

Avaliação do desempenho ambiental de soluções de reabilitação de fachadas

Andreia Macedo

Bolseira de Investigação, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal

Ricardo Mateus

Universidade do Minho, Guimarães, Portugal

RESUMO: É urgente reflectir e adoptar comportamentos sustentáveis, preservar a biodiversidade para que todas as espécies, incluindo a humana possam continuar a existir no planeta. Sendo a construção responsável por grande parte dos malefícios ambientais, a reabilitação em detrimento da construção nova é um exemplo de uma boa atitude a seguir, principalmente quando os impactes ambientais dos materiais de construção são considerados. Neste estudo serão analisados os impactes ambientais de várias soluções de reabilitação para a envolvente vertical exterior de edifícios de habitação. No final, as soluções estudadas serão hierarquizadas de acordo com o seu desempenho ambiental e os resultados obtidos constituirão um importante instrumento de suporte aos projectistas na selecção de soluções de menor impacte ambiental.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Reabilitação Sustentável

A construção de edifícios assume-se, desde sempre, como uma necessidade indispensável à sobrevivência humana. A indústria da construção, nomeadamente o sector dos edifícios, é um dos sectores económicos mais importantes na Europa. No entanto, continua a basear-se excessivamente em métodos de construção tradicionais e mão-de-obra não qualificada, sendo caracterizada pelo consumo excessivo de matérias-primas, de recursos energéticos não renováveis e pela excessiva produção de resíduos.

Globalmente, a construção de edifícios é responsável pelo consumo de 40% dos recursos minerais (pedra, brita, areia, etc.), 25% de madeira, 40% da energia e 16% da água consumidos anualmente (Roodman, 1995). Em Portugal, apesar de existirem enviesamentos significativos entre os dados estatísticos e a realidade, estima-se que os edifícios (habitação e serviços) durante a fase de utilização são responsáveis pelo consumo de cerca de 30% dos recursos energéticos nacionais, 6,7% do consumo de água e pela produção anual de 420 milhões de metros cúbicos de águas residuais (DGE, 2009). De acordo com o Instituto Nacional de Estatística, a indústria da construção é responsável pela produção anual de cerca de 7,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos. Esta realidade traduz-se em significativos impactes ambientais, sociais e económicos, com grande potencialidade de virem a ser diminuídos.

A realidade actual é de todo incompatível com os desígnios do desenvolvimento sustentável, nos quais se procura a convivência harmoniosa entre as dimensões ambiental, económica e social, de modo a que as gerações futuras tenham pelo menos as mesmas possibilidades das gerações do presente em satisfazerem as suas necessidades.

Sendo a construção responsável por grande parte destes malefícios, a aposta na reabilitação é uma boa atitude a adoptar, visto que nesta actividade evitam-se os resíduos de demolição, aproveitam-se recursos e aumenta-se o período de vida do edifício.

A reabilitação perfilha uma importância extrema, num mundo onde a construção nova ocupou um lugar de destaque. Este conceito surge invariavelmente ligado ao conceito de

utilidade que se pretende desse mesmo processo. A reabilitação de edifícios, nomeadamente da sua envolvente vertical, é um processo com atitude cultural, pois permite preservar e evitar a degradação do aspecto das cidades. Adicionalmente, a reabilitação permite actualizar o nível de conforto dos edifícios, o seu aspecto arquitectónico, aumentar a durabilidade do edifício e ainda diminuir os impactos ambientais de uma operação urbanística, quando comparados aos de uma construção nova.

A reabilitação sustentável assenta num conjunto de princípios (Kibert, 2005):

- Minimizar o consumo de recursos naturais;
- Aumentar a reutilização de recursos;
- Utilizar materiais recicláveis e reciclados, sempre que possível;
- Proteger o ambiente natural;
- Criar um ambiente saudável e não tóxico na construção;
- Aumentar a qualidade do ambiente interior.
- Maximizar as condições de saúde, o conforto e o bem-estar aos seres humanos.

Portugal é um país com escassos recursos energéticos próprios, nomeadamente aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas da maioria dos países desenvolvidos (o petróleo, o carvão e o gás). Segundo a Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), em 2008 a dependência de Portugal em termos de importação de energia foi de 82%. Sendo um país dependente da importação de energia, este é vulnerável às situações de crise que ocorrem no mercado petrolífero (DGEG, 2009) pelo que é do maior interesse a adopção de medidas que promovam a eficiência energética. O processo de reabilitação dos edifícios, nomeadamente do desempenho energético da sua envolvente exterior, torna-se numa ferramenta essencial para atingir a eficiência energética e ainda melhorar a qualidade do parque habitacional português.

1.2 Importância da reabilitação energética do parque habitacional de Portugal

A idade do parque edificado pode auxiliar a identificação das características físicas dos edifícios e dar uma indicação sobre o actual estado da construção, incluindo a qualidade da sua envolvente.

Segundo os dados estatísticos do Instituto Nacional de Estatística, o parque habitacional português encontra-se degradado e com uma qualidade construtiva deficiente. Com estes dados conclui-se que é necessário requalificar e preservar o parque habitacional existente, evitando a sua degradação física, adoptando níveis de conforto e salubridade mínimos (INE, 2008). O nível de degradação no parque habitacional justifica-se pelo facto de, na generalidade, não ser objecto 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 da 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 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.

O envelope de um edifício, fachadas e cobertura, desempenha um papel fundamental na eficiência energética dos edifícios. A aplicação de isolamento térmico pode possibilitar a economia até 30% de energia, poupando-se no aquecimento e arrefecimento dos espaços interiores (Lisboa E-Nova, 2008). A fachada, por apresentar uma grande influência no desempenho térmico, bem como no aspecto visual de interface com a cidade e seus utilizadores, posiciona-se como uma das áreas prioritárias a considerar na reabilitação dos edifícios, sendo relevante estudar as possibilidades de intervenção (Brito, 2010).

A reabilitação energética de um edifício existente é assim uma abordagem inovadora, que tem por objectivo melhorar a qualidade térmica e racionalizar a gestão da energia, ou seja, conferir a esse edifício uma eficiência energética idêntica à de um edifício novo. A maximização da eficiência energética de edifícios deverá envolver a redução do consumo de

energia para níveis aceitáveis de conforto, a maximização da qualidade do ar e outros requisitos ocupacionais, incluindo a diminuição da energia incorporada na construção.

Na secção seguinte apresentam-se algumas soluções utilizadas na reabilitação de fachadas e que se encontram sobretudo orientadas para o aumento da eficiência energética dos edifícios.

2 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 pelo exterior;
- Isolamento térmico pelo interior;
- Isolamento térmico na caixa-de-ar.

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.

2.1 Soluções de isolamento térmico pelo exterior

A aplicação do isolamento térmico pelo exterior, quando esta solução é possível, apresenta sempre vantagens relativamente à aplicação pelo interior, nomeadamente no que diz respeito à preservação da inércia térmica interior do edifício, pois esta pode funcionar como acumulador térmico. Os materiais compactos e as paredes de elevada espessura têm grande capacidade de armazenamento térmico (Paiva, Aguiar e Pinho, 2006).

Nesta secção apresentam-se cinco soluções construtivas de isolamento térmico pelo exterior.

Solução 1 - Revestimentos fixados ao suporte através de uma estrutura intermédia

As soluções de revestimentos independentes descontínuos (Figura 1), 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 *et al*, 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 2 - Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com revestimentos aplicados sobre isolante - ETICS

Os sistemas de isolamento térmico pelo exterior com revestimento aplicado sobre isolante são correntemente conhecidos pela sigla ETICS (do inglês: External Thermal Insulation Composite Systems). Estes sistemas foram desenvolvidos no sentido de serem uma barreira às trocas térmicas entre os ambientes interior e exterior (Santos, 2007)

Existem dois subtipos de ETICS, que se distinguem pela espessura do revestimento aplicado: sistemas de isolamento térmico por revestimento espesso sobre o isolante e sistemas de isolamento por revestimento delgado sobre o isolante.

Solução 2.1 - Sistemas de isolamento térmico por revestimento espesso 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.

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 m²/l/demão sobre o paramento.

Solução 2.2 - Sistemas de isolamento térmico por revestimento delgado 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.

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 m²/l/demão aplicada sobre o paramento exterior em argamassa.

Solução 3 - Componentes prefabricados constituídos por um isolante e um paramento, fixados directamente à parede - Painéis Isolantes Prefabricados (Vêtures)

Os sistemas de isolamento térmico por elementos descontínuos prefabricados, vêtures, (Figura 4) 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 de 0,03m de espessura e de um revestimento liso em chapa de aço-galvanizado, de 0,004m de espessura.

Solução 4 - Rebocos Isolante

Esta solução trata-se da aplicação de argamassas que incorporam grânulos de pequeno diâmetro de isolante térmico, Figura 5. Estas argamassas em comparação com as convencionais conseguem reduzir a condutibilidade térmica.

Na referida solução considerou-se a aplicação de uma argamassa com grânulos de isolante térmico com diâmetro reduzido e ainda a aplicação de tinta com rendimento de 13,00 m²/l/demão sobre a argamassa.

2.2 Soluções de isolamento térmico pelo interior

Nesta medida de reabilitação, reforço do isolamento térmico pela face interior do edifício, constituem soluções aplicáveis em superfície corrente: os painéis isolantes prefabricados, fixados contra a parede a reabilitar ou a execução de uma contra-fachada nessa parede (Jardim, 2009).

Nesta secção serão apresentadas duas soluções de reabilitação de isolamento térmico pelo interior.

Solução 5 - Contra-fachada com isolante no espaço de ar

Para a construção de uma contra-fachada com isolante no espaço de ar são correntemente utilizados dois sistemas: a execução de um pano de alvenaria leve (contra-fachada em alvenaria), ou um forro de gesso cartonado assente numa estrutura de apoio fixada à parede (contra-fachada em gesso cartonado) (Paiva et al, 2006).

Solução 5.1 - Execução de uma contra-fachada de alvenaria

A execução de uma contra-fachada de alvenaria no lado interior da parede a reabilitar (Figura 6), 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 m²/l/demão sobre o revestimento.

Solução 5.2 - Execução de uma contra-fachada em gesso

A execução de uma contra-fachada de placas de gesso cartonado no lado interior da parede a reabilitar (Figura 7), 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 m²/l/demão sobre a mesma.

2.3 Soluções de isolamento térmico em caixa-de-ar

O reforço do isolamento térmico das paredes duplas por preenchimento da caixa-de-ar permite manter o aspecto exterior e interior das mesmas e reduzir ao mínimo as operações de reposição dos respectivos paramentos, que ficam limitadas à vedação dos furos de injeção. A injeção de isolamento na caixa-de-ar torna-se uma possível solução, sempre que esta seja acessível e cumpra uma série de requisitos que possibilitem uma intervenção segura (Jardim, 2009).

Solução 6 - Injeção 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.

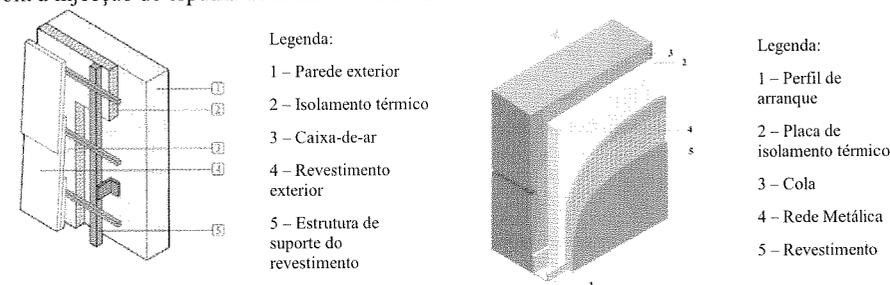


Figura 1. Exemplo ilustrado da solução de revestimentos independentes descontínuos com interposição de isolante térmico na caixa-de-ar (Paiva et al, 2006)

Figura 2. Exemplo ilustrado da solução de sistemas compostos de isolamento térmico pelo exterior com revestimento espesso (ITeCons, 2006)

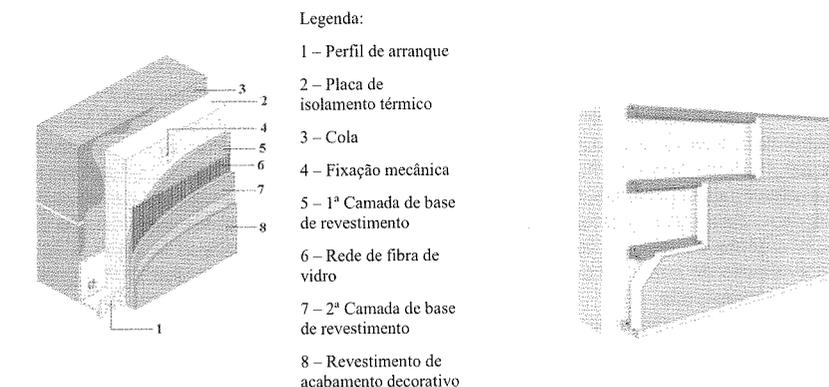


Figura 3. Exemplo ilustrado da solução de sistemas compostos de isolamento térmico pelo exterior com revestimento delgado (Weber, 2009)

Figura 4. Exemplo ilustrado da solução de painéis isolantes prefabricados (Vetisol, 2011)

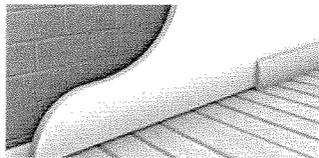


Figura 5. Exemplo ilustrado da solução de rebocos isolantes (IQ Energy Services, 2011)

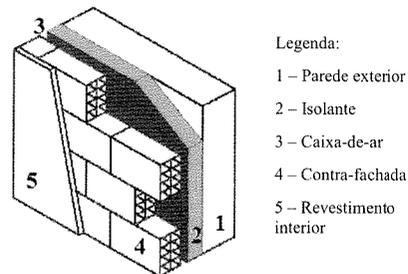


Figura 6. Exemplo ilustrado da execução de uma contra-fachada em alvenaria (Jardim, 2009)



Figura 8. Exemplo ilustrativo da injeção de isolamento térmico na caixa-de-ar (HEAT USA, 2011)

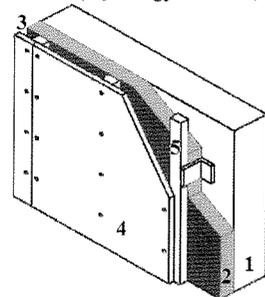


Figura 7. Exemplo ilustrado da execução de uma contra-fachada em gesso cartonado (Jardim, 2009)

3 ANÁLISE DO DESEMPENHO AMBIENTAL

3.1 Metodologia aplicada

A análise do Ciclo de Vida, LCA (acrónimo da expressão da língua inglesa “*Life-Cycle Assessment*”), é um dos principais métodos associados à quantificação da sustentabilidade dos edifícios. Esta metodologia permite avaliar os potenciais impactes ambientais, assim como as consequências desses impactes na população e no meio ambiente (Mateus, 2009).

Para efectuar uma análise das categorias de impacte ambiental de ciclo de vida é possível utilizar ferramentas informáticas que foram desenvolvidas com a finalidade de simplificar esse processo, tal como, por exemplo, o SimaPro (PRé, 2010). O SimaPro é um programa informático que engloba várias bibliotecas de inventário do ciclo de vida, bem como diferentes métodos de avaliação dos potenciais impactes. As bibliotecas desta ferramenta abrangem bancos de dados, sendo o Ecoinvent o mais utilizado e conhecido. Por esta razão, neste trabalho foi utilizado a ferramenta SimaPro e foram empregues os métodos CML Baseline 2000 (CML, 2001) para a avaliação de impactes ambientais e Cumulative Energy Demand (Pré, 2010) para a energia primária incorporada.

Tendo por base as categorias de impacte ambiental previstas nas normas em desenvolvimento pelo Comité Técnico 350 do Centro Europeu de Normalização (CEN/TC350) - nomeadamente a pré-norma prEN 15643-2:2009 - *Sustainability of construction works - Assessment of buildings - Part 2: Framework for the assessment of environmental performance* (CEN, 2009), o método utilizado permite quantificar os impactes ambientais de ciclo de vida das diferentes soluções construtivas, através de oito indicadores ambientais: seis categorias de impacte ambiental e dois

indicadores não associados às categorias ambientais de LCA (energia renovável e não renovável).

Os indicadores ambientais considerados neste estudo foram os seguintes:

- Potencial de Esgotamento das Reservas de Combustíveis Fósseis (FFDP);
- Potencial de Aquecimento Global (GWP);
- Potencial de Acidificação (AP);
- Potencial de Eutrofização (EP);
- Potencial de Oxidação Fotoquímica (POCP);
- Energia não renovável incorporada (ENR).

A metodologia utilizada para a análise e comparação do desempenho ambiental das soluções em estudo desenvolve-se em quatro etapas: i) quantificação dos indicadores ambientais; ii) normalização dos indicadores; iii) representação do perfil ambiental; e iv) agregação dos indicadores.

a) Quantificação dos indicadores ambientais

Antes de se proceder à quantificação dos indicadores ambientais através da ferramenta SimaPro, procedeu-se à quantificação dos diferentes materiais utilizados na materialização das soluções construtivas, estando o resultando apresentado na Tabela 1. Neste estudo, considerou-se a solução 2.2 (sistemas de isolamento térmico por revestimento delgado sobre o isolante) como solução de referência, i.e. aquela com que todas as outras serão comparadas sob o ponto de vista de comportamento ambiental. 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 ($U=0,60 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$) 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 $0,41 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

As quantidades obtidas foram posteriormente introduzidas no SimaPro, apresentando-se na Tabela 2 os resultados obtidos na quantificação dos indicadores ambientais.

b) Normalização dos indicadores ambientais

A normalização dos parâmetros tem como objectivo evitar os efeitos de escala na agregação dos indicadores.

Na normalização é utilizada a equação 1 (Diaz-Balteiro, 2004):

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

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 i .

Este método de normalização torna os adimensionais e converte-os numa escala compreendida entre 0 (pior valor) e 1 (melhor valor).

Na Tabela 3 apresentam-se, para cada uma das soluções de reabilitação, os valores normalizados dos indicadores de impacte ambiental. Pela análise dos resultados obtidos é possível verificar que as soluções 1 e 6 são as que apresentam, respectivamente, o pior e melhor desempenho ambiental.

c) Representação do Perfil Ambiental

Esta fase consiste em representar graficamente o valor normalizado dos indicadores analisados. Deste modo é possível observar de uma forma clara o desempenho de cada solução ao nível de cada indicador e comparar o seu desempenho com a solução referência (solução 2.2).

A representação gráfica é realizada através de um gráfico tipo radar, também conhecido por Diagrama de Amoeba, o qual apresenta um número de raios igual ao número de parâmetros em análise (Mateus, 2009).

Nas figuras 9 a 15, encontram-se representados os perfis ambientais das soluções de

reabilitação em estudo, tendo sempre em atenção a comparação com a solução de referência. Analisando os perfis ambientais das diversas soluções com vista à reabilitação de fachadas, constata-se que a Solução 1 corresponde à pior solução, enquanto que a Solução 6 é a melhor solução em termos ambientais.

Tabela 1. Materiais utilizados em cada solução de reabilitação e respectivas quantidades.

Materiais	Solução 1 (kg/m ²)	Solução 2.1 (kg/m ²)	Solução 2.2 (kg/m ²)	Solução 3 (kg/m ²)	Solução 4 (kg/m ²)	Solução 5.1 (kg/m ²)	Solução 5.2 (kg/m ²)	Solução 6 (kg/m ²)
Aço galvanizado	-	-	-	31,20	-	-	-	-
Aço inoxidável	2,00	-	-	-	-	-	-	-
Alumínio	-	-	0,40	-	-	-	0,69	-
Espuma de ureia-formaldeído	-	-	-	-	-	-	-	1,25
Placas cerâmicas	51,00	-	-	-	-	-	-	-
Painéis de gesso cartonado	-	-	-	-	-	-	10,94	-
Poliestireno expandido	0,98	0,98	0,98	0,98	-	0,98	0,98	-
Argamassa isolante	-	-	-	-	6,00	-	-	-
Reboco não tradicional	-	94,50	120,75	-	-	-	-	-
Reboco tradicional	-	-	-	-	-	89,75	28,50	-
Rede de fibra de vidro	-	-	0,00144	-	-	-	-	-
Rede metálica	-	0,00030	-	-	-	-	-	-
Tijolo cerâmico furado	-	-	-	-	-	61,44	-	-
Tinta	-	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	-

Tabela 2. Resultados obtidos na quantificação dos indicadores ambientais.

Solução de reabilitação	FFDP	GWP	AP	EP	POCP
Solução 1	1,37E+03	7,65E+01	3,55E-01	4,35E-02	2,50E-02
Solução 2.1	2,59E+02	2,37E+01	2,58E-01	9,66E-03	8,29E-03
Solução 2.2	4,22E+02	3,70E+01	1,17E-01	1,78E-02	1,12E-02
Solução 3	9,86E+02	5,17E+01	2,67E-01	5,17E-02	3,49E-02
Solução 4	8,66E+01	6,26E+00	2,37E-02	4,36E-03	2,72E-03
Solução 5.1	4,90E+02	4,10E+01	1,23E-01	1,87E-02	1,21E-02
Solução 5.2	3,79E+02	2,65E+01	1,04E-01	1,38E-02	1,42E-02
Solução 6	8,90E+01	3,94E+00	1,68E-02	3,36E-03	2,10E-03

Tabela 3. Valores normalizadores dos indicadores de impacto ambiental.

Solução de reabilitação	FFDP	GWP	AP	EP	POCP
Solução 1	0,00	0,00	0,00	0,17	0,30
Solução 2.1	0,87	0,73	0,29	0,87	0,81
Solução 2.2	0,74	0,54	0,70	0,70	0,72
Solução 3	0,30	0,34	0,26	0,00	0,00
Solução 4	1,00	0,97	0,98	0,98	0,98
Solução 5.1	0,69	0,49	0,68	0,68	0,70
Solução 5.2	0,77	0,69	0,74	0,78	0,63
Solução 6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

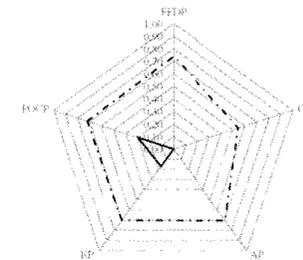


Figura 9. Perfil ambiental da Solução 1.

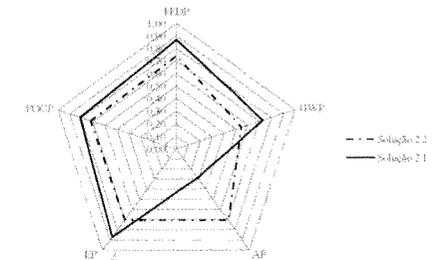


Figura 10. Perfil ambiental da Solução 2.2.

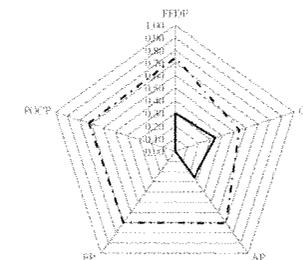


Figura 11. Perfil ambiental da Solução 3.

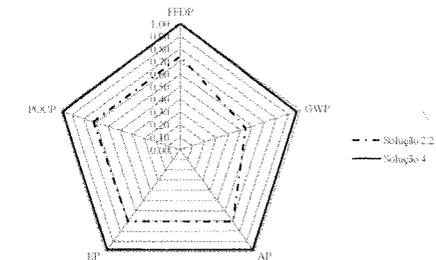


Figura 12. Perfil ambiental da Solução 4.

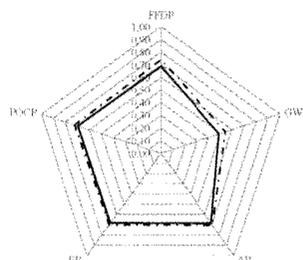


Figura 13. Perfil ambiental da Solução 5.1.

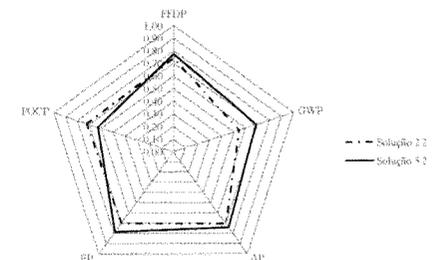


Figura 14. Perfil ambiental da Solução 5.2.

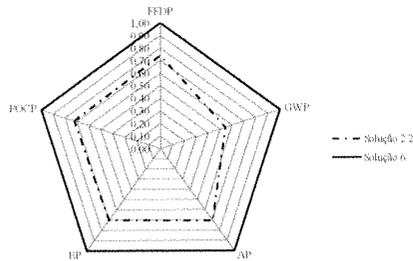


Figura 15. Perfil ambiental da Solução 6.

d) *Agregação dos Parâmetros*

O desempenho ambiental (IA) de cada solução é calculado de acordo com o método de agregação apresentado na Equação 2, (Mateus, 2009).

$$I_A = \sum_{i=1}^n w_{A_i} \cdot \bar{P}_{A_i} \quad (2)$$

Em que I_A corresponde à média ponderada de todos os parâmetros normalizados \bar{P}_{A_i} , pertencentes à categoria de impacto i e w_{A_i} representa o peso relativo do parâmetro i . Na Tabela 4 encontram-se apresentados os pesos relativos que foram considerados para os cinco indicadores de impacto ambiental em estudo. Estes pesos encontram-se baseados num estudo desenvolvido pelo EPA (EPA & SBA, 2000).

Tabela 4. Peso em percentagem dos parâmetros a analisar em cada uma das soluções de reabilitação.

Indicadores de desempenho ambiental	w_{A_i} (%)
Potencial de Aquecimento Global (GWP)	42
Potencial de Acidificação (AP)	14
Potencial de Eutrofização (EP)	14
Potencial de Esgotamento das Reservas de Combustíveis Fósseis (FFDP)	14
Potencial de Oxidação Fotoquímica (POCP)	16

Na Tabela 5 encontram-se apresentados os resultados obtidos na avaliação do desempenho ambiental das soluções em estudo. As soluções de reabilitação encontram-se hierarquizadas de acordo com o seu desempenho ambiental (do melhor desempenho para o pior).

Tabela 5. Desempenho ambiental (IA) de cada uma das soluções de reabilitação

Solução de reabilitação	IA
Solução 6	1,00
Solução 4	0,98
Solução 2.1	0,72
Solução 5.2	0,71
Solução 2.2	0,64
Solução 5.1	0,60
Solução 3	0,22
Solução 1	0,07



Pela análise dos resultados conclui-se que a solução com melhor desempenho ambiental é a solução 6 - injeção de isolamento (espuma de ureia-formaldeído) na caixa-de-ar. A solução 1,

revestimentos fixos ao suporte através de uma estrutura intermédia é aquela que apresenta pior desempenho ambiental.

4 CONCLUSÕES

A concepção, construção, utilização e reabilitação sustentável de edifícios baseiam-se na avaliação da pressão ambiental e de aspectos funcionais (relacionados com as normas e regulamentos de construção e com as características psico-sociais dos utilizadores) e na análise dos custos associados ao seu ciclo de vida. A construção sustentável procura uma maior compatibilidade entre os ambientes artificial e natural sem contudo comprometer os requisitos funcionais dos edifícios e dos seus elementos, assim como a viabilidade económica do produto.

Os projectistas têm grande responsabilidade na procura da sustentabilidade no domínio da construção, através da selecção e aplicação de soluções que apresentem, durante a totalidade do seu ciclo de vida, elevado desempenho ambiental, funcional e económico

O estudo apresentado anteriormente encontra-se focado na dimensão ambiental e tem como objectivo a promoção da utilização de tecnologias construtivas de menor impacto ambiental na reabilitação da envolvente vertical exterior de edifícios de habitação.

5 BIBLIOGRAFIA

ADENE & LNEC & INETI & IPQ (2004). Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais. Documento disponível on-line em <http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/0000008f/dlsmbzogvncjxjfdkgikimrulbfcqg/Reabilitaçoenergética.pdf> e consultado em 23/06/2010.

Brito, M. C. (2010). Reabilitação de fachadas e seu contributo energético. Tese de Mestrado em Arquitectura. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.

CEN (2009). prEN 15643-2: Sustainability of construction works and assessment of buildings - part 2: framework for the assessment of environmental performance. Brussels.

CML (2001). CML 2 Baseline Method (2000). Centre for Environmental Studies (CML), University of Leiden, 2001. Informações acerca do método em <http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/ssp/lca2/index.html>

DGE (2009). Balanço Energético Nacional de 2009. Direcção Geral de Energia.

Diaz-Balteiro, L. & Romero C. 2004. In a Search of a Natural Systems Sustainability Index. *Ecological Economics* 49, P. 401-405.

EPA & SBA (2000). Reducing risk: setting priorities and strategies for environmental protection. Washington, DC, United States: EPA (Environmental Protection Agency). SAB-EC-90e02113e14.

EPA (2000). Toward integrated environmental decisionmaking. Washington, DC, United States: EPA (Environmental Protection Agency). EPA-SAB-EC-00e011.

HEAT USA (2011). Crush costly heat loss with cavity wall insulation. Documento disponível online em <http://www.heatusa.com/energy-conservation/the-writings-in-the-wall-cavity-wall-insulation0226/> e consultado a 20/07/2011.

INE (2009). Estatísticas da Construção e Habitação 2008. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.

ITeCons (2006). 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS. Documento disponível online em <http://www.itecons.uc.pt/evento.php?id=18> e consultado a 20/07/2011.

Jardim, F. M. G. (2009). Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação. Tese de Mestrado em Engenharia Civil - Materiais, Reabilitação e Sustentabilidade da Construção. Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil: Guimarães.

Kibert, C. J. (2005). Sustainable Construction – Green Building Design and Delivery. John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, New Jersey, E. U. A. ISBN 0-471-66113-9.

Lisboa E-Nova (2005). Matriz Energética do Concelho de Lisboa. Lisboa: Lisboa E-Nova. Agência Municipal de Energia-Ambiente de Lisboa.

Mateus, Ricardo (2009). Avaliação da Sustentabilidade da Construção. Propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis. Tese de Doutoramento Engenharia Civil/Processos de Construção. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil: Guimarães

Paiva, J.V. & Aguiar, J. & Pinho, A. (2006). Guia Técnico de Reabilitação Habitacional. Lisboa, Instituto Nacional da Habitação e Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

PRé (2010). SimaPro 7. LCA software version 7.2. Amersfoort, The Netherlands: Product Ecology

Consultants.

- Roodman, D. M. & Lenssen, N. (1995). A Building Revolution: How Ecology and Health Concerns are Transforming Construction. Worldwatch Paper 124, Worldwatch Institute, Washington, DC, March.
- Santos, C. P. (2007). Evolução das soluções de paredes face a novas exigências regulamentares. Documento disponível online em http://www.civil.uminho.pt/alvenaria/docs/041_064.pdf e consultado a 18/05/2011.
- Vetisol (2011). Notre savoir-faire. Informação disponível online em <http://www.vetisol.fr/pages/veture.php?l=fr> e consultado a 20/07/2011.
- Weber (2009). Ficha técnica sistema weber.therm. Documento disponível online em http://www.weber.com.pt/fileadmin/user_upload/weber_guide/revestimento_e_renovacao_de_fachadas/product/document/Ficha_Tecnica_sistema_weber.therm_2009.pdf e consultado a 05/04/2011.