</sup> que permite uma adequada filtragem de energia solar e ventilação. Tendo como objetivo a utilização dos tijolos íntegros, os vãos necessários daí resultantes requerem afastamentos entre peças que reduzem a sua área de contacto para assentamento. A parede pode ser extensível, alargando ou encolhendo o espaçamento entre tijolos de forma a adaptar-se a diferentes larguras de vãos e evitar o corte e desperdícios de material. Preconiza-se que a união entre as peças seja feita com a utilização de silicone cola para exterior com características adequadas.

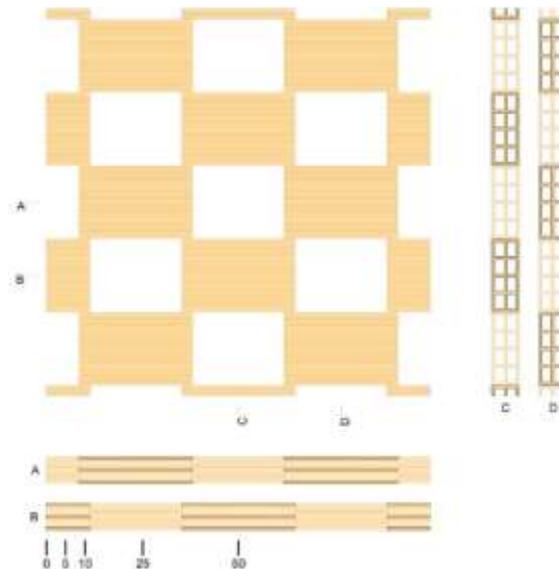


Figura 13: Solução de parede filtro em tijolo otimizada [9].

A eleição do silicone como material de fixação deve-se ao facto de poder ser removido sem danificar as peças, em caso de substituição de alguma peça danificada. Trata-se também de um produto de aplicação direta, não necessitando de confeccionar argamassas que tornariam a sua construção mais lenta. De forma a reduzir a manutenção da parede e tornar os elementos mais resistentes a agentes atmosféricos, a vidragem é uma mais-valia que se poderá considerar. Com esta, a limpeza torna-se muito mais simples, para além de maximizar o reflexo de radiação visível. Para isso, a coloração de esmalte a considerar preferencialmente é o branco, por ser uma cor neutra e transmitir mais luminosidade [9].

De forma a validar a solução, foi idealizada a sua instalação numa célula de teste com a fachada orientada a Sul. Na Figura 14 apresenta-se uma série de imagens virtuais do interior da célula, onde é perceptível a filtragem de luz solar que a parede gera ao longo do ano [9].

## 5. CONCLUSÕES

Numa época de permanente invasão dos sentidos através dos média, a tendência na arquitetura é a de tentar criar objetos inovadores e espetaculares. As publicações de arquitetura tendem a dar destaque a tudo o que é invulgar, contribuindo assim para a disseminação e reprodução de determinados modelos arquitetónicos, nem sempre sendo as soluções mais eficientes sob o ponto de vista energético. O CAAD (Desenho de Arquitetura Assistido por Computador) e o CAM (Fabricação Assistida por computador), as ferramentas de simulação virtuais, a impressão 3D, entre outras tecnologias disponíveis atualmente, oferecem inúmeras possibilidades de transmitir informação, criar efeitos estéticos ou otimizar o desempenho funcional das fachadas, mesmo quando a geometria se apresenta complexa. Isto é o que se pretende demonstrar no presente artigo, mostrando que através da utilização de novas

tecnologias com materiais convencionais ou não convencionais é possível reabilitar os edifícios para uma maior eficiência energética.

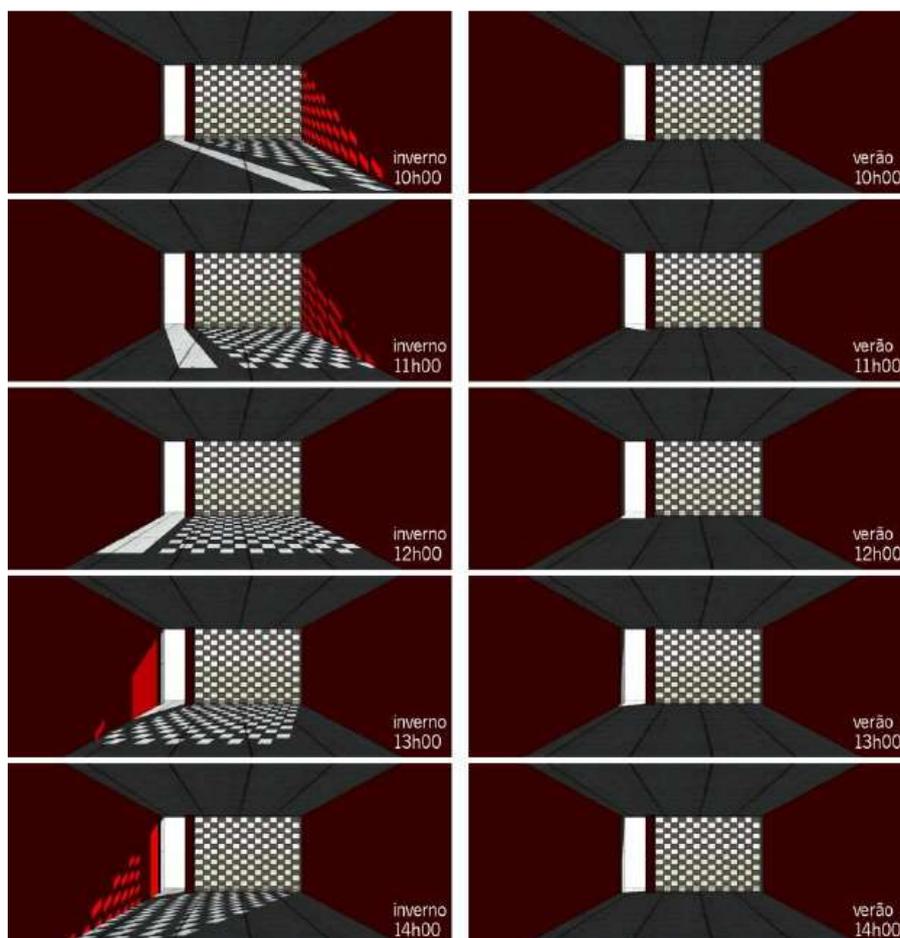


Figura 14: Sequência de imagens virtuais dentro da célula que mostra a passagem de luz solar ao longo do inverno e do verão entre as 10h00 e as 14h00 [9].

## 6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho tem apoio do Projeto Lab2PT- Laboratório de Paisagens, Património e Território - AUR/04509 e da FCT através de fundos nacionais e quando aplicável do cofinanciamento do FEDER, no âmbito dos novos acordos de parceria PT2020 e COMPETE 2020 – POCI-01-0145-FEDER-007528.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] INE - “Estatísticas da Construção e Habitação em Portugal 2015”, INE, Edição 2016.
- [2] Mendonça, P. - “Habitar sob uma segunda pele – Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados”; Dissertação para obtenção do Grau de Doutoramento em Engenharia Civil; Universidade do Minho, Guimarães, 2005.
- [3] Mendonça, P. - “A Fachada como elemento mediador” in “Mark & Sust – Marketing e Sustentabilidade”, Ed. Escola de Arquitectura da Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, ISBN 978-989-96163-3-2, pp 139-161, 2012.

- 
- [4] Roberts, S., Guariento, N. - "Building Integrated Photovoltaics: A Handbook", Springer Science & Business Media, Basel, Boston, Berlin, 2009.
- [5] Silva, A. - "Desenvolvimento de soluções para a integração arquitetónica de sistemas de produção de energia renovável nos edifícios", Tese de Mestrado Integrado em Arquitetura na Universidade do Minho, 2015.
- [6] Cyberarchi - "La mue eléctrica d'une sous-station EDF par Emmanuel Saadi", 2010. Disponível em: <http://www.cyberarchi.com/article/la-mue-electrique-d-une-sous-station-edf-par-emmanuel-saadi-16-06-2010-13774>
- [7] Amorim, A. F. - "A Vegetação na envolvente exterior dos Edifícios: Impactos, condicionantes e estratégias de intervenção eco-eficientes", Tese de Mestrado Integrado em Arquitectura na Universidade do Minho, Guimarães, 2015.
- [8] F. M. G. Delgado et al., "Vegetação autóctone aplicada a painéis de cobertura e fachadas verdes de edifícios urbanos - Projeto GEOGREEN". In Jornadas Ibéricas de Horticultura, 5, Faro: Actas Portuguesas de Horticultura. ISBN 978-972-8936-11-2. 19: 328-340, 2011.
- [9] Amaro, J. - "Reposicionamento da cerâmica na Arquitectura: Estudo e desenvolvimento de um elemento cerâmico como 'filtro'", Tese de Mestrado Integrado em Arquitectura na Universidade do Minho, Guimarães, 2016.
- [10] Nogueira, R. et al. - "Chiqdasilva, bioclimática plugin", São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.bioclimaticarquitectura.com.br/2011/09/chiqdasilva-bioclimatica-plugin.html>
- [11] Rezende, C. - "Tecnologia e Sustentabilidade: Chiq da Silva" 2007. Disponível em: [http://www.ignezferraz.com.br/mainportfolio4.asp?pagina= Artigos&cod\\_item=1855](http://www.ignezferraz.com.br/mainportfolio4.asp?pagina= Artigos&cod_item=1855)
- [12] Mendonça, P., Loyens, D., Cunha, A. G. - "Interactive optimization in the conceptual design stage of shading devices"; in Proceedings of the 6<sup>th</sup> Energy Forum; Bressanone, Italy; 6-7 December 2011.
- [13] Loyens, D. - "Digital Design Fabrication: New Methodologies and Tools for Design and Manufacturing of Composite Architectural Objects"; Tese de Doutoramento em Arquitectura na Universidade do Minho, Guimarães, 2012.
- [14] Robert McNeel & Associates - "Rhinceros 3D Software", 2011. Disponível em: [www.rhino3d.com](http://www.rhino3d.com)
- [15] Mendonça, P. - "Low-span lightweight membranes in housing - environmental and structural potentialities"; Proceedings from the International Conference Structures and Architecture, pp 349-350, Guimarães, 21-23 Julho, 2010.
- [16] Reis, A. P. - "Avaliação Funcional e Económica de Soluções Construtivas Leves", Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil na Universidade do Minho, Guimarães, 2010.

