

**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Pedro Guilherme Loreto Norberto dos Santos Naia

**Materiais eco-eficientes para a reabilitação**



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Pedro Guilherme Loreto Norberto dos Santos Naia

## **Materiais eco-eficientes para a reabilitação**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efectuado sob a orientação do  
**Professor Doutor Aires Fernando Fernandes  
Leite Camões de Azevedo**  
e coorientação do  
**Doutor Fernando M. Alves S. Pacheco Torgal**

Outubro de 2012

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

A todos aqueles que participaram de uma forma ativa na minha aprendizagem ao longo da vida e que disponibilizaram tempo e paciência a corrigir os meus erros e a esclarecer as minhas dúvidas.

A todos aos meus professores da Universidade do Minho, em especial ao meu orientador e Prof. Aires Camões do Departamento de Eng<sup>a</sup> Civil.

Ao meu coorientador Doutor Fernando Pacheco Torgal, membro da Unidade de Investigação C-TAC na Universidade do Minho, pela mestria no encaminhamento que me deu na resolução da presente dissertação de mestrado.

Agradeço a todos os meus amigos que me ajudaram nesta escalada académica e da vida, através das muitas risadas, conversas, bofetadas, provas de confiança, muito companheirismo e principalmente com as trocas de conhecimento, ajudando assim a forjar a minha cultura.



## **DEDICATÓRIA**

Agradeço do fundo do coração ao meu pai Pedro Miguel Naia, pois foi a minha força anímica em todos os momentos difíceis, foi aquele que nunca baixou os braços e que correu a meu lado, dando aquilo que por vezes lhe fazia mais falta. Ao meu pai o meu muito obrigado por ter sempre acreditado em mim.

Agradeço, à minha mãe Paula Marta Norberto, por todo o amor e fraternidade que soube sempre dar-me, pela serenidade que sempre teve comigo e principalmente pelos ensinamentos e consolo que só uma mãe sabe oferecer.

Agradeço, aos meus avós Fernando Naia e Vitalina Naia, que sempre me deram um grande e incondicional apoio em todos os momentos.

Agradeço ao meu avô João Norberto, pois também me apoiou bastante e porque foi devido aos seus grandes conselhos que entrei na engenharia.

Ao meu irmão Gonçalo que muitas vezes me tirou do sério.

A todos vós envio o meu agradecimento.



## RESUMO

O sector da construção contribui em larga escala para o aumento dos impactos ambientais que se fazem sentir no planeta, esse contributo acontece na fase de construção e também na fase de utilização. Os impactos associados a este sector, estão normalmente relacionados com um consumo excessivo de água, energia e de elevadas emissões de dióxido de carbono, resultantes da produção de resíduos e também do consumo desmesurado de recursos naturais não renováveis.

Para que se possa inverter esta situação é necessário apostar em políticas de intervenção ao nível da reabilitação. Sabemos portanto que esta é uma via com enormes potencialidades pois consegue-se gerar maior valor com menor utilização de recursos. A aposta na reabilitação surge também devido à atual conjuntura económica, uma vez que a construção se encontra a estagnada e portanto a via a seguir é a da reabilitação.

Os materiais de construção eco-eficientes assumem aqui um papel importante pois consoante o tipo de materiais utilizados, podemos minimizar a pegada ecológica associada, podendo assim obter habitações com menor impacto ambiental de origem e promover a redução de consumos energéticos.

Os isolamentos térmicos são um instrumento essencial para atingir os objetivos de redução dos consumos energéticos e também de impacto ambiental. Existem atualmente várias soluções de isolamentos térmicos naturais contendo propriedades bastante eficientes. Surge neste contexto a necessidade de abordar a nanotecnologia, pois crê-se que ofereça num futuro próximo grandes contributos para a eco-eficiência dos materiais de construção, neste caso particular, em termos de isolamentos térmicos.

A problemática da toxicidade dos materiais merece aqui um destaque especial, uma vez que o problema existe na atualidade. Muitas habitações têm problemas devido a níveis de toxicidade elevados, originados muitas vezes pelo tipo de materiais de construção utilizados. Uma questão crucial em termos de toxicidade é o caso do radão cuja resolução importa acautelar na fase de reabilitação dos edifícios localizados em zonas de risco.





## **ABSTRACT**

The construction sector contributes largely to the increase of the environmental impacts that are felt on the planet, this contribution happens in the construction phase and also in the use phase. The impacts associated to this sector are usually related with excessive consumption of water, energy and high emissions of carbon dioxide, as a result of waste production and excessive consumption of nonrenewable natural resources.

In order to reverse this situation it is necessary to bet on intervention policies at rehabilitation level. Therefore we know that this is a road with enormous potential that can generate higher value with lower resource utilization. The focus on rehabilitation also arises due to the current economic climate, the construction is stagnant and therefore the way to follow is the rehabilitation way.

The eco-efficient building materials assume an important role here because depending on the type of materials used, we can minimize the associated environmental footprint, so you can get houses with lower environmental impact at the start and promote the reduction of energy consumption.

The thermal insulations are an essential tool to achieve the goals of reducing energy consumption and environmental impacts. There are actually several solutions containing natural thermal insulation properties quite efficient. Arises in this context the need to address nanotechnology because it is believed that in the near future will provide large contributions to the eco-efficiency of construction materials, in this particular case, in terms of thermal insulation.

The issue of toxicity of materials deserves a special mention here, since the problem exists today. Many houses have problems due to high levels of toxicity, caused often by the type of construction materials used. A crucial issue in terms of toxicity is the case of radon whose resolution must be safeguarded in the rehabilitation phase of buildings located in areas at risk.



## ÍNDICE GERAL

RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vii
ÍNDICE GERAL .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE TABELAS .....	xii
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Enquadramento da dissertação .....	1
1.2 Objetivos da dissertação .....	2
1.3 Organização da dissertação.....	3
CAPÍTULO 2: A PROBLEMÁTICA DA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS .....	5
2.1 Introdução .....	5
2.2 A reabilitação em Portugal.....	6
2.3 O Parque Edificado Português .....	10
2.3 Problemas do Parque Habitacional Edificado .....	14
2.4 A problemática da demolição vs reabilitação .....	15
2.5 Sistema de apoio á decisão para reabilitação baseado num algoritmo genético.....	19
CAPÍTULO 3: MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO: O PRESENTE E O FUTURO.....	25
3.1 Introdução .....	25
3.2 Materiais eco-eficientes.....	28
3.2.1 Energia e impacto ecológico incorporado no material .....	30
3.2.2 Potencial de reutilização e reciclagem dos materiais .....	32
3.2.3 Materiais com maior durabilidade.....	34
3.2.4 Materiais não tóxicos .....	34
3.2.5 Materiais que aumentam a eficiência energética do edifício.....	35
3.3 Seleção de materiais .....	36
CAPÍTULO 4: ISOLAMENTOS TÉRMICOS.....	41
4.1 Introdução .....	41
4.2 Isolamentos naturais.....	43
4.2.1 Argila Expandida.....	44
4.2.2 Fibras celulósicas.....	45
4.2.3 Cânhamo .....	47

4.2.4 Vidro Celular.....	48
4.2.5 Fibra de Coco.....	49
4.2.6 Fibras e partículas de madeira aglutinadas (WF e WW) .....	50
4.3 Isolamentos térmicos correntes.....	50
4.3.1 Poliestireno expandido (EPS e XPS).....	50
4.3.2 Espumas rígidas de poliuretano (PUR) e de poli-isocianurato (PIR) .....	53
4.3.3 Lã Mineral (MW) .....	55
4.3.4 Cortiça .....	57
4.4 Isolamentos térmicos de elevado desempenho .....	61
CAPÍTULO 5 – TOXICIDADE DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO .....	67
5.1 Introdução .....	67
5.1 Poluentes atmosféricos.....	68
5.1.1 Efeitos dos COV's à saúde humana .....	70
5.1.2 Impactos dos COV .....	71
5.3 Materiais .....	73
5.2.2 Tintas e vernizes.....	73
.....	74
5.2.3 Materiais para proteção de madeiras.....	74
5.2.4 Colas sintéticas.....	75
5.2.5 Materiais com amianto .....	75
5.2.6 Canalizações em chumbo.....	76
5.2.7 Materiais radioativos .....	78
5.3 Radão.....	79
CONCLUSÃO .....	89
RERERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Segmento da reabilitação no sector da construção em 2002. Enquadramento internacional...	7
Figura 2: Peso da construção nova no sector da construção de edifícios em 2004. Enquadramento internacional.....	8
Figura 3: reabilitações do edificado e construções novas, Portugal, 1995-2010.....	9
Figura 4: Sustentabilidade e Construção.....	10
Figura 5: Evolução da distribuição do stock habitacional na EU-25 .....	12
Figura 6: Variação média anual do número de edifícios clássicos - Portugal - 1992 a 2010.....	12
Figura 7: Principais elementos de construção mostrando o percentual de energia que perdem sem alto isolamento .....	17
Figura 8: Diagrama do processo de apoio à decisão .....	22
Figura 9: Emissões de carbono a nível mundial devidas à produção de energia.....	26
Figura 10: Evolução temporal da dependência energética portuguesa .....	27
Figura 11: Esquematização das diferentes fases que permitem efetuar a análise ciclo de vida .....	39
Figura 12: Fases de uma análise de ciclo de vida.....	40
Figura 13: Várias formas e aspetos das fibras de cânhamo na preparação de várias soluções para a construção .....	47
Figura 14: fibras de coco; manta de fibra de coco .....	49
Figura 15: Enchimento com grânulos de cortiça em blocos cerâmicos de furação vertical.....	60
Figura 16: A) Evolução da espessura de isolantes térmicos em paredes de países Europeus. B) Comparação da eficiência na condutibilidade térmica entre isolantes convencionais, preenchidos por gases nobres e envelopes com material poroso no interior sob ação do vácuo .....	62
Figura 17: (A) Definição da condução térmica em função do diâmetro característico dos poros e do tipo de gás a uma pressão de 1 atm e temperatura de 300k. B) Definição da condução térmica em função do diâmetro dos poros e da pressão do ar.....	63
Figura 18: À esquerda: amostra de aerogel desenvolvida para aplicações aeroespaciais; Ao centro: exemplo da incombustibilidade do aerogel; À direita: manta flexível para isolamento térmico em aerogel.....	64
Figura 19: Radioatividade no interior de habitações devida ao radão.....	80
Figura 20: Fontes de radão e rotas de entrada em casas.....	81
Figura 21: Proteção de radão: (a) para pavimento suspenso de betão; (b) para terreno contendo laje de pavimento em betão .....	85
Figura 22: Medidas de proteção para o radão; (a) vedar a junta entre a parede de fundação e laje de pavimento, quando a parede de fundação é feita de material permeável; (b) instalação de um tubo de sucção na camada de gravilha .....	85
Figura 23: Feltro de betume instalado na junta da parede de fundação e laje de pavimento antes da colocação do pavimento .....	86
Figura 24: Sistema de Despressurização do Solo (SDS): (a) desenhos esquemáticos; (b) fotografias .	87

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Edifícios segundo os Censos: total e por tipo.....	13
Tabela 2: A faixa de pontuação e nível de qualidade de cada critério. ....	23
Tabela 3: Critérios a analisar durante todo o ciclo de vida dos materiais .....	29
Tabela 4: Energia e carbono incorporados em alguns materiais correntes na construção .....	32
Tabela 5: Programas informáticos para AC V no sector da construção.....	38
Tabela 6: Síntese de aplicação dos materiais ecológicos por elemento de construção .....	44
Tabela 7: Propriedades da gama de produtos em argila expandida da Argex ®.....	45
Tabela 8: Propriedades de um isolante em forma de painéis à base de celulose.....	46
Tabela 9: Propriedades dos rolos e painéis de isolamento de cânhamo da Thermo-Hemp®.....	48
Tabela 10: Propriedades do painel FOAMGLAS ® Wall Board constituído por vidro celular.....	48
Tabela 11: Poliestireno expandido (EPS).....	52
Tabela 12: Poliestireno extrudido .....	53
Tabela 13: Propriedades do granulado e aglomerado de cortiça enquanto isolantes térmico-acústicos .....	60
Tabela 14: Classificação dos compostos orgânicos de acordo com a Organização Mundial de Saúde	71
Tabela 15: Alguns compostos orgânicos voláteis e suas fontes. ....	71
Tabela 16: Agentes com poder cancerígeno presentes em tintas .....	73
Tabela 17: Teor máximo de COV's para tintas decorativas e vernizes nos termos do Decreto-lei nº 181/2006, de 6 de setembro (PORTUGAL, 2006). Legenda BA: tintas com viscosidade ajustada por água; BS: tintas com viscosidade ajustada por solventes orgânicos .....	74
Tabela 18: Evolução dos limites para o teor máximo de chumbo na água ao longo das últimas décadas .....	77
Tabela 19: Radioatividade corrente e máxima em materiais de construção e subprodutos industriais.	78
Tabela 20: Concentração de radão em becquerel por metro cúbico emitido por piso com revestimento em granito, de acordo com o tipo de granito e com a taxa horária de renovação de ar.....	79
Tabela 21: Resumo dos limites das concentrações de radão no espaço interior (Bq/m <sup>3</sup> ).....	83
Tabela 22: Estado da situação do radão em diversos países Europeus .....	83
Tabela 23: Concentração média de radão e percentagem de casas com níveis de concentração de radão interior excedendo 200 Bq/m <sup>3</sup> e 400 Bq/m <sup>3</sup> , para diferentes medidas preventivas.....	86

## **CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO**

### **1.1 Enquadramento da dissertação**

O “ paradoxo do mandarim ” enunciado pela primeira vez pelo escritor François - René de Chateaubriand em 1802, põe em evidência as implicações morais associadas às consequências que as nossas ações podem trazer a terceiros (Pacheco-Torgal e Jalali, 2010). Mais recentemente surge uma nova versão deste dilema, trazida por Singer (1997), de acordo com este autor, um condutor de um jipe num país Ocidental pode ser responsável pela morte de um camponês no Bangladesh, contribuindo com grandes emissões de CO<sub>2</sub> para as alterações climáticas, provocando um aumento do nível das águas naquele país, causando por consequência a destruição das suas colheitas e a propagação de doenças tropicais (Pacheco-Torgal e Jalali 2010).

Os desafios ambientais com que o nosso planeta se depara nos dias de hoje poderão vir a determinar o fim da civilização humana, da forma como é conhecida. Na atualidade, e de maneira bastante evidente, é possível sentir os efeitos diretos dos padrões de consumo desta civilização, revelando dimensões de natureza intergeracional e intergeográfica muito pronunciadas, causando bastantes consequências em outros países bem como tendo a capacidade de afetar e prejudicar gerações futuras (Pacheco-Torgal e Jalali, 2010b).

A construção representa um dos sectores com maior atividade e dimensão de toda a Europa e é responsável por 7,5% do emprego de toda a economia e 28,1% de toda a indústria europeia. No que respeita ao ambiente a indústria da construção representa cerca de 30% das emissões totais de carbono libertado para a atmosfera. O consumo de matérias-primas a nível mundial é cerca de 3.000 Mt/ano, tendo assim um consumo muito superior a qualquer outra atividade económica. Devido às necessidades implícitas por parte da construção de edifícios e de outros tipos de infraestruturas e também devido ao crescimento da população a nível mundial, o consumo das matérias-primas não renováveis e a produção de resíduos será ainda mais agravada. Muitos dos edifícios existentes na atualidade sofrem de problemas de humidade, quer sendo excessiva, ou sendo inferior a 40%, estando assim na origem de bolores e de doenças respiratórias. Existe também outro problema que diz respeito á qualidade do ar interior dos edifícios, este está relacionado com a inclusão de materiais de construção no interior dos edifícios e que apresentam certos níveis de toxicidade, que apesar de respeitarem as normas definidas pelo regulamento podem ser prejudiciais á saúde (Pacheco-Torgal e Jalali, 2010).



A reabilitação surge neste contexto como sendo uma via com grande potencialidade, já que é através dela que se consegue obter maiores ganhos de eficiência energética (Galvin, 2010). Tem grandes vantagens pois considera-se como sendo uma via privilegiada para atingir os objetivos de sustentabilidade, evitando o consumo desnecessário de recursos bem como ocupação de território (Power, 2008).

A presente dissertação encontra-se enquadrada no conceito de desenvolvimento sustentável, é no relatório de Bruntland (1987) onde surge pela primeira vez mencionada por escrito a expressão de desenvolvimento sustentável, como aquele que “permite satisfazer as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras em satisfazerem as suas”. O desenvolvimento sustentável está na atualidade bastante presente na indústria da construção, principalmente no que diz respeito aos materiais de construção, uma vez que estes apresentam um carácter insustentável em termos ambientais. Na presente investigação foi de grande importância enunciar as prioridades da sustentabilidade para se poder escolher as melhores aplicações eco-eficientes a referir neste documento.

## **1.2 Objetivos da dissertação**

A presente dissertação de mestrado tem por principal objetivo a produção de um documento de base científica, que resume e caracteriza as potencialidades viáveis oferecidas pela reabilitação de edifícios, pelos materiais de construção denominados eco-eficientes e pela evolução nano-tecnológica no mundo. Deverá ter-se em conta que a presente dissertação de mestrado não tem componente prática e está inserida no perfil de construções, pelo que a pesquisa será direcionada exclusivamente nesse sentido. Referenciar não só a problemática ambiental, económica e social vivida presentemente, como também enunciar as possíveis soluções teóricas investigadas pela comunidade científica para as questões atrás referidas, que são: O desenvolvimento sustentável, a construção sustentável e a sustentabilidade dos materiais de construção. Através da ajuda pedida por parte do autor ao grupo de orientação, foram definidos os temas mais atuais e de maior importância a referenciar neste documento. Neste contexto, os principais temas de estudo para a presente dissertação de mestrado vão incidir sobre:

- Materiais para a reabilitação: limitações dos materiais atuais, elevada energia incorporada, produtos químicos etc.;
- Isolamentos térmicos: limitações dos isolamentos térmicos atuais, isolamentos térmicos de elevado desempenho.
- A toxicidade dos materiais de construção: poluentes atmosféricos, cov's, radão;

Por fim é também um objetivo que a presente dissertação seja um bom instrumento de informação, oferecendo aos potenciais interessados uma iniciação aos estudos da toxicidade dos materiais associada às potencialidades da reabilitação. E também do interesse do autor aprofundar os conhecimentos no âmbito da sustentabilidade e eco-eficiência de modo a poder utilizar os conhecimentos adquiridos em proveito do Homem e do ambiente.

### **1.3 Organização da dissertação**

No primeiro capítulo encontra-se o enquadramento, os objetivos e a organização da dissertação de mestrado. No segundo capítulo são abordados os problemas do parque habitacional português, evidenciando a importância da reabilitação, fazendo referência ao contexto Europeu e nacional. É feita uma análise dos benefícios da reabilitação comparativamente com a demolição. A última seção deste capítulo é destinada ao estudo de um sistema de apoio à decisão baseado num algoritmo genético, com o intuito de facilitar a escolha dos aspetos da reabilitação a pessoas que não tenham um grande conhecimento de engenharia, podendo assim participar mais ativamente em todo o processo e contribuindo dessa forma para a otimização do processo de reabilitação.

No terceiro capítulo é abordada a temática dos materiais, fazendo referência ao crescimento insustentável do planeta, devido à grande procura energética. Refere-se ainda algum tipo de limitações dos materiais atuais e sua energia incorporada. Os materiais apresentam portanto um papel essencial neste crescimento insustentável, pois é a partir de materiais eco-eficientes que podemos alcançar um menor impacto ambiental e consequentemente menores gastos energéticos.

O quarto capítulo faz referência aos isolamentos térmicos, como sendo um fator importante devido à crescente preocupação com os consumos energéticos. São aqui apontadas inúmeras soluções de isolamentos térmicos naturais, alguns atuais, evidenciando algumas das suas limitações, caso existam. Por fim uma breve referência à nanotecnologia associada a este tipo de elementos, dando um grande contributo para a produção de isolamentos cada vez mais eficientes.

O quinto capítulo é inteiramente dedicado à toxicidade dos materiais, fazendo-se referência à presença de uma enorme quantidade de elementos tóxicos nas construções atuais. É abordado o tema dos compostos orgânicos voláteis que advêm de muitos materiais de construção. A questão do gás radão é aqui também discutida pois assume um papel importante nos dias de hoje, que apesar de pouco estudada, é uma ameaça real, pondo em risco a saúde humana.



## **CAPÍTULO 2: A PROBLEMÁTICA DA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS**

### **2.1 Introdução**

A reabilitação urbana representa um tema incontornável quer se fale de conservação e defesa do património ou de desenvolvimento sustentável. No entanto, o conceito de reabilitação urbana sofreu nas últimas décadas uma enorme evolução, no que respeita aos seus objetivos, princípios, âmbito de atuação, metodologia e abordagem. Emerge uma política de conservação do parque edificado mas rapidamente ultrapassa esse âmbito, em resposta a novos desafios de natureza social, económica, ambiental e cultural (Dias, 2012).

No caso europeu, o cenário do pós-guerra originou a construção de um elevado número de edifícios. Compreendeu-se que, ao nível económico, a demolição e posterior reconstrução deixam de ser praticáveis, surgindo assim a necessidade de reconsiderar os edifícios tendo em atenção a sua durabilidade, o que levou intuitivamente à ideia de reabilitação. Na grande maioria dos países europeus a questão habitacional foi resolvida, contribuindo para tal dois factos: a economia mostrava-se sólida e saudável, e a população começou a estabilizar o seu crescimento. A reabilitação das construções foi, portanto, gradualmente ganhando prioridade por parte dos construtores, em prejuízo da construção de novos edifícios.

A questão da reabilitação urbana está presente em vários instrumentos de política urbana em Portugal que salientam a importância da valorização do território e reforçam a necessidade de uma perspetiva integradora. Esta perspetiva deve agregar o valor da função social e desenvolvimento económico em consonância com o conceito de regeneração. Mais do que a reparação física de um espaço, a reabilitação urbana deve centrar-se na inversão de um processo de degradação. Em Portugal, diversos instrumentos foram aprovados com o objetivo de criar um quadro de opções forte para o desenvolvimento da reabilitação do património edificado.

O deficiente estado de conservação do parque edificado em Portugal é resultado da inexistência de uma atempada intervenção sobre os edifícios de modo a que os mesmos vejam o seu nível de eficiência prolongado no tempo. Por outro lado, o tipo de construção que tem sido feita em Portugal conduziu a que o parque edificado tenha níveis de desempenho ineficientes.

A adoção de soluções construtivas nem sempre adaptadas ao local e ao clima, em articulação com o emprego de materiais pouco sustentáveis resulta hoje num parque edificado deficiente e com inúmeras patologias.

A reabilitação assume-se então como sendo uma das áreas da construção civil com maior potencial, principalmente em países como Portugal, que apresentam um património edificado com bastante história e que se encontra presente, na sua grande maioria, nos núcleos centrais das malhas urbanas. Através disto é possível prever que o futuro passa pela aposta na reabilitação, apoiada na crescente importância de sustentabilidade, pois através dela é possível reduzir consumos de energia, emissões de CO<sub>2</sub>, quantidades dos produtos de demolição, etc.

## **2.2 A reabilitação em Portugal**

O desenvolvimento das cidades nos países da Europa ocidental nas últimas décadas tem valorizado a requalificação urbana, com o duplo objetivo de dar resposta às potenciais carências habitacionais da população e promover a proximidade entre atividades e pessoas, contendo a expansão territorial das áreas urbanas (INE, 2011).

De facto, em Portugal, como na maioria dos países europeus, é clara a passagem do paradigma centrado na carência quantitativa (direito a habitação) para a carência qualitativa, pressupondo já um relativo equilíbrio entre a oferta e a procura de habitação. Na verdade, os últimos anos em Portugal foram marcados quer por um incremento da oferta, dado o crescimento do número de fogos construídos, quer por um aumento da procura de habitação, devido à maior facilidade de acesso ao crédito para adquirir casa própria, por via da diminuição das taxas de juro (de 1991 a 2005) e do aumento do rendimento das famílias, e pela inércia do mercado de arrendamento de habitações, em alguns casos bastante degradadas (INE, 2011).

A existência de diversos programas e planos no âmbito da requalificação, e respetivo quadro legal, sugerem a relevância atribuída a este processo para o desenvolvimento sustentado das áreas urbanas.

A reabilitação urbana assume hoje um papel fundamental na evolução da política das cidades e da habitação uma vez que nela convergem objetivos de requalificação e revitalização das cidades, das suas zonas degradadas em particular e, de qualificação do parque habitacional, procurando harmonizar o ambiente urbano, tornando-o mais sustentável e, desta forma, garantir uma habitação condigna para todos. (Preâmbulo do Decreto-Lei nº 307/2009, de 23 de Outubro)

Os centros urbanos são uma das zonas onde a degradação do património edificado é mais evidente. Estima-se que 40% da população portuguesa viva em cidades, no entanto a concentração urbana fez-se num quadro de expansão dos subúrbios (cerca de quatro milhões de habitantes vivem na área metropolitana de Porto e Lisboa) e desordenamento do território, com consequências bastante nefastas para os centros urbanos (INE, 2011).

Os principais problemas dos centros urbanos são: (Paiva et al., 2006; INE, 2004)

- A desertificação e envelhecimento de centros históricos;
- A elevada proporção de edifícios com necessidades de reabilitação;
- A preferência dos particulares em investir em obras de construção nova em vez de investirem em obras de reabilitação de edifícios;
- A fraca oferta do mercado de arrendamento (resultante do congelamento de rendas durante décadas);
- Proprietários sem capacidade nem iniciativa de investimento na conservação dos imóveis;
- Desadequação da organização das cidades ao estilo de vida atual;
- A existência de problemas de funcionamento e anomalias precoces em edifícios recentes;
- O crescimento abrupto de subúrbios nas áreas metropolitanas, onde se geraram zonas simbólicas e fisicamente desqualificadas.

Apesar de, nas últimas décadas, Portugal pouco ter reabilitado o seu património urbano, promovendo uma controversa expansão suburbana, hoje em dia inicia o caminho para a sua salvaguarda, criando um conjunto de incentivos para o cidadão voltar a habitar o centro da cidade.

Os dados apontam para um cenário deveras desolador para a atividade da reabilitação e reutilização do parque edificado. Na Figura 1 é visível que Portugal em 2002 era um dos países que menos reabilitava o seu património, ficando cerca de 30% afastado da média da reabilitação na Europa.

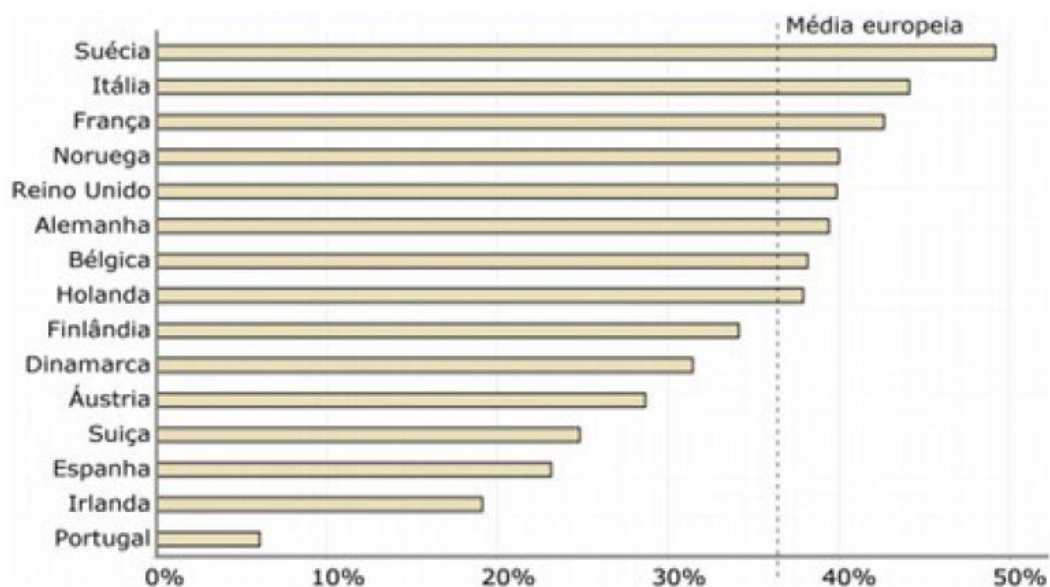


Figura 1: Segmento da reabilitação no sector da construção em 2002. Enquadramento internacional (Euroconstruct, 2003)

Um simples olhar pelo parque urbano nacional torna claro a sua degradação demonstrando que o que foi feito até aqui é claramente insuficiente. Estima-se que as necessidades globais de reabilitação deverão ultrapassar a verba de 200 mil milhões de euros. A conservação do património edificado constitui assim uma grande preocupação para a sociedade em Portugal e tornou-se uma prioridade inquestionável para o desenvolvimento económico sustentável do país (Pinho e Aguiar, 2005; Afonso, 2009).

Por outro lado, o sector da construção de edifícios novos é, em Portugal, o maior face à média europeia, essa situação desincentiva a opção pela reabilitação (Figura 2).

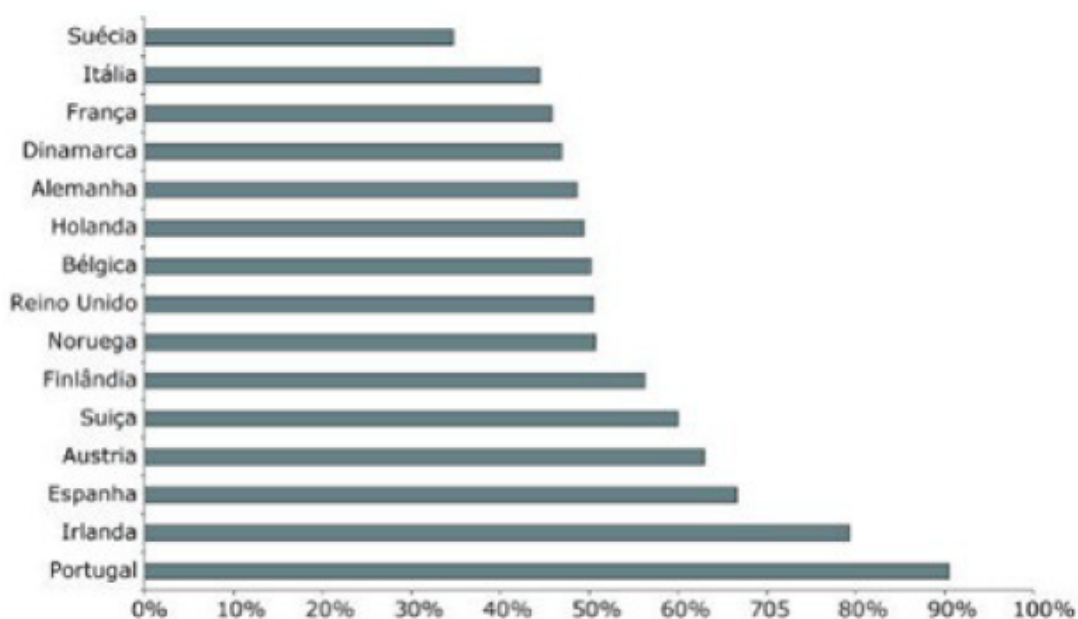


Figura 2: Peso da construção nova no sector da construção de edifícios em 2004. Enquadramento internacional (Euroconstruct, 2004)

Em Portugal, e ao longo das últimas três décadas, poucos esforços têm sido desenvolvidos no sentido de incentivar a reabilitação dos tecidos urbanos. Os problemas recentemente constatados necessitam de diversas formas de intervenção, entre as quais ganham destaque os esforços dirigidos á reabilitação. No panorama nacional, apenas se começou a dar maior relevância á problemática da reabilitação a partir da década de 70. É a partir desta altura que começam a surgir políticas definidas em relação a esta matéria que têm acompanhado as tendências dos restantes países europeus, embora com algum atraso em relação a estes.

Após o 25 de Abril de 1974 a discussão sobre a reabilitação da habitação caiu em esquecimento e assim registou-se um menor investimento nesse sector. O congelamento das rendas em todo o território nacional traduziu-se na impossibilidade de aumento dos rendimentos dos proprietários que ficaram sem hipótese de proceder à realização de obras de conservação dos seus imóveis uma vez que, a pretexto da Grande Guerra, surge o Decreto 1079 de 23 de Novembro de 1914 através da obrigação

penal de arrendar casas devolutas pela renda em vigor à data do decreto com o objetivo de proteger os arrendatários. Consequentemente assistiu-se à degradação do parque habitacional (Dias, 2012).

Entre 2010 e 2009, registou-se uma quebra de 1,1% do número de edifícios reabilitados, sendo que a maior parte destes (cerca de 67,9%) correspondiam a obras de Ampliação. As obras de Reconstrução correspondem à mais pequena fatia das obras de reabilitação do edificado, com um peso de 3,3% face ao total (INE, 2011).

Em Portugal, a evolução das obras concluídas em edifícios (reabilitações do edificado e Construções novas) no período de 1995 a 2010, aponta para duas fases de crescimento distintas. Até 2002, assistiu-se, em Portugal, a uma relativa estabilidade das reabilitações do edificado e, simultaneamente, a um aumento das Construções novas. Apesar de se ter já registado uma ligeira quebra das obras de reabilitação do edificado no período de 2001 e 2002, é principalmente a partir de 2003 que se assiste a uma quebra sustentada (apesar de não muito acentuada) deste tipo de obras, associada a uma tendência de diminuição das Construções novas. Deste modo, e mais em resultado da quebra das Construções novas, tem-se verificado uma crescente importância relativa das reabilitações face ao total de obras concluídas (INE, 2011).

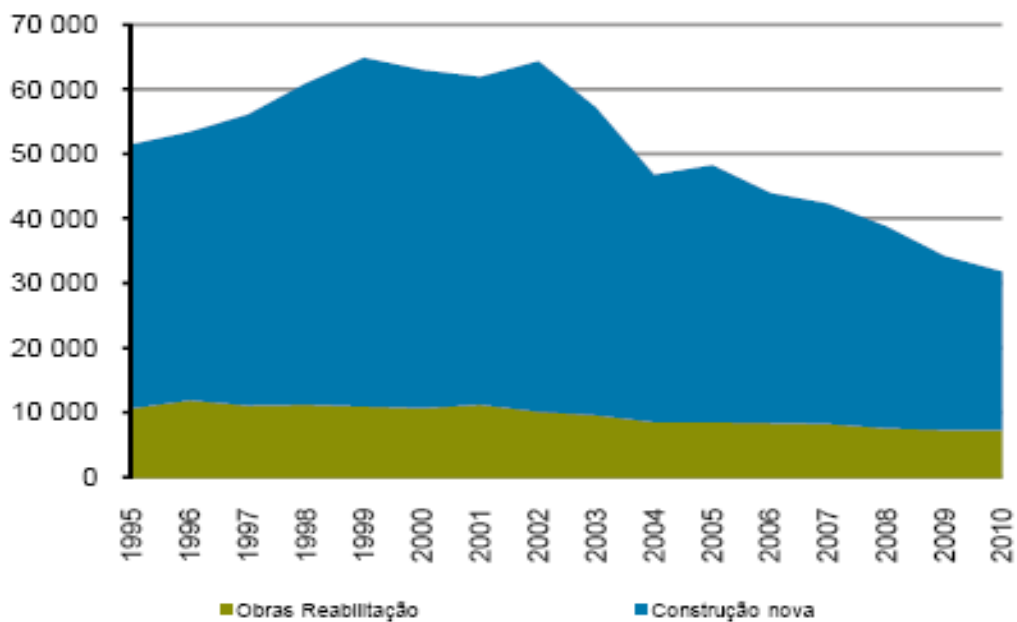


Figura 3: reabilitações do edificado e construções novas, Portugal, 1995-2010 (INE, 2011)

Nas últimas décadas a construção em Portugal tem sido manifestamente excessiva. Entre 1991 e 2011 foram construídos mais de 80 000 alojamentos por ano, o que corresponde a construir uma cidade maior do que Coimbra, por ano, durante 20 anos. Uma opção absurda por um lado mas que surgiu devido à inexistência de oferta por parte do mercado de arrendamento. Segundo os Censos 2011, o crescimento dos alojamentos relativamente aos Censos 2001 foi de 16,3%, enquanto o número de famílias aumentou de 11,6% e a população de apenas 1,9%. Portugal tem, hoje, perto de 1 900 000



alojamentos sem ocupação permanente, que consumiram cerca de 200 mil milhões de euros de economias e de capacidade de endividamento das famílias (INE, 2012).

O cenário que, hoje, caracteriza uma parte substancial do centro das cidades, em especial dos respetivos centros históricos, não deixa de marcar de forma negativa todos aqueles que neles trabalham, vivem, desenvolvem a sua atividade económica ou, simplesmente, procuram conhecer e aprender com a memória monumental e experiencial que caracteriza o viver citadino (INE, 2012).

A degradação dos edifícios e das condições de habitabilidade e salubridade em que vivem os habitantes dos centros históricos, a sua desertificação, a escassa oferta de bens e serviços, o envelhecimento da população residente, são fatores marcantes e inibidores do desenvolvimento das cidades, com fortes consequências sociais e económicas (INE, 2012).

### 2.3 O Parque Edificado Português

O património construído é uma referência histórica muito importante tanto sob o ponto de vista social como técnico, fornecendo elementos importantes para que possamos compreender o desenvolvimento e a evolução da capacidade do homem para se adaptar ao meio circundante.

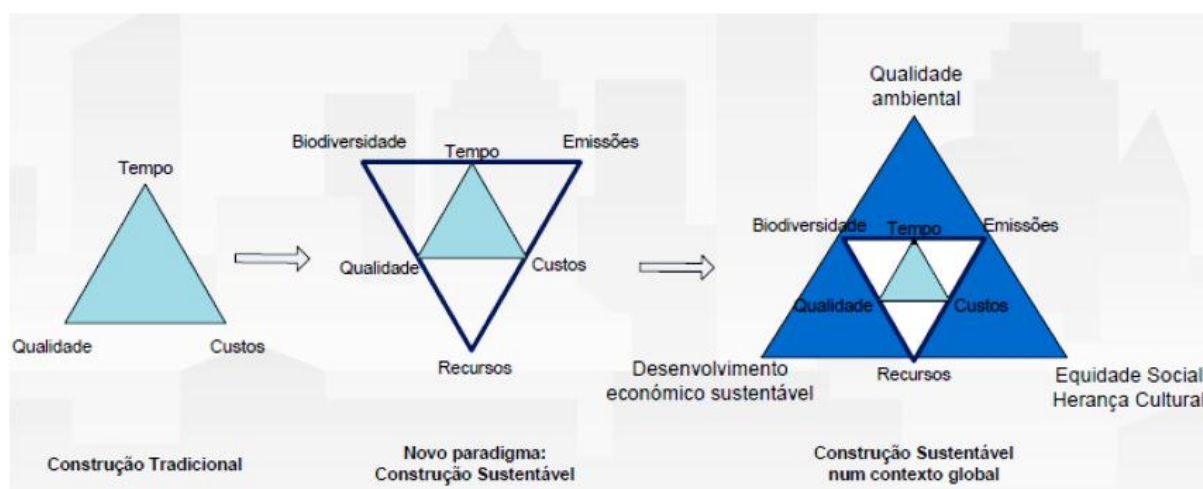


Figura 4: Sustentabilidade e Construção (CIB, 1999)

A idade do parque edificado pode auxiliar a identificação das características físicas dos edifícios e dar uma indicação sobre o atual estado da construção, incluindo a sua qualidade térmica. Todavia, esta qualidade depende também se, e em que medida, o *stock* de edifícios foi renovado (Itard et al., 2008).

O parque habitacional português é relativamente recente, cerca de 66% dos edifícios de habitação têm uma idade inferior a 40 anos. No entanto, pode ser caracterizado como um parque habitacional envelhecido e degradado, uma vez que cerca de 41% dos edifícios a necessitarem de reparações (INE, 2002).

A nível internacional, o parque habitacional português é um dos mais recentes da Europa, tendo menos de metade dos alojamentos anteriores a 1919 que a média europeia e mais 21% de edifícios construídos após 1981 (Paiva et al, 2006).

No entanto, constate-se que a reduzida percentagem de alojamentos anteriores a 1919 não se deve a uma perda de peso relativo, causada pelo aumento de construção nova, mas a uma diminuição abrupta destes edifícios históricos. Entre 1981 e 1991 perdeu-se 36% destes edifícios e mais 52% entre 1991 e 2001, evidenciando o elevado número de demolições ou mudanças de utilização que os edifícios mais antigos têm sofrido. Estes dados aliados ao facto de Portugal ser o país da União Europeia com a menor taxa de reabilitação de edifícios, 6%, mostram que o património histórico tem sido alvo de destruição e abandono cada vez mais acelerados (Paiva et al, 2006).

A evolução do parque habitacional em Portugal pode ser caracterizada por dois períodos distintos, um primeiro período correspondente às décadas de 60 e 70 em que o ritmo construtivo no nosso país era bastante inferior ao resto da Europa, e um segundo período que se inicia a partir de 1970 em que tal panorama começou a alterar-se. Pois, entre 1970 e 1999 mais de 2 milhões de unidades foram construídas, dando-se a explosão do setor da construção na década de 90, altura em que o crescimento do setor foi mais elevado, registando-se um crescimento anual médio de 6% do Valor Acrescentado Bruto no setor da Construção (Pinheiro, 2006).

Na Figura 5 apresenta-se a evolução no sector da construção em Portugal e na Europa estimada através de um estudo realizado pela Comissão Europeia. A evolução do parque habitacional português ficou marcada por uma taxa de crescimento de cerca de 1% entre 1998 e 2002 onde se atingiu um máximo de 1,4%. Apesar deste crescimento, nos anos seguintes o registo é de um decréscimo acentuado, registando-se o valor de 0,57% em 2010 (Figura 6).

É necessário averiguar quais os fatores responsáveis pelo decréscimo de investimento na habitação em Portugal, quando o número de famílias aumenta constantemente. Entre outros, a justificação centra-se na atual conjuntura económica que o país atravessa. Neste contexto e observando o estado de degradação do parque habitacional português, em caso de necessidade de uma intervenção, deve ser pensado primeiro a possibilidade de reabilitação para que esta intervenção possa constituir uma aposta competitiva no sector da construção. Para compreender este tema de uma forma objetiva, devem ser estudados os casos que necessitam de maior atenção no que ao tipo de edificado diz respeito. (LNEC, 2005; Pinheiro M.D.,2006; Fepicop, 2008).

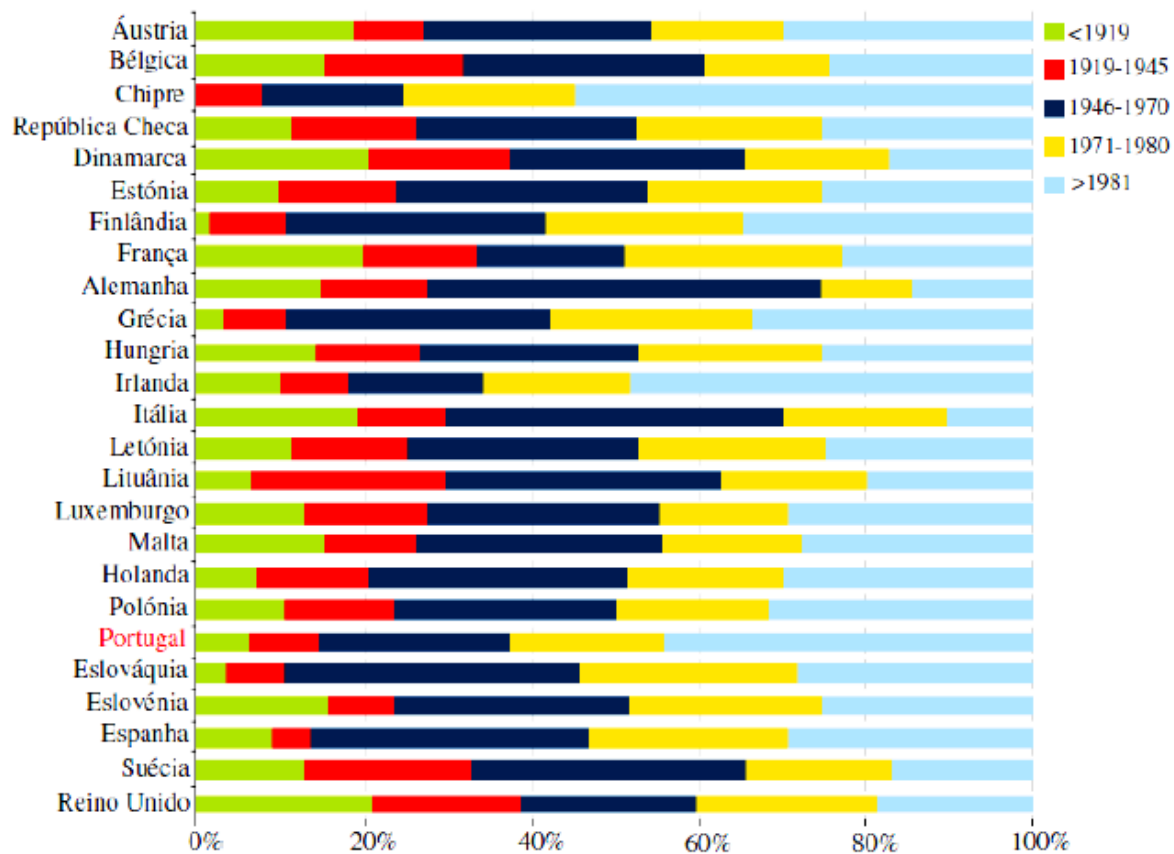


Figura 5: Evolução da distribuição do stock habitacional na EU-25 (EC, 2008)

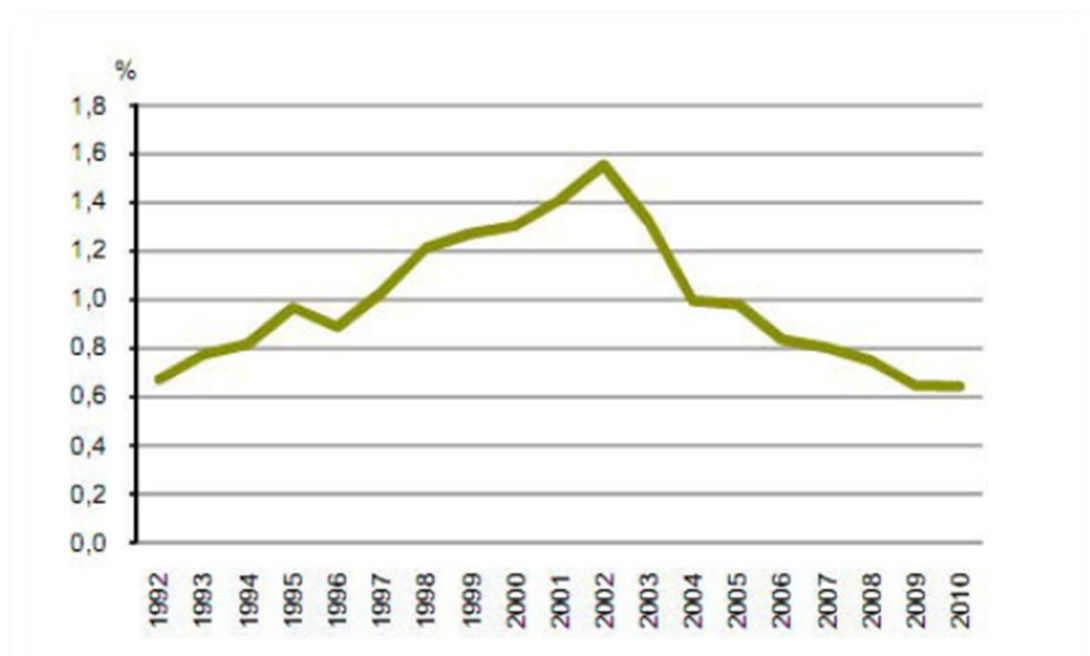


Figura 6: Variação média anual do número de edifícios clássicos - Portugal - 1992 a 2010 (INE 2010)

Através dos números representativos das previsões do ano 2011, demonstrados na Tabela 1, pode-se observar que os edifícios principalmente não residenciais (edifícios cuja área está afeta na sua maior parte a fins não habitacionais) representam cerca de 0,7% do total de edifícios, o que nos leva a concluir, uma vez mais, que os edifícios principalmente residenciais (edifícios cuja área está afeta na sua maior parte (50% a 99%) à habitação e a usos complementares, como estacionamento, arrecadação ou usos sociais) são aqueles que merecem especial atenção.

Tabela 1: Edifícios segundo os Censos: total e por tipo (INE 2010, PORDATA)

Ano	Total	Tipo de Edifício	
		Principalmente residenciais (un.)	Principalmente não residenciais (un.)
1981	2.507.706	2.495.642	12.064
1991	2.861.717	2.827.206	34.511
2001	3.160.043	3.127.013	33.030
2011	Pro: 3.543.595	Pro: 3.518.688	Pro: 24.907

Hoje em dia, com a necessidade de repensar o futuro, dadas as preocupações ambientais existentes no planeta, interessa explorar ao máximo o que está ao nosso alcance para reabilitar o património edificado. Renovar o espaço existente, dadas as exigências com que nos deparamos a nível ambiental, económico e social, é hoje uma prioridade. Dado que, cerca de 80% da população habita em áreas urbanas e que as cidades constituem um motor de desenvolvimento, grande parte das pressões ambientais e dos desequilíbrios sociais e territoriais localizam-se nas cidades. As áreas urbanas degradadas ou em declínio afetam negativamente a competitividade e o desenvolvimento global. Assim, aumenta-se a necessidade de incrementar as intervenções de reabilitação urbana (Dias, 2012).

Um dos fatores com maior significância para que a reabilitação possa ser implementada, diz respeito á coesão territorial, pois esta contribui para uma repartição territorial compensada, de recursos, pessoas e funções. Esta situação beneficia a fixação de diversas atividades económicas ou captação de novas, desenvolve o turismo e evita a saída de habitantes do centro para as zonas periféricas. É importante referir a sustentabilidade e o ambiente no contexto da reabilitação, visto que oferecem um enorme contributo para a minimização do impacto que o desenvolvimento urbano tem no meio ambiente e controla também a expansão urbana, melhorando desta forma o ambiente nas cidades. Desta maneira é possível obter uma redução da produção de resíduos, de matérias-primas e obviamente redução do consumo de energia.

O estado de degradação de milhares de edifícios em Portugal foi alvo de estudo e deu origem à criação de incentivos que possibilitam a incrementação da reabilitação dado o valor social e patrimonial dos edifícios existentes. Entre outros, destacam-se aqui alguns aspetos que têm condicionado o crescimento da reabilitação em Portugal:

- A forte emigração para as grandes cidades e êxodo rural, que não potenciam o investimento na reabilitação;
- O estrangulamento do mercado de arrendamento;
- O maior investimento do Estado nos subsídios de apoio à aquisição de habitação, que no arrendamento e reabilitação;
- A facilidade crescente no acesso ao crédito para aquisição de habitação, que se verificou nos últimos anos;
- A forte tradição nacional de valorização da propriedade;
- A ideia generalizada que a reabilitação do património implica um significativo investimento financeiro por parte do proprietário;
- A falta de capacidade de resposta das empresas de construção, em especial no que diz respeito à capacidade técnica e científica e à mão-de-obra especializada.

É importante reabilitar para que o número de demolições seja inferior ao número de reconstruções, evitando assim a descaracterização do património habitacional, ou seja, garantir o aumento da qualidade, evitando a degradação dos edifícios.

São inúmeras as vantagens de reabilitar um edifício, todavia, também existem desvantagens e por isso as reabilitações devem ser estudadas caso a caso. Deve ser estudado o seu estado de conservação, valor patrimonial ou arquitetónico e devidas características espaciais e funcionais perante os requisitos atuais e futuros, condicionalismos técnicos e económicos da intervenção, mais-valias e sustentabilidade ambiental alcançada (Dinis R., 2010; Paiva, 2007).

### **2.3 Problemas do Parque Habitacional Edificado**

Para que a reabilitação de edifícios otimize as condições de habitabilidade desejadas pelos ocupantes e melhore a qualidade de vida nos centros urbanos é importante que se identifiquem quais as principais anomalias do parque edificado. Deste modo identificam-se como principais tipos de anomalias dos edifícios existentes: (Paiva, 2006)

- Deficientes condições de segurança (nomeadamente estrutural e contra incêndio);
- Deterioração física e estrutural devida à passagem do tempo, poluição, exposição aos agentes climáticos ou falta de conservação e manutenção;
- Inadequação funcional aos atuais padrões de conforto, salubridade e segurança;

- A utilização de terrenos inadequados para urbanização (pela sua pendente ou pela desadequada exposição solar);

Conhecendo as principais anomalias do parque habitacional português será possível não só suprimir as anomalias identificadas, como também desenvolver estratégias para melhorar o desempenho dos edifícios existentes.

Na sua maioria, em Portugal, o parque edificado antigo apresenta uma deterioração física e estrutural bastante acentuada e uma inadequação funcional aos padrões de salubridade, conforto e segurança. Já nos edifícios mais recentes, identificam-se problemas como soluções construtivas desajustadas e ineficientes graças ao fraco domínio de novos materiais por parte dos projetistas ou à sua má qualidade dos materiais. A utilização de materiais desajustados provoca anomalias ao nível do aparecimento de humidades de diversas naturezas, problemas devido ao insuficiente isolamento térmico, falta da qualidade do ar, fraco isolamento acústico e consumo excessivo de energia e de água. Nestes casos, é extremamente importante que sejam planeadas atividades de reabilitação que resolvam os problemas de degradação dos materiais, das anomalias existentes devido à humidade e aos problemas de eficiência energética e dos problemas relacionados com o conforto ambiental, tendo em conta os fatores da sustentabilidade (Chaves, 2009; Ferreira, 2010).

## **2.4 A problemática da demolição vs reabilitação**

Remover os edifícios em piores condições pode parecer o caminho mais fácil e rápido de reduzir o uso de energia. Muitas áreas urbanas estão mal conservadas, degradadas e geralmente ocupadas por populações desfavorecidas (ODPM, 2003).

O processo de construção e os materiais utilizados são ambos consumidores de muita energia. Os edifícios novos usam quatro a oito vezes mais recursos do que uma reabilitação equivalente (Ireland, 2008; yates, 2006). Isto porque a maior parte da massa do edifício e elementos estruturais existentes numa propriedade já estão lá e só raramente precisam de substituição. Por muitas razões estruturais e organizacionais, quase toda a massa de construção de novos prédios é recém-produzida e processada. Esta necessidade constante de novos materiais, apesar de apresentar uma boa eficiência energética a longo prazo dos edifícios em uso, tem maiores impactos ambientais, energia e carbono (Power, 2008).

O Environmental Change Institute, no seu relatório House 40% (Boardman et al., 2005). Pretende mostrar como podemos reduzir as emissões domésticas de carbono de casas em 60% entre 1997 e 2050. Ele argumenta que a demolição da maioria de casas com fugas é necessária para o conseguir. Ele propõe por isso três milhões de demolições até 2050.

Ao avaliar o impacto da energia do ambiente construído, o Relatório RCEP (Royal Commission on Environmental pollution), O Ambiente Urbano (RCEP, 2007), usou o trabalho do ECI (Environmental

Change Institute) para estimar os impactos de energia e carbono das novas construções e propriedades remodeladas, permitidas para a energia incorporada.

A fim de alcançar uma redução de 60% na energia incorporada e operacional até 2050 para a construção nova, incluindo carbono incorporado, todas as casas entre 1996 e 2050 terão de ser construídas com o equivalente a BedZED<sup>1</sup> (Lararus, 2002).

O relatório RCEP sugere que ao longo de um curto espaço de tempo de 10 anos, a reabilitação permite evitar mais emissões de carbono. Mas ao longo de um período de tempo longo de 50 anos, casas com elevada energia incorporada, mas de baixa energia operacional (casas "zero carbono") podem eventualmente superar propriedades reabilitadas. No entanto, a mudança de comportamento na adoção de melhores práticas de uso de energia, melhorias incrementais no desempenho através de reabilitação, gestão de demanda, maiores incentivos para a reabilitação de maior qualidade, melhores medidas de eficiência e mais baratas, ajudaria a reabilitação a atingir níveis semelhantes de eficiência (Power, 2008).

### **Vattenfall Utility Study**

O Vattenfall Utility Study é um estudo sueco que foi levado a cabo através de uma grande empresa internacional de utilitários com sede em Estocolmo. Este estudo mostrou que o custo económico das medidas de isolamento em edifícios com o intuito de reduzir as emissões de carbono é negativo. As poupanças que resultam destas medidas acabam por ter um retorno, se tivermos em conta todo o tempo de vida dos produtos sem no entanto originar qualquer tipo de bonificação económica.

Existem seis medidas básicas de eficiência energética que podem reduzir significativamente o consumo de energia em casas existentes: isolamento de telhados, paredes, pisos, vidros duplos, impermeabilização e caldeiras de condensação para aquecimento e água quente (Figura 7). Se estas conhecidas medidas de eficiência forem aplicadas a todos os elementos estruturais principais, ao espaço e ao aquecimento de água, a renovação pode superar a construção nova (Power, 2008).

---

<sup>1</sup> Beddington Zero Energy Development (BedZED) é relativo ao desenvolvimento de uma habitação ecológica em Hackbridge, Londres, Inglaterra. É, no bairro londrino de Sutton, cerca de duas milhas a leste da cidade de Sutton em si. Foi projetado pelo arquiteto Bill Dunster para apoiar um estilo de vida mais sustentável.



Figura 7: Principais elementos de construção mostrando o percentual de energia que perdem sem alto isolamento. Fonte: Department for Communities and Local Government (DCLG), 2006.

### Os vastos problemas da demolição

É questionável se a demolição em grande escala é justificada por razões de eficiência energética, uma vez que o desempenho energético de casas renovadas pode melhorar significativamente com o tempo. Mesmo o isolamento térmico de parede exterior mostra um retorno positivo depois de 14 anos. Questões de maior amplitude e que afetam a demolição devem também ser tidas em conta antes de optar por demolição como um solução para os problemas de energia e de regeneração. A demolição é uma ferramenta particularmente difícil quando falamos na regeneração e renovação de habitação por um certo número de razões:

As obras de demolição implicam desalojar as famílias que habitam nos edifícios em causa e o pagamento dos custos associados a esse desalojamento.

A demolição causa danos às propriedades vizinhas através do abandono e decadência, uma vez que os edifícios propostos para demolição não atraem qualquer investimento. Isto pode conduzir à penetração de água, aumento de vandalismo, incêndios, arrombamentos e outras pragas para as casas vizinhas. Propriedades adjacentes perdem valor e estas condições podem vir a agravar-se cada vez mais (Power, 2008).

É difícil levar a cabo a renovação da área por meio da demolição “casa a casa”. O layout físico da maioria das propriedades propostas para demolição, seja nas ruas ou propriedades, tende a não permitir esta abordagem. Blocos inteiros, ruas ou áreas são geralmente envolvidos, e como resultado propriedades viáveis são destruídas. O trabalho em áreas com um abandono significativo de habitações leva a sugerir uma abordagem cirúrgica á demolição, onde apenas as propriedades mais abandonadas e não utilizáveis sejam removidas (Mumford e Power, 1999, 2002).



Mesmo nas áreas mais velhas e impopulares propostas para demolição, em média cerca de 70% dos lares são ocupados, tornando as áreas de abordagem á demolição organizacionalmente complexas, extremamente lentas e dispendiosas em termos de realojamento (Elevate East Lancashire, 2004; NAO, 2007; Nevin, 2001). Este é um fator importante, que gera oposição à demolição.

Os planos de demolição têm efeitos de contágio sobre as escolas, lojas, serviços de saúde, bancos e outros serviços locais, a maioria dos quais deixa uma área antes de ser demolida e não retorna até muito tempo depois da reconstrução, se é que volta de todo (Mumford e Power, 1999). Este causa dificuldades para os residentes, e se forem idosos, pode ter impactos muito negativos na saúde (Kontinnen, 1985).

Muitas vezes ficam terrenos vazios entre construções, permanecendo assim durante bastantes anos devido a uma retirada do investimento nesse local e devido á perda da viabilidade de uma área que enfrenta demolição. Esse tipo de áreas não são muito apelativas esteticamente, acabando por afetar as empresas locais.

Os problemas do flagelo da demolição podem ser agravados pela perda de infraestrutura social essencial e capital social, que leva décadas para se formar novamente. Instalações e locais de reunião são caros para restabelecer quando são perdidos, e os jovens podem tornar-se muito desorientados enquanto a demolição está a ser planeada e levada a cabo (Power, 2008).

A capacidade de alojamento é reduzida pelo processo de demolição e reconstrução devido ao tempo que leva, incluindo os processos legais envolvidos na expropriação de propriedades para demolição. Normalmente são necessários vários anos para acordar planos de demolição precisos e adquirir propriedades. Os moradores de realojamento existentes podem eventualmente atrasar a demolição e criam uma demanda habitacional extra (Power, 2008).

Os prazos e calendarizações para a reabilitação são retardados pela necessidade de renovar infraestruturas após a demolição. Todo o processo pode demorar até 20 anos. É raro para um plano de demolição proporcionar habitação de substituição em menos de 10 anos, mesmo com o forte apoio e financiamento do governo, como é demonstrado pela área das demolições do mercado de Habitação e renovação. Muitas vezes é preciso muito mais tempo (Turcu, 2005-2007).

Como a demolição atormenta bairros mais pobres, impulsiona a construção de expansão e procura de habitação fora das áreas existentes. Quanto maiores os planos de demolição, mais são os efeitos de expansão e maior o êxodo urbano (Rogers e Power, 2000).

O custo médio total de demolição por casa é € 20.952,40 - € 43.138,67 (ODPM, 2003). Se somarmos o custo dos atrasos na reutilização da terra, a perda de capacidade de habitação e o custo de infraestrutura de novas habitações, então a demolição raramente se justifica em termos de custos, uma

vez que a reparação e modernização normalmente custam muito menos do que o custo total de demolição e habitação de substituição (Power, 2008).

Sabendo isto é importante salientar que a demolição acarreta realmente grandes custos, sendo de facto prejudicial em vários níveis e bastante impopular. Este tipo de processo provoca grandes impactos no ambiente local: lixo acumulado, jardins com falta de tratamento e por consequência nada apelativos, ruas deterioradas e manutenção reduzida. Para além destes impactos, surgem ainda os impactos ambientais que resultam: da perda de diversos materiais preciosos e escassos, transporte de materiais de, e, para locais de demolição, poluição de partículas durante os processos de transporte de destroços e demolição, a perda de habitação e consequente necessidade de criação de novas habitações com elevada energia incorporada.

## **2.5 Sistema de apoio á decisão para reabilitação baseado num algoritmo genético**

A natureza cíclica da indústria da construção, o envelhecimento a um ritmo acelerado do ambiente construído, a redução geral da construção nova e a crescente sensibilização para a sustentabilidade, abrem novas oportunidades para a expansão da reabilitação e reconstrução de edifícios (Shaurette, 2008).

Um recente relatório delineou um conjunto de desafios que podem fazer com que os mercados de construção de mudem de direção num futuro próximo. O primeiro desafio delineado indicou que "O envelhecimento de infraestruturas em quase todos os segmentos de mercado está no limite ou além da sua vida útil...representando triliões de dólares em gastos necessários ao longo dos próximos 10 a 20 anos para atualizar e substituir estes ativos" (D. Agostino et al., 2007).

Estas atualizações de ativos incluem a alteração de uso, a atualização de sistemas mecânicos ou elétricos, a restauração das envolventes de prédios deteriorados, reparação de danos estruturais, reabilitações para reduzir a manutenção problemas, mudanças para satisfazer mandatos do governo, reparação da construção original e correções de erros de reabilitação anteriores. Apesar dos desafios, devido a ser mais difícil e requerer menor quantidade de trabalhadores qualificados do que a construção nova, as atividades de manutenção e reabilitação são implementadas pelos proprietários para manter ou aumentar o valor de um edifício, o que diminui o seu desgaste e obsolescência (Zavadskas et al., 1999).

Os trabalhos de reabilitação, são no entanto, normalmente caracterizados devido á sua natureza complexa e heterogénea, exigindo diversas especialidades para integrar em condições altamente variáveis (Egbu, 1999). Além disso, uma avaliação meticulosa de um edifício é bastante difícil de realizar, porque um edifício e seu ambiente são sistemas complexos, por exemplo, técnicos,

tecnológicos, ecológicos, conforto, sociais, estéticos, etc., onde cada subsistema influencia a eficiência do desempenho total e onde a interdependência entre os subsistemas adota um papel fundamental (Kaklauskas et al., 2005).

As alterações de concepção para projetos de reabilitação aparecem frequentemente devido a uma série de fatores, como por exemplo, a falta de dados de projeto adequados, os dados insuficientes das condições, informação inadequada da condição da construção, comunicação ineficaz entre o cliente e os empreiteiros (Lee e Gilleard, 2002). Moradores com conhecimento e experiência inadequados estão facilmente em situação de desvantagem durante o processo de reabilitação por causa da informação assimétrica (Holm, 2000).

Uma vez que a avaliação do estado e reabilitação de um edifício lida com sistemas de negócio bastante complicados, as partes interessadas, tais como os clientes, empreiteiros, arquitetos, fornecedores e instituições financeiras envolvidas em projetos de reabilitação do edifício, podem querer utilizar redes neurais, algoritmos genéticos, sistemas difusos, sistemas de apoio de decisão baseados no conhecimento, etc., para realizar análises complexas de diversas formas e seleção das ações de reabilitação mais adequadas (Zavadskas et al., 2006).

Há um número de métodos de reabilitação construção e modelos desenvolvidos para avaliar as condições e decisões de apoio pertencentes à renovação do edifício. No entanto, até agora, relativamente pouca atenção foi dada para combater com a análise de critérios múltiplos e formação de variantes alternativas para todo o edifício. Com uma completa avaliação económica, conforto, estética, técnica e quantitativas aspetos arquitetónicos de renovação do edifício, (Kaklauskas et al., 2005) desenvolveram um método de análise de projeto e critérios multivariados para a construção de remodelação, determinando o significado, as prioridades e o grau de utilidade de alternativas comparativas de reabilitação da construção, selecionando no final a variante mais recomendada (Juan et al., 2009).

Por exemplo, podem ser criadas diversas versões alternativas de reabilitação do edifício, em que cada uma tem informação detalhada sobre diversos critérios, para a seleção de uma reabilitação mais eficiente quando adotam vários métodos de análise de critérios e sistemas de apoio à decisão com critérios múltiplos que permitem aos usuários apreciar matematicamente o efeito de mudanças, tendo por objetivo os custos e benefícios do projeto (Kaklauskas et al., 2007).

Avanços na tecnologia de informação e comunicação (TIC) têm o potencial para tornar o processo tradicional utilizado para a avaliação do estado do alojamento mais eficaz e eficiente. Além de provar ser um método eficaz e eficiente na avaliação das condições de alojamento, o sistema proposto pode também ser considerado como uma ferramenta de decisão para ajudar os moradores a tomar decisões sobre questões complicadas derivadas da relação entre o custo e a qualidade (Juan et al., 2009).

### **Avaliação da habitação e sistema de apoio à decisão para reabilitação**

Juan et al. (2009) desenvolveu um processo estruturado, para auxiliar os usuários no diagnóstico das condições de habitação e apoio à decisão de aquisição da reabilitação. São estabelecidos neste processo oito passos, como mostrado na Fig. 8:

Passo 1: Os utilizadores definem potenciais requisitos de reabilitação.

Passo 2: As condições físicas e funcionais de habitação são avaliadas através de um questionário de avaliação on-line básico.

Passo 3: Se a pontuação de avaliação não atingir o limite sugerido pelo sistema, deve ser implementado um mecanismo de avaliação avançado.

Passo 4: O usuário pode selecionar modelos de reabilitação de acordo com sua prioridade. A prioridade orçamental significa que o pacote de medidas irá garantir a qualidade máxima com um orçamento limitado. Na situação contrária, dando prioridade á qualidade, significa que o pacote de medidas será perseguir o custo mínimo com um limite de qualidade esperado.

Passo 5: O compromisso entre os dois modelos, de qualidade e custo, é resolvido através do modelo operacional do algoritmo genético.

Passo 6: Após a operação, o sistema pode fornecer automaticamente soluções aceitáveis, ou seja, pacotes de ação, para os utilizadores.

Passo 7: Se os usuários não estão satisfeitos com o resultado, eles podem ajustar as suas configurações de preferência em relação ao custo e qualidade.

Passo 8: O resultado do suporte de decisão final inclui as notas antes e após reabilitação, o custo para reabilitar, ações de reabilitação e conselhos, bem como a descrição das condições correntes e a evolução das condições de habitação.

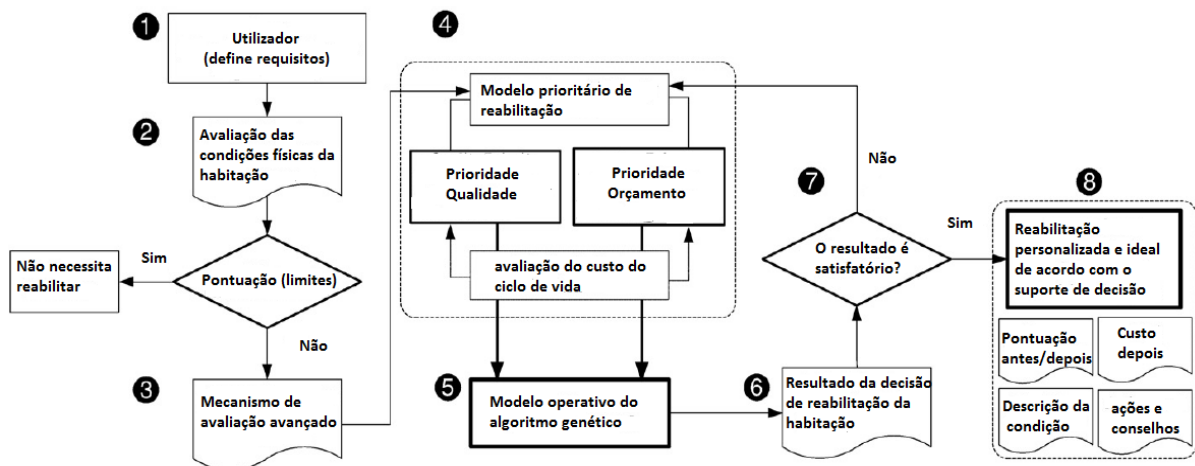


Figura 8: Diagrama do processo de apoio à decisão (Juan et al., 2009)

## Algoritmos genéticos para a otimização do pacote de medidas

### 1. Modelo de decisão de reabilitação prioritária

O compromisso entre custo e qualidade sempre foi uma questão importante na indústria da construção. Para o trabalho de reabilitação, o custo e a qualidade são maioritariamente determinados através de entrevistas prévias com os participantes que estão a pensar reabilitar a habitação no espaço de um ano. Os moradores são geralmente confrontados com estas questões: como conduzir uma reforma satisfatória em termos de qualidade e com um orçamento fixo, ou como garantir satisfação moderada com os resultados da reabilitação através de um orçamento insuficiente. É um compromisso bidimensional entre dois cenários. São portanto, desenvolvidos dois modelos prioritários de decisão (Juan et al., 2009).

#### 1.1 Restrição baseada no orçamento (prioridade orçamento)

Nesta condição, os moradores geralmente determinam o seu orçamento de reabilitação. Sem o conhecimento adequado e experiência, eles não têm certeza de como conduzir com sucesso os trabalhos de reabilitação para encontrar a qualidade ótima. O sistema pode proporcionar inteligentemente o resultado da computação, que inclui os pacotes de ações de reabilitação com o ótima qualidade dentro de um orçamento fixo (Juan et al., 2009).

#### 1.2 Restrição baseada na qualidade (prioridade de qualidade)

Da mesma forma, os moradores podem ter a alternativa de determinar a qualidade esperada de reabilitação (fixo). Existem dois níveis de reabilitação da habitação, primeiro, a reabilitação significa recuperação da função ou desempenho, segundo, significa um aumento no avanço ou atualização da função ou desempenho. O limite do índice de qualidade é o primeiro nível da reabilitação, o que

representa a recuperação da função ou desempenho. Outros níveis de qualidade de reabilitação são mostrados na Tabela 2. Os níveis de qualidade e faixas da pontuação são determinados por meio de entrevistas a empreiteiros e especialistas em reabilitação. Após o cálculo, o sistema pode mostrar vários pacotes de ação aceitáveis que vão de encontro com a qualidade esperada pelos moradores, e em seguida podem também selecionar o cenário com o mínimo custo (Juan et al., 2009).

Tabela 2: A faixa de pontuação e nível de qualidade de cada critério (Juan et al., 2009).

Critérios	Nível 1 (classificação limite)	Nível 2 (básica)	Nível 3 (média)	Nível 4 (elevada)	Nível 5 (muito elevada)
Segurança	44	45-66	67-78	79-90	91-100
Uso	58	59-68	69-78	79-88	89-100
Conveniência	28	29-50	51-68	69-89	90-100
Conforto	30	31-48	49-66	67-85	86-100
Utilidade	30	31-54	55-70	71-88	89-100
Saúde	40	41-60	61-79	80-92	93-100



## **CAPÍTULO 3: MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO: O PRESENTE E O FUTURO**

### **3.1 Introdução**

Estamos nos dias de hoje perante um grande desafio em termos ambientais, sendo imperativa a sua resolução, pois caso tal não aconteça poderá acarretar grandes consequências para a civilização humana, podendo mesmo significar o seu fim, da maneira como é conhecida. A ação humana pode muito bem ser comparada a uma praga, pois a ação humana consome demasiados recursos e poluindo tudo numa lógica de devastação sem precedentes. Todo este panorama é ainda agravado pelo facto de aparentemente só alguns terem o direito de poluir e consumir, temos neste sentido o exemplo dos Estados Unidos, que consomem cerca de um terço dos materiais do planeta e apenas representam 5% da população mundial. “O resultado final é um planeta poluído quase até ao limite e que ironicamente parece caminhar no sentido de uma nova idade do gelo” (Sampat e Gardner, 1998; Meadows e Behrene, 1972; Stern, 2007). “Nunca como agora os efeitos imediatos dos padrões de consumo da civilização humana revelaram dimensões de natureza intergeracional e intergeográfica tão evidentes, produzindo consequências noutros países e afetando futuras gerações” (Pacheco-Torgal e Jalali, 2008).

Um relatório do International Plant Protection Convention (IPPC, 2007) aponta para cerca de 200 milhões de refugiados, como resultado da subida dos níveis da água do mar. Muitos outros investigadores são da opinião de que esta situação já não tem retorno, e que devido a tal facto já não é possível evitar o ciclo de catástrofes naturais que têm vindo a suceder, estimando assim um prazo de 100 anos para que a população mundial ficar reduzida a 20% da população existente. Após a realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente em Estocolmo em 1972 começou a ser dada maior evidência a este tipo de preocupações ambientais da sociedade atual (Pacheco-Torgal e Jalali, 2007).

Apesar de ser uma situação á qual se deve dar grande destaque foi apenas a partir da publicação do Relatório “Our common future” em 1987, mais mediatizado como relatório Bruntland que se adquiriu uma perspetiva mais penetrante e onde aparece declarada a expressão do desenvolvimento sustentável, como aquele que *“permite satisfazer as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras satisfazerem as suas”*. Em 1993 a União Europeia desenvolveu o 5º Programa para o Ambiente e Desenvolvimento, no qual se estabelece a necessidade de uma maior abrangência das políticas do ambiente. Na sequência dos compromissos assumidos por Portugal no âmbito da Agenda 21, foi elaborado em 2002 um documento intitulado Estratégia Nacional para o



Desenvolvimento Sustentável (ENDS), o qual foi recentemente atualizado até ao ano 2015 (Resolução do Conselho de Ministros, 2007).

Com o aumento significativo da população a nível mundial, surgem necessidades associadas á construção de edifícios e outros tipos de infraestruturas, o que levará obrigatoriamente a um aumento no consumo das matérias-primas não renováveis e a um aumento na produção de resíduos. Em previsões feitas pela ONU, prevê-se que até ao ano de 2050 a população mundial possa ascender até ao número de 9.000 milhões de habitantes, esta previsão já foi revista, apontado agora para um crescimento superior ao 9.000 milhões. Este crescimento afeta na sua grande maioria os países menos desenvolvidos, prevendo-se um crescimento de 5.600 milhões para cerca de 7.900 milhões de habitantes até 2050. Devido a este fator podemos observar que o crescimento nos países desenvolvidos é em larga escala inferior, sendo mesmo possível afirmar que existiria uma diminuição da população, caso não existisse uma forte migração dos países menos desenvolvidos para estes, representando cerca de 2.400 milhões de habitantes, em termos líquidos. Com objetivos de sustentabilidade bem definidos, a União Europeia estabeleceu para os seus países, algumas metas a alcançar, tais como a redução de 50% dos consumos de energia, a redução de 30% das matérias-primas e redução de 40% dos resíduos. É portanto de grande importância estudar o caso dos materiais de construção, bem como a questão da sustentabilidade da construção, uma vez que assumem um papel bastante importante para que se possam atingir as metas anteriormente definidas (Pacheco-Torgal e Jalali, 2007).

Um dos assuntos de maior preocupação para o nosso planeta diz respeito á enorme procura de energia que ocorre a nível mundial, que se assume como uma das maiores causas do crescimento insustentável do nosso planeta. É estimado um crescimento da procura de energia até ao ano de 2030 em cerca de 40%, atingindo assim 16.8 mil milhões tep (Weo, 2009).

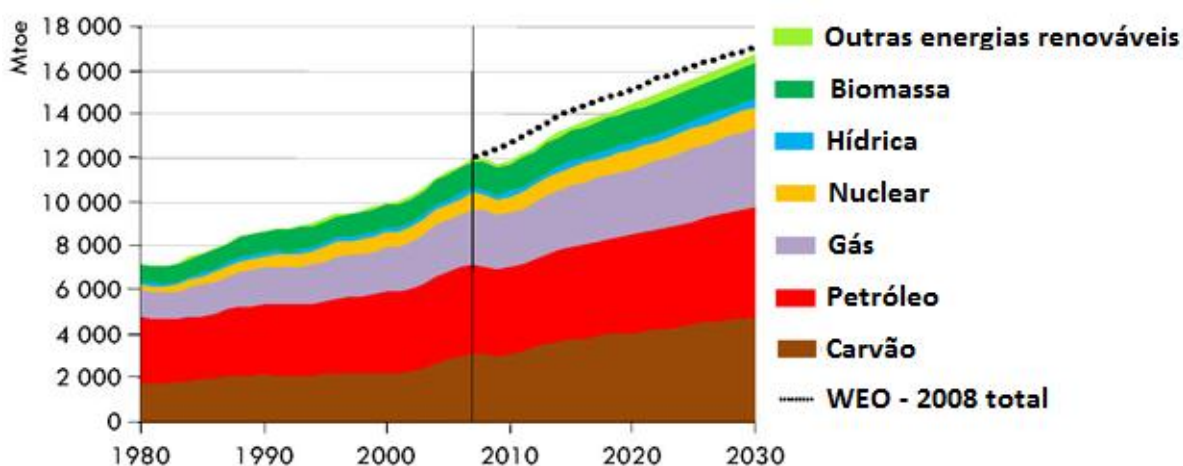


Figura 9: Emissões de carbono a nível mundial devidas à produção de energia (weo,2009)

O grande consumo energético existente em Portugal apresenta grandes preocupações e consequências a nível económico, uma vez que o sector da energia representa quase 60% das nossas importações. A riqueza portuguesa aumentou 28% no período entre 1995 e 2005, mas apesar deste aumento, no mesmo período registou-se um aumento de 400% na fatura de importação de energia, observando-se um aumento de 1500 milhões de dólares para 5500 milhões de dólares, esse montante sofreu novo aumento no período entre 2005 e 2007, passando agora a representar um valor de cerca de 10.000 milhões de dólares. Podemos então constatar que a dependência energética portuguesa é muito superior á média dos 27 países pertencentes á União europeia, sendo mesmo superior a outros países do sul da Europa (Figura 10) (Pacheco-Torgal e Jalali, 2011).

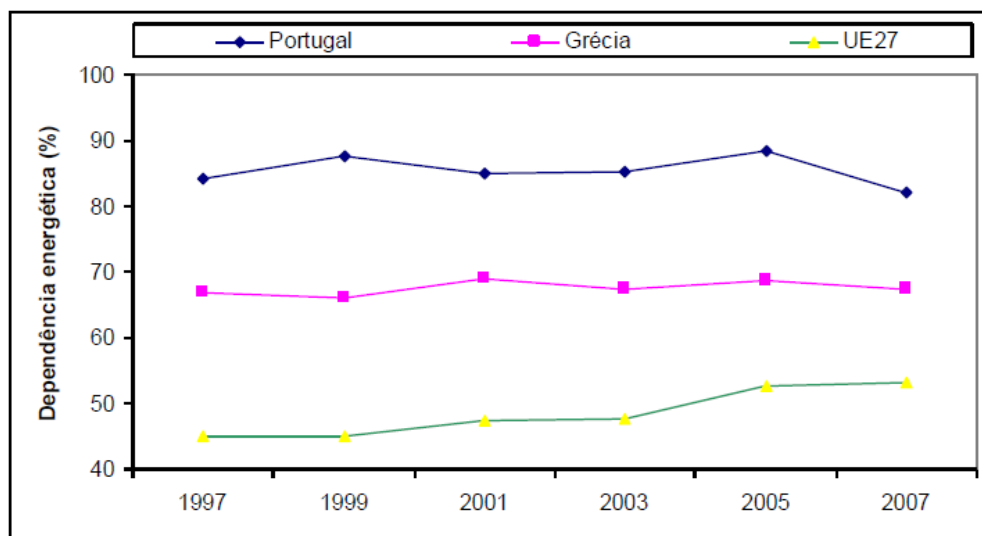


Figura 10: Evolução temporal da dependência energética portuguesa (EUROSTAT, 2007)

Em Portugal a aposta em energias renováveis tem aumentado bastante, mas no entanto grande parte da energia que necessitamos continua a ser importada e obtida através dos combustíveis fósseis. A maioria da energia que é produzida nacionalmente é de origem térmica, proveniente de centrais termoelétricas e portanto este assunto assume aqui um papel significativo. Toda esta situação se agrava devido ao desempenho insuficiente do nosso país no que diz respeito a atingir as metas relacionadas com as emissões de carbono, no âmbito do Acordo de Partilha de Responsabilidades (burden sharing agreement), definido pela Comunidade Europeia. Através do compromisso que foi assumido, muitos países são obrigados a diminuir significativamente os níveis de emissões, outros países estão permitidos a aumentá-las, neste lote está incluído Portugal, que vê assim aumentado em 27%, em relação a 1990, o nível de emissões de GEE (gases efeito de estufa) que pode apresentar em 2012. Sendo assim a meta de Portugal para o ano de 2010 seria no máximo de 76 milhões de toneladas (Mt), ou seja, mais 16 milhões do que no ano de 1990, no entanto o nível de emissões de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub> equivalente, pois inclui todos os gases GEE) em 2001 fixava-se já muito perto de 82 Mt, estando assim muito acima do permitido (Pacheco-Torgal e Jalali, 2011).

Como podemos constatar, é de grande importância dar preferência ao uso de materiais mais ecológicos, que permitam reciclagem ou que sejam provenientes de reciclagem e a sistemas construtivos sustentáveis, tudo isto deve ser uma prioridade nos projetos de engenharia civil, que deve estar direcionada para a eficiência no consumo de recursos naturais, por forma a minimizar as emissões de dióxido de carbono.

### **3.2 Materiais eco-eficientes**

“Os materiais de construção eco-eficientes são aqueles que entre várias alternativas possíveis, possuem um menor impacto ambiental” (Pacheco-Torgal e Jalali, 2010). A dificuldade nesta matéria está em perceber qual o material que trará maiores benefícios ambientais, pois podemos apresentar um material que tem grande potencial de reciclagem, podendo ser reciclado várias vezes, mas tendo o inconveniente de na sua fase de produção possuir um elevado consumo energético, e outro, que pode utilizar diferentes materiais locais e permite o escoamento de resíduos, mas origina uma grande quantidade CO<sub>2</sub>. Concluindo, para podermos ter a certeza dos benefícios, ou não, de certos tipos de materiais e até que ponto são benéficos, é necessário contabilizar e enumerar todos os impactos causados por cada um destes materiais, em termos ambientais, desde a fase de extração das matérias-primas necessárias, até à sua deposição (Pacheco-Torgal e Jalali, 2010a).

A seleção de materiais assume aqui um papel com bastante importância, pois é através dela que se consegue atingir a sustentabilidade de uma obra, e é também a partir desta escolha de materiais que podemos obter a melhor solução ambiental. Como é lógico os materiais naturais constituem uma melhor opção do que os materiais sintéticos, pois podemos constatar que têm, na maioria das situações, menor toxicidade, menor energia incorporada, menor impacto ambiental e necessitam de um processamento menor. Podemos então encontrar sistemas sustentáveis, quando neles são incluídos materiais naturais com baixa energia incorporada.

O problema que tem existido até aos dias de hoje reside em alguns critérios de seleção, pois muitas vezes os materiais de construção são selecionados de acordo com a sua funcionalidade e privilegiando fatores como a redução dos custos e a rapidez de construção (Eires, 2006). Existe portanto a necessidade de uma urgente mudança nos critérios que são utilizados para a seleção dos materiais de construção, de maneira a que o lado ambiental, que é de extrema importância, não seja esquecido. Para que esta situação seja possível, é necessária uma enorme consciencialização para o assunto, bem como uma aposta significativa em formação de engenheiros, arquitetos e projetistas, para que desta maneira obtenham outro tipo de perceção em relação aos materiais, neste caso, mais realista e obviamente mais abrangente durante o seu longo ciclo de vida. As diversas fases do ciclo de vida de um material apresentam diversos impactos e custos energéticos, acarretando também algumas consequências para o ambiente e para a saúde humana (Eires, 2006).

## Materiais eco-eficientes para reabilitação

---

A escolha dos materiais de construção deverá ser mais consciente e criteriosa, desde o início do projeto, e deverá ter em conta inúmeros aspetos como o uso de materiais com baixa energia incorporada, materiais provenientes de fontes renováveis, materiais recicláveis ou que contenham resíduos de outras indústrias e materiais duráveis (Eires, 2006).

Tabela 3: Critérios a analisar durante todo o ciclo de vida dos materiais (Eires, 2006)

Fases a analisar	Critérios na seleção de materiais	Objetivos
Fase de extração e produção	- Materiais com processos de fabrico simples	- Reduzir a produção de resíduos
	- Materiais cujos processos de fabrico consomem menos energia	- Reduzir a energia incorporada
	- Materiais cujas matérias-primas provêm de recursos renováveis	- Conservar a natureza
	- Materiais em que os processos de fabrico são menos poluentes em termos de libertação de GEE	- Reduzir as emissões de gases poluentes na atmosfera
	- Materiais locais	- Reduzir a poluição e o consumo de energia associados ao transporte  - Contribuir para o desenvolvimento da economia local
Fase obra	- Materiais não tóxicos	- Garantir uma boa qualidade do ar interior nas habitações, contribuindo para a saúde humana
	- Materiais com bom desempenho energético	- Reduzir a utilização de energia e, conseqüentemente, garantir um maior conforto
	- Materiais com maior durabilidade	- Reduzir a substituição ou reparação dos materiais durante a sua vida útil, minimizando a utilização de recursos e energia e a produção de resíduos
	- Materiais reutilizáveis	- Reduzir a pressão sobre os recursos naturais
Fase pós-obra	- Materiais bio-degradáveis	- Gerir de forma sustentável os resíduos produzidos que normalmente acabam depositados em aterro
	- Materiais recicláveis	- Usar materiais antigos como recursos para a produção de novos produtos  - Reutilizar  - Diminuir os impactos ambientais associados à extração de matérias-primas e à produção de novos produtos

Assim, a seleção dos materiais de construção deve ter em conta alguns critérios sustentáveis ao longo do ciclo de vida dos mesmos, que pode ser definida segundo três fases: a fase de extração e produção, a fase de obra, e a fase de pós-obra. Na Tabela 3 são apresentados os critérios a ter em consideração na seleção de materiais e os seus objetivos.

Existe ainda a necessidade de ter em conta todos os custos que estão associados ao ciclo de vida dos materiais, ou seja, o custo inicial, o de manutenção e o de demolição, todos estes custos são para ter em conta durante o processo de seleção dos materiais.

### **3.2.1 Energia e impacto ecológico incorporado no material**

Um das prioridades da atualidade para a construção sustentável, passa pela redução dos consumos energéticos, que está intrinsecamente ligada ao facto de Portugal apresentar uma carência energética elevada, pois a energia produzida nacionalmente apenas corresponde a 15% das nossas necessidades, estando assim obrigados a importar 85% da energia primária que precisamos (Resolução do Conselho de Ministros, 2007). Esta redução dos consumos é bastante benéfica pois ajudaria a solucionar os problemas ambientais decorrentes das emissões de carbono das centrais termoelétricas bem como os problemas económicos.

A convicção de que os materiais de construção representam cerca de 15% de toda a energia na construção dos edifícios é apoiada por vários autores (Thomark, 2000). É portanto de grande importância uma escolha adequada de materiais, pois podem contribuir de uma maneira significativa para a redução da energia necessária para a construção de edifícios. Thomark refere poupanças de quase 17% em termos de “embodied energy” (energia incorporada) (Gerilla et al., 2007).

No caso das emissões de CO<sub>2</sub>, muitos outros autores admitem que se consiga obter reduções na ordem dos 30%, caso seja feita uma correta escolha dos materiais de construção (González e Navarro, 2006). Já Esin (Esin, 2007) consegue através da comparação de diversos materiais de construção, apresentar uma perspectiva bastante interessante, demonstrando que se deve dar preferência a materiais locais em detrimento de outros, uma vez que estes últimos implicam um maior gasto de energia associado ao seu transporte (Pacheco-Torgal e Jalali, 2007).

Os materiais de construção têm ao longo do seu ciclo de vida um determinado consumo de energia, esse consumo diz respeito á energia incorporada do material. Idealmente esse ciclo é caracterizado pelos consumos internos desde o processo de extração da matéria-prima até ao final do seu período de utilização, conhecido como ciclo do-berço-ao-túmulo (do inglês Cradle-to-Grave) (Hammond e Jones, 2008).

Estima-se que cerca de 80% do valor de energia incorporada corresponde à energia primária incorporada (do inglês Primary Energy Consumption – PEC), englobando os consumos totais correspondentes à fase de produção dos materiais, ou seja, toda a energia relativa à extração de matérias-primas, ao transporte, processamento e transformação. Esta maneira de especificar a energia incorporada nos materiais de construção tem-se tornado cada vez mais recorrente, sendo também designado por ciclo do-berço-à-porta (do inglês Cradle-to-Gate). Os restantes 20% dizem respeito à energia que é consumida até que o material esteja pronto para ser utilizado, mantido e/ou até à sua demolição e designam o ciclo do-berço-à-obra (do inglês Cradle-to-Site), sendo necessário para tal ter em conta o transporte dos materiais para o estaleiro, as fases de manutenção, construção, reabilitação ou mesmo demolição (Mateus e Bragança, 2006; Hammond e Jones, 2008).

Tendo em consideração a questão dos consumos energéticos e para que se processe uma seleção adequada de materiais tendo como objetivo a sustentabilidade ambiental é necessário dar maior relevância à escolha de produtos locais, privilegia-se também a utilização de materiais com grande durabilidade e sistemas construtivos com uma baixa massa, valorizando assim a “construção leve” (normalmente quanto menor for a massa de um edifício menor a sua energia incorporada) (Mateus e Bragança, 2006).

No entanto há que ter em consideração, que a escolha de um material que tenha uma grande quantidade de energia incorporada pode no entanto ser vantajosa se o seu ciclo de vida for mais alargado, pois apesar de ter um custo ambiental significativo em termos energéticos, este pode ser amortizado através de um maior número de anos de utilização e rendimento. Nesta perspetiva é de grande importância perceber o comportamento passivo dos edifícios, uma vez que apesar de podermos escolher um material com baixa energia incorporada, este pode apresentar um comportamento térmico insuficiente e portanto comprometer a sustentabilidade do projeto de construção ao originar maiores gastos energéticos através de maiores necessidades de aquecimento e arrefecimento (Mateus e Bragança, 2006).

Como já foi referido anteriormente o CO<sub>2</sub> é um dos gases que mais influência tem nas alterações climáticas que se vêm a sentir, a sua produção/libertação aparece intrinsecamente associada à combustão de combustíveis fósseis que advêm de alguns processos aos quais os materiais de construção são submetidos. Assim, o impacto ecológico incorporado nos materiais é geral e surge apenas associado às emissões de CO<sub>2</sub>, mas apesar deste facto sabemos que estão implícitos neste impacto outros fatores como os custos energéticos de transporte, a contaminação dos cursos de água e delapidação dos recursos naturais.

“A quantificação dessas emissões, medidas em gramas equivalentes de CO<sub>2</sub> por quilograma de material, é traduzida num indicador denominado potencial de aquecimento global (PAG)” (Mateus e Bragança, 2006).

Os fatores PEC e PAG que são incorporados nos materiais dizem respeito à agressividade ambiental, têm sido alvo de estudo – análises do ciclo de vida dos materiais – e de inúmeras publicações, quer em livros, artigos, quer mesmo em conferências. Com toda esta informação reunida, foi possível criar bases de dados que sumarizam esse impacto ambiental (Tabela 4), como é o caso do Inventário da Energia e do Carbono, desenvolvido e publicado pela Universidade de Bath, em 2007 (Hammond e Jones, 2008).

Tabela 4: Energia e carbono incorporados em alguns materiais correntes na construção  
(Hammond e Jones, 2008)

Material	PEC (MJ/kg)	PAG (MJ/kg)
Água	0,20	-
Aço	24,4	1,77
Tijolo	3,00	0,22
Madeira (vigas)	8,50	0,46
Madeira (laminada)	12,0	0,65
Madeira (contraplacado)	15,0	0,81
Betão	2,12	0,24
Pedra Natural	1,00	0,06
Alumínio	155	8,24
PVC	77,2	2,41
Cortiça	4,00	0,19
Lã mineral	16,6	1,20
Poliestireno Expandido	88,6	2,50
Gesso cartonado	6,75	0,38
Vidro	15,0	0,85

### 3.2.2 Potencial de reutilização e reciclagem dos materiais

A reciclagem de materiais é um assunto que merece real destaque, uma vez que os materiais tidos como recicláveis apresentam inúmeras vantagens em termos ambientais, pois podem originar outros materiais quando vêm a sua vida útil esgotada. Os materiais que se podem incluir neste grupo são a maioria dos materiais metálicos e também materiais de origem geológica. Com a aposta na reciclagem em vez do fabrico de materiais a partir de novas matérias-primas, podemos reduzir os impactos ambientais negativos (Pacheco-Torgal e Jalali, 2007).

“Um produto que pode ser facilmente reciclado tem vantagens em relação a um produto que é inicialmente ‘verde’, mas que não pode ser reciclado” (Pacheco-Torgal e Jalali, 2007). Os produtos resultantes da indústria de construção têm normalmente pouco potencial de reciclagem, mas não obstante disso sabemos que existem produtos que podem ser reciclados inúmeras vezes, apesar desse potencial raramente ser utilizado. “Na Suécia, em 1992, o nível de produtos reciclados era de 5% e na Alemanha, em 1990, foram reciclados 29% dos produtos” (Pacheco-Torgal e Jalali, 2007)

Surge então a necessidade de criação de uma política estruturada ao longo das diversas fases do ciclo de vida dos edifícios, para tal é necessário aplicar de forma agregada os requisitos dos instrumentos regulamentares e não regulamentares, de maneira a que a eficiência energética dos edifícios seja promovida sem que desta maneira sejam esquecidas as preocupações ambientais. A minimização dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) assume aqui um papel de grande relevância, reduzindo a sua deposição final, estabelecendo um fluxo de materiais sustentáveis e visando a utilização de materiais reciclados. Segundo dados do Instituto Superior Técnico – IST, relativos ao ano de 2004, 95% dos RCD produzidos foram depositados em aterro, apesar de muitos poderem apresentar grande potencial para um possível reaproveitamento. Como exemplo podemos fazer referência à taxa média de reciclagem dos RCD existente na Europa, que é de 50%, sendo que em países como a Dinamarca a taxa ascende aos 89% (Pinheiro, 2006; Pacheco-Torgal e Jalali, 2008).

Convém sublinhar que os RCD representam uma significativa parte dos resíduos gerados no espaço europeu – numa produção estimada em 100 milhões de toneladas. Além da quantidade alarmante, o fluxo de resíduos apresenta outras particularidades que dificultam a sua gestão tais como a sua constituição heterogénea com frações variadas e de diferentes níveis de perigosidade. Da conjugação deste com outros fatores resultam situações ambientalmente indesejáveis – e.g. deposição não controlada de RCD –, que em pouco ajudam no sentido do cumprimento dos compromissos internacionais e comunitários (Decreto-Lei nº 46/2008).

Neste sentido assume particular importância o Decreto-Lei nº 46/2008 de 12 de Março, que “estabelece o regime das operações de gestão de resíduos resultantes de obras ou demolições de edifícios ou de derrocadas, abreviadamente designados resíduos de construção e demolição ou RCD, compreendendo a sua prevenção e reutilização e as suas operações de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação”. Esta gestão dos RCD é feita com base nos princípios da auto-suficiência, previstos no Decreto -Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro (Decreto-Lei nº 46/2008).

Pelo citado anteriormente, podemos constatar que a gestão de RCD, nomeadamente em obras de reabilitação de edifícios necessita de especial atenção. Constata-se, apesar da legislação vigente, a



existência de estudos insuficiente que visem a realidade portuguesa, que abordem a caracterização e quantificação deste tipo de resíduos em obras de reabilitação (Melim e Sousa, 2010).

### **3.2.3 Materiais com maior durabilidade**

“Quanto maior for a durabilidade de um material, maior será a sua vida útil e conseqüentemente, menor será o seu impacto ambiental. Se por exemplo, aumentarmos a durabilidade do betão de 50 para 500 anos, haverá uma redução do seu impacto ambiental de um fator de 10 vezes” (Mora, 2007). Infelizmente são inúmeros os casos de deterioração precoce de estruturas de betão armado. Um estudo sobre pontes construídas na Noruega após 1970, revela que 25% apresentavam deterioração por corrosão de armaduras (Gjorv, 1994).

“Outros estudos, indicam que 40% das cerca de 600.000 pontes existentes nos Estados Unidos estariam afetadas pela corrosão, implicando um custo de reparação de aproximadamente 50.000 milhões de dólares” (Ferreira, 2000).

A vulnerabilidade deste material fica a dever muito ao material ligante (cimento portland), que apresenta uma elevada quantidade de cal, facilmente suscetível por ataque químico. Esta situação é agravada pela incapacidade do cimento portland em conseguir uma boa aderência aos agregados, o que induz níveis de permeabilidade relativamente elevados, facilitando o ingresso de água, gases e substâncias agressivas, que provocam fenómenos de carbonatação e de corrosão das armaduras.

A utilização de ligantes alternativos ao cimento portland, com uma durabilidade superior a este material, constitui assim um passo no sentido da sustentabilidade da construção.

### **3.2.4 Materiais não tóxicos**

Os materiais a ser utilizados nos edifícios devem ser devidamente analisados, com o objetivo de determinar a existência de compostos químicos que apresentem algum nível de toxicidade, pois os materiais tóxicos podem originar elevados danos quer nos ecossistemas quer na saúde dos seres humanos.

Apesar da maioria dos poluentes ter origem em atividades humanas e de equipamentos exteriores ou até mesmo interiores, a qualidade do ar interior (QAI) dos edifícios pode ser preocupante e significativamente fraca pela emissão gasosa e de partículas sólidas por parte de materiais, produtos e componentes. Em consequência da elevada permanência das pessoas em espaços interiores (atualmente estimado em mais de 80% do seu tempo), expostas a estes poluentes, e de deficientes níveis de ventilação dos espaços, surgem diversos e sérios riscos para a saúde dos ocupantes, mesmo que a longo prazo (Mateus e Bragança, 2006; Martins, 2003).

Alguns materiais apresentam elevados níveis de perigosidade para a saúde humana, pois podem libertar substâncias nocivas durante dias, meses ou até mesmo durante vários anos após a sua aplicação, sendo portanto materiais a evitar. Muitas das tintas que se utilizam correntemente no interior das habitações, podem ser responsáveis pela libertação de substâncias tóxicas. Muitos sintomas e doenças podem estar intrinsecamente associadas á qualidade do ar interior, como por exemplo, a asma, o cansaço, a tosse, as irritações, as dores de cabeça e o cancro.

Neste sentido, é importante dar destaque ao estudo da influência dos COV's (compostos orgânicos voláteis), pois estão presentes no ambiente interior em concentrações superiores ás do exterior. Por outro lado, o desconforto experimentado pelos utilizadores é também causado pela sensibilidade a certos odores existentes, mesmo a níveis de concentração muito baixos. Segundo alguns estudos científicos alguns materiais que são utilizados na construção, como por exemplo materiais de revestimento e estruturais, são grandes fontes de poluição do ar interior, devido às suas grandes superfícies e permanente exposição (Martins, 2003).

Os projetistas têm o dever e a responsabilidade de selecionar materiais com baixos níveis de toxicidade, de maneira a que os mesmos não afetem a saúde e produtividade dos habitantes e dos responsáveis pela construção e manutenção do edifício. As fichas técnicas dos materiais e diversos componentes de construção (isolamentos, revestimentos, tintas e vernizes) devem ser alvo de uma análise profunda, de maneira a evitar/reduzir a integração nos edifícios de substâncias tóxicas como os formaldeídos, os COV's e outras substâncias químicas prejudiciais, encontradas com grande frequência nos materiais de construção e que podem vir a afetar a qualidade de vida dos ocupantes.

### **3.2.5 Materiais que aumentam a eficiência energética do edifício.**

O consumo energético de um edifício na fase de utilização é um dos elementos com maior significância na sustentabilidade. A energia utilizada nesta fase é denominada de energia operativa e resulta dos gastos energéticos associados aos sistemas de iluminação, aquecimento, arrefecimento, etc. Estes consumos assumem-se como dependentes do desempenho do edifício em termos térmicos, sendo então de uma enorme importância a escolha de materiais a empregar, desde os de isolamento até ao tipo de vidro, pois é através destes que podemos obter uma redução significativa da energia consumida. Em várias situações, mesmo apesar de os materiais não preencherem alguns critérios aqui referidos, a sua seleção é justificada através do grande contributo que estes oferecem em termos de desempenho energético. Os impactos negativos associados á natureza do material em questão são assim compensados com os benefícios ambientais resultantes da grande redução de energia que estes promovem aquando da sua utilização. Num cenário ideal, os materiais deviam satisfazer todos os critérios ambientais. A utilização de poliestireno extrudido como isolamento térmico, material que tem uma elevada energia incorporada e é difícil de reciclar, pode apresentar vantagens se a sua aplicação

conduzir a uma elevada redução da energia consumida na climatização do edifício (GreenSpec Guide, 2005).

### **3.3 Seleção de materiais**

“A escolha e seleção de materiais a utilizar num contexto de construção sustentável não deve contudo ser feita, numa base casuística e dispensando uma abordagem global de todos os impactos ambientais causados pelos materiais” (Pacheco-Torgal e Jalali, 2007).

Uma tal metodologia, correntemente designada por análise do ciclo de vida (ACV) ou Life Cycle Assessment (LCA), foi primeiramente utilizada nos Estados Unidos em 1990 e é definida como o processo de avaliação dos impactos, que um determinado material ou produto têm no ambiente ao longo do seu ciclo de vida.

Trata-se da fase do processo de ACV que define o objetivo e o método de avaliação dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto. Nesta fase devem ser determinados os seguintes pontos: que tipo de informação é necessária, qual a precisão que os resultados devem apresentar e como esses resultados devem ser interpretados, de forma a serem significativos e utilizáveis.

A definição do objetivo e âmbito de aplicação da ACV vai determinar o tempo e recursos necessários à sua realização. O objetivo e âmbito vão orientar todo o processo, para assegurar que se obtém os resultados pretendidos. Cada decisão tomada nesta fase tem impacto na forma como o estudo será conduzido e na relevância dos resultados finais.

As decisões que devem ser tomadas no início da ACV, para que seja mais eficaz a gestão do tempo e dos recursos, são (Paulsen, 2001; Borg, 2001):

- 1- Definir o(s) objetivo(s) do projeto
- 2- Determinar que tipo de informação é necessário fornecer a quem vai tomar as decisões
- 3- Determinar a especificidade pretendida com o estudo
- 4- Determinar como os dados devem ser organizados e como os resultados devem ser apresentados
- 5- Determinar o âmbito do estudo
- 6- Determinar as linhas mestras para a execução do trabalho

#### **Análises do Ciclo de vida dos Materiais (ACV)**

A análise do ciclo de vida “inclui o ciclo de vida completo do produto, processo ou atividade, ou seja, a extração e o processamento de matérias-primas, a fabricação, o transporte e a distribuição, a utilização, a manutenção, a reciclagem, a reutilização e a deposição final” (SETAC, 1993). O principal problema do qual padecem as ACV reside no facto de necessitarem de quantidades de dados enormes acerca dos impactos ambientais de cada material, aplicadas nas suas diferentes fases que fazem parte do ciclo de vida, obrigando também a um gasto de tempo considerável. As categorias de impactos ambientais correntemente utilizados para as ACV podem abranger as seguintes (Pacheco-Torgal e Jalali 2011a):

- Consumo de recursos não renováveis;
- Consumo de água;
- Potencial de aquecimento global;
- Potencial de redução da camada de ozono;
- Potencial de eutrofização;
- Potencial de acidificação;
- Potencial de formação de smog;
- Toxicidade humana;
- Toxicidade ecológica;
- Produção de resíduos;
- Uso de terra;
- Poluição do ar;
- Alteração de habitats

No entanto sabemos a que a importância de cada categoria pode ser variável pois depende muito da realidade ambiental em que está inserida, podendo assim variar consoante cada país. Por exemplo, um produto que apresente um grande consumo de água constitui um enorme impacto ambiental num país em que esse recurso seja escasso, como é o caso dos países muito áridos, no entanto num país em que esse recurso abunde a mesma situação já não sucede. “Faz por isso todo o sentido que a categoria de impacto ambiental relativa ao consumo de água tenha um peso diferente consoante o país onde determinado produto ou material foi produzido “ (Pacheco-Torgal e Jalali, 2011a).

Esta metodologia tem vindo a ser utilizada por diversos autores na seleção de materiais de construção. Diversas ferramentas informáticas utilizam a ACV para o sector da construção como se apresenta na Tabela 5.

Tabela 5: – Programas informáticos para AC V no sector da construção

Aplicação	Programa informático	
	Denominação	Origem
Aplicação geral a estudos de ACV	SimapPro GaBi	Holanda Alemanha
Seleção de materiais	BEES	EUA
Concepção de edifícios	ATHENA EcoQuantum EnVest	Canadá Holanda Reino Unido
Sistemas completos de edifícios	LEED BREEM GBTool Ecoprofile Escale Ecoeffect	EUA Reino Unido Canadá Noruega França Suécia

As atuais apostas em edifícios eco-eficientes conjugam as melhores soluções dos métodos de construção convencionais com a emergente abordagem eficiente, através de técnicas de construção sustentável que salvaguardam uma resposta eficaz quanto à questão do impacto ambiental e do consumo de recursos. Para tal, tem em conta o ciclo de vida do edifício e das suas componentes, invocando também os recursos renováveis para sistemas de energia, reutilização e reciclagem de água e materiais, assim como sistemas passivos de aquecimento, arrefecimento e ventilação (Kibert, 2005).

Os processos de reutilização e reciclagem dos materiais existentes ao invés da aplicação de novos conduzem a uma efetiva conservação dos recursos naturais, na redução da energia incorporada assim como acarreta benefícios económicos tangíveis. Contudo, estes processos estão associados a inevitáveis questões técnicas relacionadas com a especificação, localização e aquisição dos materiais. Neste contexto, a análise do ciclo de vida (ACV) de materiais e processos são particularmente relevantes e reveladores (Lacasse, 1999; Kernan, 2002).

O ciclo de vida de um produto (Figura 11) engloba a sua extração, aplicação, utilização e manutenção, reparação e renovação, assim como a demolição, reciclagem e/ou alienação. Assim, cabe à equipa de projeto a adoção de uma linha estratégica na seleção de materiais, avaliando as implicações de todas estas fases (Mateus e Bragança, 2006; Lacasse, 1999).

-energia incorporada no material;

- risco de impacto ambiental – toxicidade para seres humanos e ecossistemas;
- risco de esgotamento de recursos;
- potencial de reciclagem, reutilização e/ou reintegração ecológica;
- custos económicos associados



Figura 11: Esquematização das diferentes fases que permitem efetuar a análise ciclo de vida (Gerflor, 2012)

A aplicação de análises de ciclo de vida está regulamentada a nível internacional, desde 1996, pelas seguintes normas:

- ISO 14040 (2008): Análise do Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura;
- ISO 14041 (2011): Definição de Objetivos e Âmbito e Análise do Inventário;
- ISO 14042 (2000): Análise do Impacto do Ciclo de Vida;
- ISO 14043 (2010): Interpretação do Ciclo de Vida.

Deste modo, o processo metodológico da ACV é composto por quatro etapas distintas de análise (Figura 12). A primeira etapa, que corresponde à definição de objetivos e âmbito do estudo, define e descreve o produto, processo ou atividade, estabelece o contexto no qual a avaliação é para ser feita e identifica os limites e aspetos ambientais a analisar. A segunda etapa, que diz respeito à análise do inventário, consiste na recolha de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas (energia, água e materiais) e saídas (emissões ambientais, como, emissões para o ar, deposição de resíduos sólidos e descargas de afluentes líquidos) relevantes do sistema. A terceira etapa, relativa à análise de impacto, analisa os efeitos humanos e ecológicos identificados na análise do inventário. Por fim, a quarta etapa, que consiste na interpretação dos resultados, avalia os resultados da análise do inventário e dos impactos, de modo a seleccionar o melhor produto, processo ou atividade.

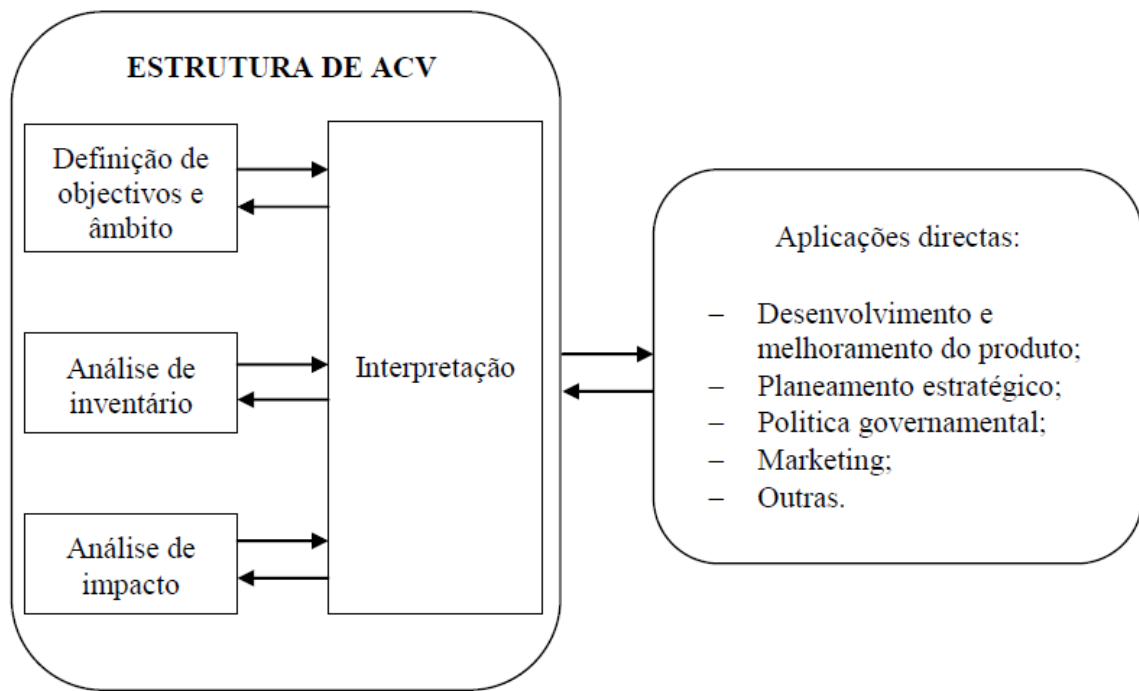


Figura 12: Fases de uma análise de ciclo de vida (Ferreira, 2004)

Em conclusão, na elaboração de um estudo ACV, é possível (Ferreira, 2004):

- Desenvolver um sistema de avaliação das consequências ambientais associadas a um dado produto;
- Analisar os balanços (ganhos/perdas) ambientais associados com um ou mais produtos/processos específicos de modo a que os visados (estado, comunidade, etc.) aceitem uma ação planeada;
- Quantificar as descargas ambientais para o ar, água, e solo relativamente a cada estágio do ciclo de vida e/ou processos que mais contribuem;
- Assistir na identificação de significantes trocas de impactos ambientais entre estágios de ciclo de vida e o meio ambiental;
- Avaliar os efeitos humanos e ambientais do consumo de matérias-primas e descargas ambientais para a comunidade local, região e o mundo;
- Comparar os impactos ecológicos e na saúde humana entre dois ou mais produtos/processos rivais ou identificar os impactos de um produto ou processo específico;
- Identificar impactos em uma ou mais áreas ambientais específicas de interesse.

## CAPÍTULO 4: ISOLAMENTOS TÉRMICOS

### 4.1 Introdução

Atualmente, a sociedade passou a reconhecer que o crescimento económico ilimitado no planeta, que possui recursos naturais finitos, leva a desastres ambientais que o homem já começou a sentir. Portanto, as empresas têm feito uma restrição ao conceito de crescimento e passaram a introduzir a questão ecológica como critério fundamental das atividades de negócio, Ou seja, a sustentabilidade deixou de ser uma função exclusiva de proteção para tornar-se também uma função da administração (Fernandes, 2010).

Surge portanto uma necessidade de melhorar a qualidade de vida e de preservar o meio ambiente, não só por parte de agências não-governamentais, mas também através da iniciativa privada, utilizando reciclagem dos materiais, tecnologias mais limpas, projetos de desenvolvimento sustentável, etc.

Os isolamentos térmicos são um instrumento essencial para atingir os objetivos de redução dos consumos energéticos e também de impacto ambiental, sendo também de grande importância devido às crescentes exigências de conforto térmico por parte da civilização. Através de um isolamento com boas características podemos obter uma redução nas necessidades de arrefecimento e/ou arrefecimento.

Sendo assim, o isolamento térmico é definido como o processo pelo qual, recorrendo a matérias-primas adequadas, se dificulta a dissipação de calor de um corpo ou de um ambiente, isto é, usando os materiais isolantes mais adequados e com as características de um bom isolante (condutibilidade térmica:  $\lambda \leq 0,065 \text{ W(m}^{-1}\text{°C}^{-1})$  e resistência térmica:  $R > 0.5 \text{ (m}^2\text{°C)W}^{-1}$ ), é possível reduzir a taxa de transferência de calor. É também o método que evita o calor de escapar ou de entrar num recipiente, por outras palavras, mantém uma área fechada, como um edifício quente ou então mantê-lo frio.

A condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) caracteriza os materiais ou produtos termicamente homogêneos e representa a quantidade de calor que atravessa uma espessura unitária de material, quando entre duas faces planas ou paralelas se estabelece uma diferença unitária de temperatura (1°C ou 1 K).

Já o valor da resistência térmica (R) é o que indica se o material é um bom ou mau isolante, é definida como o quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário.



Então, sabendo as características acima referidas dos materiais isolantes existentes, é possível proceder a uma correta escolha do material mais adequado à construção e ao tipo de clima em que se insere.

O isolante térmico para além da principal função que é retardar o fluxo de calor pela envolvente do edifício, possui mais funções, tais como:

- Conservar a energia devida à redução das perdas de calor;
- Controlam a temperatura superficial de equipamentos e estruturas;
- Ajudam a controlar a temperatura de um processo químico, equipamentos e estruturas;
- Previnem as condensações em superfícies com a temperatura inferior ao ponto de orvalho;
- Reduzem as flutuações térmicas dos espaços, aumentando o conforto térmico.

Á partida, nenhum material, possui todas as propriedades e funções acima descritas, portanto o objetivo é encontrar um material que tenha uma maior aproximação a cada uma delas, tendo em conta a função á qual se destina a edificação.

Entre os materiais que têm vindo a ser utilizados na construção civil com a finalidade de controlar as trocas de calor entre o ambiente externo e interno, principalmente nas paredes e coberturas das edificações que sofrem incidência direta da radiação solar, encontram-se os naturais e os industrializados. Pode-se citar como naturais a cortiça, as penas de aves, as cascas de cereais (arroz, trigo, entre outros), algumas argilas que permitem ser expandidas e as fibras de madeira. Como industrializados tem-se o poliuretano, as lãs de vidro e de rocha, o poliestireno expandido (EPS), entre outros (Fernandes, 2010).

Conforme Fenilli (2008), a lã de vidro é considerada um dos produtos mais tradicionais para isolamento térmico e acústico em ambientes, podendo ser encontrada no mercado em rolos ou painéis, o que facilita sua aplicação. O aumento no consumo da lã de vidro, principalmente na construção civil, deve-se à sua leveza, à facilidade de manuseamento, à incombustibilidade, ao facto de não favorecer a proliferação de fungos ou bactérias e não atacar superfícies com as quais estão em contato. Além disso, sua eficiência como isolante térmico não é comprometida ao longo do tempo pela sua exposição a intempéries.

O EPS apresenta-se na forma de chapas retangulares, porém é bastante adaptável ao formato que se deseja aplicar. Sua capacidade de isolar termicamente os ambientes é devido à sua estrutura celular fechada, cujo ar reduz a passagem de calor, e outras características, como baixa densidade, não ser

higroscópico, boa resistência mecânica, facilidade de aplicação, baixo custo, dentre outras (Fenilli, 2008).

De acordo com Fenilli (2008), por possuir baixa condutividade térmica (k), apresentar boa resiliência, ser incombustível e não higroscópico devido à sua estrutura não capilar, e oferecer custo/benefício favorável, a lã de rocha tem vindo a ser bastante utilizada como isolante térmico, em forma de placa ou manta, podendo ser utilizada em sistemas com elevadas temperaturas de trabalho.

## 4.2 Isolamentos naturais

Com a rápida expansão do mercado dos isolantes orgânicos, verifica-se uma proporcional aposta, desde os agentes responsáveis pela construção (donos de obra, projetistas, etc.) até aos utilizadores finais. Estes materiais compõem uma vasta matriz de características e propriedades, que, quando corretamente aplicados melhoram consideravelmente a performance do edifício (ECS, s/d).

Relativamente aos isolantes sintéticos convencionais a performance dos isolantes naturais não desiludem e são, geralmente, melhores materiais em termos de funcionalidade e durabilidade, para além das inerentes questões de reutilização e reciclagem que vão de encontro às questões de sustentabilidade; não só reduzem as perdas de energia e diminuem a libertação de carbono como, sobretudo durante a fase da extração, absorvem esse gás com potencial de aquecimento global (ECS, s/d).

Uma das grandes vantagens dos isolamentos orgânicos é que permitem, na maior parte dos casos, soluções construtivas sem barreiras de vapor, já que são capazes de difundir a humidade absorvida; implicará uma melhoria ambiental da habitação e num aforro monetário. É, ainda assim, recomendável a utilização de materiais com homologação oficial (rotulagem ambiental), que se traduz num indicador suplementar de qualidade (Valero, s/d).

No passado, era limitada a aplicação de isolantes naturais e a sua entrada no mercado foi muitas vezes questionada, muito pela incorreta perceção de que não eram capazes de competir, em termos de funcionalidade e custos, com os isolantes convencionais (ECS, s/d).

Para além deste ceticismo a aplicação dos isolantes naturais mediria também forças com o lobby da indústria química que por muitos anos ajudou a manter classificações de comportamento ao fogo melhores para isolamentos sintéticos; resultados contrariados por ensaio realizado na Alemanha e publicado na revista *Ok-Haus*<sup>2</sup> (Valero, s/d).

---

<sup>2</sup> Artigo publicado na edição nº 16 da revista, realizado num Instituto Alemão com o intuito de estudar o comportamento ao fogo de três materiais de isolamento: fibras minerais, poliestireno expandido e a celulose

Nas páginas que se seguem pretende-se demonstrar o rol de possibilidades que o mercado atual apresenta como alternativa aos isolamentos sintéticos. Cada um destes materiais é uma combinação de características-chave que permite, aos intervenientes na construção, a seleção de isolantes orgânicos que ajudarão a criar construções mais eficientes energeticamente, mais saudáveis e duráveis, mantendo as condições de conforto dos ocupantes. Na Tabela 6 sintetizam-se os campos de aplicação (por elemento construtivo) mais adequados a cada um desses isolamentos.

Tabela 6: Síntese de aplicação dos materiais ecológicos por elemento de construção (Valero, s/d)

Elemento construtivo	Materiais isolantes
Coberturas	Pela sua resistência ao choque, ao vento e à humidade: -painéis de fibras brandas de madeira -painéis de aglomerado de cortiça
Vigas	Entre vigas recomenda-se a instalação de materiais flexíveis de instalação simples (sob pressão): -produtos à base de celulose, linho. Lã, cânhamo ou algodão.
Fachadas	-painéis de aglomerado de cortiça -painéis de fibras brandas de madeira (como segunda fachada à qual se podem conjugar produtos de celulose) -isolantes minerais (lã de vidro, lã de rocha) -vidro celular
Divisórias	-painéis de fibras brandas de madeira -celulose, cânhamo e lã ou materiais similares
Tetos e solos	Materiais a granel, também aplicáveis ao aligeiramento de betão: -granulado de cortiça -argila expandida

Relativamente aos ensaios realizados nos materiais descritos, é necessário ter em conta que as condições de humidade, temperatura ou pressão atmosférica podem interferir na sua estrutura molecular, concedendo valores benéficos na ótica do fabricante. Aspetos como estes podem elucidar acerca da falta de fiabilidade ao redor destas informações: desde indicar como valor oficial da condutividade térmica de um produto, o resultado de ensaios realizados sob condições não favoráveis; a omissão de dados importantes como da inércia térmica do material, por não ser considerado um resultado adequado, *etc* (Valero, s/d).

É portanto necessário ter em consideração alguns aspetos importantes no momento da escolha do isolante. Alguns dos aspetos a ter em conta são a sua composição natural (ausência de substâncias que possam eventualmente ser prejudiciais) ou balanço energético favorável, focando várias características inerentes aos isolamentos ecológicos e que muitas vezes não são evidentes em isolamentos sintéticos.

#### 4.2.1 Argila Expandida

Geologicamente a argila é uma rocha sedimentar impermeável de estrutura pulverenta e a sua extração é efetuada em explorações a céu aberto. A resistência que lhe conferem os processos de secagem e

cozedura posterior à mistura com água, tornaram a argila numa poderosa matéria-prima no fabrico de materiais de construção tais como em telhas e revestimentos (Valero, s/d).

Entre os diferentes tipos de argila existentes, associados às diferentes localizações e formas de sedimentação, salienta-se uma do tipo inerte e arenoso que, contrariamente à utilizada em cerâmica, que se expande quando sujeita a elevadas temperaturas, a argila expandida. Deste processo de introdução de argila pura em fornos rotativos a temperaturas superiores a 800°C, resulta a sua expansão controlada e a formação de grânulos no seu interior – milhares de micro-poros fechados, que, por conterem apenas ar, conferem leveza e propriedades isolantes (Argex, 2012; Valero, s/d). Na Tabela 7 estão descritas as propriedades de gamas distintas de argila expandida comercializada pela Argex ®.

Tabela 7: Propriedades da gama de produtos em argila expandida da Argex ® (Argex, 2012).

Argila expandida			
Granulometria (mm)	4 a 8 <sup>(1)</sup>	8 a 12,5 <sup>(2)</sup>	8 a 16 <sup>(2)</sup>
Densidade	358 +/- 15 Kg/m <sup>3</sup>	303 +/- 15 Kg/m <sup>3</sup>	397 +/- 15 Kg/m <sup>3</sup>
Resistência (esmagamento)	4,8 Mpa	1,9 Mpa	1,4 Mpa
Comportamento ao fogo	Incombustível: Euroclasse A1		
Condutibilidade térmica	0,11 W/m°C		0,10 W/m°C
PEC	7,20 MJ/Kg		
PAG	0,52 KgCO <sub>2</sub> /kg		

(1) Passível de aplicação em betões estruturais leves para obras especiais e de reabilitação

(2) De aplicação em regularização e isolamento de pavimentos; enchimento de caixas de ar

Estas propriedades, conjugadas com a sua natureza mineral, fazem da argila expandida um isolante térmico durável, com elevada resistência térmica e que, em função das características da matéria-prima e da tecnologia de queima é possível que esta apresente diversas características para diferentes aplicações. Além de tudo isso, é um material quimicamente neutro que não liberta gases nem odores, para além de não deteriorar nem se modificar ao longo do seu tempo de vida útil (Argex, 2012; Valero, s/d).

#### 4.2.2 Fibras celulósicas

Celulose é a componente fundamental da estrutura dos vegetais, presente na madeira em cerca de 50 % dependendo do tipo e tratamento – e.g. pinho, eucalipto e abeto – e em fibras naturais como o

algodão em cerca de 99%. A celulose pura é branca e, entre outras propriedades (Tabela 8), apresenta grande resistência mecânica: as fibras de algodão chegam a suportar tensões na ordem dos 80kg/mm<sup>2</sup> (Valero, s/d).

Tabela 8: Propriedades de um isolante em forma de painéis à base de celulose (Hammond e Jones, 2008).

Celulose	
Densidade	70 kg/m <sup>3</sup>
Comportamento ao fogo	Euroclasse E
Condutibilidade térmica	0,039 W/m°C
PEC	0,9 a 3,3 MJ/kg
PAG	n/d

É uma matéria-prima obtida a partir de palha ou madeira, mediante processos industriais de desintegração e desfibrção, entre outros. Contudo, a celulose empregue na indústria da construção na forma de isolamento, tem a sua origem em papel de jornal reciclado.

As fibras celulósicas correntemente utilizadas em vários países no isolamento térmico de edifícios são obtidas a partir da reciclagem de produtos celulósicos, em especial papel de jornal não vendido ou usado. É um material usado em vários países para isolamento térmico de edifícios (Labrincha, 2006)

O processo de fabrico das fibras consiste na trituração do papel, com o objetivo de transformá-lo em partículas fibrosas de pequenas dimensões. Durante este processo, são adicionados produtos destinados a melhorar o comportamento das fibras face às ações do fogo e, eventualmente, dos agentes biológicos (fungos, insetos, ...). A solução mais comum de aplicação dos aditivos é sob a forma de pó, uniformemente disperso no seio das fibras (Labrincha, 2006).

**Vantagens do uso da celulose (como material isolante):** (Biohabitat, 2009)

- Recurso natural de origem vegetal
- Material sustentável
- O seu manuseamento não comporta perigo para a saúde
- Baixo conteúdo energético

Segundo Labrincha (2006) nos Estados Unidos da América, Reino Unido e Países Nórdicos, as fibras celulósicas conhecem uma grande divulgação na reabilitação térmica de desvãos não-acessíveis de coberturas inclinadas, constituindo em conjunto com as fibras minerais a solução mais utilizada.

Em coberturas, estas fibras aplicam-se soltas, podendo ser necessária a projeção de um ligante de origem orgânica na superfície. Este tipo de solução é utilizada em coberturas que apresentem elevado grau de ventilação, uma vez que está presente o risco de deslocação das fibras devido a correntes de ar.

Em aplicações mais recentes, as fibras celulósicas estão a ser utilizadas no preenchimento de espaços de ar de paredes duplas.

### 4.2.3 Cânhamo

A indústria de cânhamo e seus derivados tem vindo a desenvolver-se um pouco por todo o mundo, já que o seu campo de aplicação passa pela alimentação, cosmética, têxteis, combustíveis e materiais de construção. Esta planta atinge até os 4 metros de altura entre 100 a 120 dias após a sua plantação e têm a capacidade de cobrir rapidamente o solo impedindo o aparecimento de ervas daninhas, evitando completamente o uso de pesticidas no seu cultivo. O cânhamo purifica o ar na sua fase de crescimento, absorvendo CO<sub>2</sub> (Thermo-Hemp, 2009).

Dependendo das várias marcas comerciais que já apostam nas fibras de cânhamo no fabrico de soluções para isolamento em edifícios, estas podem ser apresentadas em forma de painéis flexíveis ou em rolo para isolar tetos, paredes ou pavimentos. É considerado um excelente material de construção, pois aliado ao excelente comportamento ambiental, é de fácil aplicação e passível de ser utilizado em obras de reabilitação ou construções novas (Thermo-hemp, 2009).

O material cânhamo como material de construção apresenta versatilidade e diferentes formas descritas na Figura 13. As suas principais características como material isolante são apresentadas na Tabela 9.



Figura 13: Várias formas e aspetos das fibras de cânhamo na preparação de várias soluções para a construção (Thefreshscents, s/d)

Tabela 9: Propriedades dos rolos e painéis de isolamento de cânhamo da Thermo-Hemp® (Thermo-Hemp, 2009).

Cânhamo	
Densidade	30 a 42 kg/m <sup>3</sup>
Comportamento ao fogo	Euroclasse E
Condutibilidade térmica	0,040 W/m°C
PEC	4,32 MJ/kg
PAG	n/d

#### 4.2.4 Vidro Celular

O vidro é um material duro e geralmente translúcido ou transparente que resulta da solidificação da mistura fundida de areias silícias, cal e carbonato de sódio ou de potássio (estes com função vitrificante). É um material mau condutor do calor e de eletricidade, resistente aos agentes químicos ordinários – atacado pelo ácido fluorídrico (Valero, s/d).

Com o pó de vidro pode ser fabricado um isolamento aplicável em construção conhecido por vidro celular. É obtido através da fusão do pó vítreo, a qual através de processos termoquímicos origina células parcialmente ocas e fechadas entre si, impossibilitando a comunicação (Valero, s/d).

Existem dois tipos de vidro celular: um de cor escura aplicado como isolante térmico (contra humidade ou contra fogo) e outro de cores mais claras (branco, azul, bege, salmão, verde) utilizado como teto falso de fácil montagem e desmontagem e com armação adequada. Na tabela 10 estão presentes algumas propriedades deste material.

Tabela 10: Propriedades do painel FOAMGLAS® Wall Board constituído por vidro celular (Hammond e Jones, 2008; Foamglas, s/d).

Vidro celular	
Densidade	100-120 kg/m <sup>3</sup>
Comportamento ao fogo	Euroclasse A1
Resistência à compressão	5Kg/cm <sup>2</sup>
Resistência à flexão	0,40 N/mm <sup>2</sup>
Condutibilidade térmica	0,042 W/m°C
PEC	27 MJ/kg
PAG	n/d

### 4.2.5 Fibra de Coco

“A fibra de coco é oriunda da Índia e Sri Lanka, e começou a ser introduzida na Europa após a chegada dos portugueses á Índia” (Mendonça, 2005).



Figura 14: fibras de coco; manta de fibra de coco

Estas fibras pertencem á família das fibras duras e são constituídas essencialmente por celulose e lenho, o que lhes confere elevados valores de rigidez e dureza. Pode ser utilizada como isolamento térmico e acústico, e quando associada ao aglomerado de cortiça expandida atinge elevada eficácia (Mendonça, 2005).

**Vantagens:** (Labrincha, 2006)

- Ecológico e facilmente reciclável;
- Rígido e duro, devido aos componentes: celulose e lehinha;
- Versátil, devido à sua resistência, durabilidade e resiliência;
- Reduz substancialmente os níveis sonoros, quer de impacto, quer aéreos.

Além destas vantagens, a fibra de coco é ainda um recurso natural e sustentável, resiste á humidade, não possui perigos para a saúde, tem um enorme tempo de vida útil e é ambientalmente segura e biodegradável (Samagaio, 2006).

**Desvantagens:** (Labrincha, 2006)

- Difícil corte das mantas, uma vez que as fibras são muito duras e causam forte desgaste das lâminas de corte e brocas convencionais;
- A sua colocação requer cuidados especiais, visto que não contém encaixes;
- É combustível.



## **4.2.6 Fibras e partículas de madeira aglutinadas (WF e WW)**

As placas de fibras linho-celulósicas são fabricadas com base em partículas de madeira submetidas a um processo inicial de fibragem mecânica sob a ação de vapor. Em seguida, após mistura com água e, eventualmente, ligantes e aditivos, as fibras são sujeitas a um processo industrial de transformação que lhes dá a forma final (placas rígidas ou semi-rígidas) (Labrincha, 2006)

Segundo, Labrincha (2006) a massa volúmica deste tipo de produtos é da ordem de  $200 \text{ Kg/m}^3$  e a condutibilidade térmica da ordem de  $0.050 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ . A absorção de água e o comportamento ao fogo dos produtos não aditivados, não é muito satisfatória, obrigando à sua proteção face à ação daqueles agentes.

As placas de fibras de madeira mineralizadas e aglomeradas (WW), são obtidas pela mistura de fibras de madeira selecionadas com um ligante hidráulico, em geral cimento, magnesite ou uma mistura de cimento e de cal. Após a preparação e mineralização das fibras, procede-se à sua mistura com o ligante, moldagem e compressão até à espessura final pretendida. Em alguns países, estas placas são conhecidas pelas designações “lã de madeira” (wood wood) ou de “betão de fibras de madeira” (béton de fibres de bois) (Labrincha, 2006).

Este tipo de placas é normalmente utilizado como isolamento térmico, a sua aplicação pode ser utilizada em soluções de isolamento pelo exterior e ainda interior, pode ainda desempenhar a função de cofragem perdida isolante em elementos de betão moldado e pavimentos.

## **4.3 Isolamentos térmicos correntes**

### **4.3.1 Poliestireno expandido (EPS e XPS)**

Mendonça (2005) refere que “O poliestireno é um termoplástico, o que significa que se molda através de calor e que teoricamente poderá ser novamente sintetizado e portanto é um material reciclável. Mas só será possível reciclar se este for puro e não tiver outros componentes aditivados, o que só acontece, geralmente, no caso do Poliestireno expandido.”

#### **Origem (EPS)**

O poliestireno expandido, mais conhecido por EPS, é um produto sintético proveniente do petróleo e deriva da natureza, tal como o vidro, a cerâmica e os metais. A matéria-prima deste material é o poliestireno (PS) expansível, um polímero de estireno que contém um agente expensor e é obtido, a partir do petróleo, por meio de diversas transformações químicas (ecocasa, 2012).

#### **Processo produtivo**

Este tipo de material é habitualmente conhecido por esferovite e a sua produção é feita a partir do estireno expansível, obtido pela polimerização do estireno com incorporação dos agentes de expansão e de nucleação e, eventualmente, de produtos específicos destinados a melhorar as características de comportamento ao fogo do poliestireno expandido.

De acordo com ACEPE (2005) o processo produtivo passa por três etapas:

**Pré-expansão:** os grânulos de poliestireno expansível, com massa volúmica aparente da ordem de 1000 Kg/m<sup>3</sup>, são submetidos a um processo inicial de pré-expansão por ação de vapor de água a temperatura elevada. Nesta fase obtêm-se grânulos com um volume cerca de 50 a 80 vezes ao inicial e, conseqüentemente, massa volúmica bastante baixa.

**Armazenamento intermediário:** após a pré-expansão, os grânulos são armazenados em silos permeáveis ao ar, fabricados com rede metálica ou com material têxtil, passando por uma fase de estabilização, o granulado de EPS arrefece, o que cria uma depressão no interior das células. Ao longo de todo este processo o espaço dentro das células é preenchido pelo ar circundante.

**Moldagem:** nesta fase, os grânulos apresentam uma forma esférica, com superfície lisa e estrutura interna constituída por inúmeras células poliédricas fechadas, com paredes extremamente finas. O granulado estabilizado é introduzido em moldes e mais uma vez exposto ao vapor de água, o que provoca a soldadura do mesmo, obtendo-se assim um material expandido, que é rijo e contém grande quantidade de ar.

Após a estabilização, os grânulos são utilizados na moldagem de blocos de grandes dimensões, e de diversos elementos para a indústria da construção, nomeadamente blocos de cofragem para aligeiramento de pavimentos, blocos e outros componentes para paredes, soluções de isolamento térmico de caixas de estores, e placas moldadas para isolamento térmico.

Em países como o Reino Unido estes grânulos que são obtidos na fase de pré-expansão, são muito utilizados em variadas intervenções de isolamento térmico de paredes duplas de edifícios.

### **Vantagens**

- Leveza excepcional
- Grande poder isolante
- Muito resistente a efeitos adversos devido á humidade

### **Desvantagens**

- Durante a produção deste material há ainda produção de benzeno e clorofluorcarbonetos
- Não é bio-degradável

### **Valorização/eliminação do resíduo**

Durante a produção são gerados pouquíssimos resíduos, que podem e devem ser valorizados, no entanto desconhecem-se em Portugal operações de valorização deste tipo de resíduos. Após a conclusão da vida útil do EPS, este é totalmente reciclável. A sua eliminação é a deposição em aterro para resíduos industriais não perigosos. Na tabela 11 apresentam-se algumas características técnicas.

Tabela 11: Poliestireno expandido (EPS) (Bazzocchi F. et al., 2002)

Condutibilidade térmica	0,035/0,04 W/mK
Massa volúmica	25/45 kg/m <sup>3</sup>
Límite máximo de temperatura	85°C
Resistência máxima de compressão	0,2/0,7 N/mm <sup>2</sup>

### **Origem (XPS)**

O poliestireno extrudido, também conhecido por XPS, é um produto sintético proveniente do petróleo e deriva da natureza, tal como o vidro, a cerâmica e os metais. A matéria-prima deste material é o poliestireno, um polímero de estireno, que é extrudido e passa de um estado sólido a um estado fundido, que depois arrefece e volta a um estado sólido.

### **Processo produtivo**

A extrusão deste polímero consiste na geração e o uso de um fluxo contínuo das matérias-primas para produzir o material. O polímero é continuamente transformado de um estado sólido a um estado fundido, e logo transportado e forçado em altas pressões mediante um molde. O desenho do molde corresponde à forma do produto a ser manufaturado. Logo, a reversibilidade do processo de fusão permite que o perfil fundido arrefeça para obter o produto final, que se traduz numa estrutura rígida e uniforme de pequenas células fechadas que se apresenta sob a forma de placas coloridas (Labrincha, 2006).

### **Aplicação e durabilidade**

Apresenta uma boa resistência à transmissão de vapor de água, não apodrece, facilidade de instalação e resistência ao manuseamento de obra (Dutra, 2010).

Relativamente à reação ao fogo, o poliestireno extrudido contém ignífugos que contribuem para a resistência ao fogo, tornando-se num produto de Euroclasse E, auto-extinguível sem a presença de gotas o que evita a propagação das chamas em caso de incêndio (Aipex, s/d)

Não são afetadas por chuva, neve ou gelo. A sujidade acumulada é facilmente lavável, no entanto, devem ser protegidas da radiação solar direta.

Quando adequadamente aplicadas, a vida útil destas placas é estimada em período de tempo igual ao da vida útil do edifício ou construção em que se inserem.

### **Impactes associados**

Existem no mercado marcas que produzem este material sem gases do tipo CFC's - clorofluorcarbonetos halogenados e que satisfazem a Diretiva Europeia EC/3093/94, de 15 de Dezembro de 1994, acerca de substâncias que contribuem para a destruição da camada de ozono. Logo deve dar-se preferência a estes.

### **Valorização/eliminação do resíduo**

Dependendo do sistema de instalação, que deve ser o de encaixe, as placas poderão ser reutilizadas. A sua produção gera resíduos que podem ser valorizáveis, no entanto desconhecem-se operações de valorização deste tipo de resíduos em Portugal. Este material pode ainda ser utilizado como enchimento em terreno, pois não tem nenhum efeito contaminante.

A sua eliminação é a deposição em aterro para resíduos industriais não perigosos. Na tabela 12 apresentam-se algumas características técnicas.

Tabela 12: Poliestireno extrudido (Bazzocchi et al., 2002)

Condutibilidade térmica	0,035/0,04 W/mK
Massa volúmica	25/45 kg/m <sup>3</sup>
Limite máximo de temperatura	90°C
Resistência máxima de compressão	0,1/0,9 N/mm <sup>2</sup>

### **4.3.2 Espumas rígidas de poliuretano (PUR) e de poli-isocianurato (PIR)**

São polímeros termo estáveis, o que significa que só podem ser sintetizados uma vez e não poderão ser reciclados, uma vez que as ligações moleculares são muito fortes e não poderão ser desfeitas sem consequências irreversíveis (Mendonça, 2005).

São obtidas pela mistura controlada de componentes líquidos de natureza química semelhante, embora os produtos acabados se diferenciem em algumas das suas propriedades.

“Estas espumas rígidas apresentam uma estrutura celular predominantemente fechada, formada por células poliédricas preenchidas com um gás de expansão de peso molecular elevado –

tradicionalmente o triclorofluormetano (R11) – que lhes confere uma condutibilidade térmica bastante reduzida” (Labrincha, 2006)

“A difusão progressiva deste gás para o exterior, o qual é em parte substituída por ar no interior das células do poliuretano, provoca o aumento progressivo da condutibilidade térmica deste material, fenómeno designado por “envelhecimento”” (Labrincha, 2006).

O aproveitamento de desperdícios da indústria de espumas rígidas de poliuretano conduziu, em alguns países, nomeadamente no Reino Unido, à comercialização de grânulos deste produto para o isolamento térmico de espaços de ar de paredes duplas. No entanto, de acordo com a informação disponível, a sua utilização para este fim foi abandonada na sequência de um estudo realizado naquele país sob o comportamento ao fogo deste e de outros produtos de isolamento térmico de paredes duplas (Labrincha, 2006).

**Vantagens:** (Mendonça, 2005)

- Baixa condutibilidade térmica;
- Adesão automática, durante a produção “*in situ*”, à maior parte das superfícies de elementos construtivos;
- Redução de custos de transporte.

**Desvantagens:** (Mendonça, 2005)

- Elevado custo ambiental;
- Libertação de CO<sub>2</sub> em obra, que inviabiliza a sua colocação em obras já fechadas.

O poliuretano é obtido a partir dos isocianatos, mundialmente conhecidos pela sua trágica associação ao desastre químico de Bopal que em 1984 foi responsável por aprox. 15.000 mortos e problemas de saúde em quase 200.000 pessoas. O fabrico de poliuretano envolve ainda a produção de substâncias tóxicas como fenól e clorofluorcarbonetos, entre outras (Pacheco-Torgal e Jalali, 2010).

Além destas desvantagens, Liang e Ho (2007), concluíram após a análise da toxicidade após combustão de vários isolantes térmicos, que tanto o poliuretano como o polietileno apresentam elevada toxicidade, pois excedem o valor limite de 10 correspondente a materiais de baixa toxicidade em caso de incêndio.

Por sua vez, as espumas de polisocianurato (PIR) diferem da espuma de PUR apenas na percentagem em que os componentes primários, polioli e isocianato são misturados. Estas espumas são utilizadas

apenas pela sua superior estabilidade térmica e reação ao fogo, uma vez que se formam cadeias mais estáveis. Por isso, a produção do PIR torna-se mais cara (Mendonça, 2005)

### **4.3.3 Lã Mineral (MW)**

#### **Lã de vidro**

##### **Origem**

A origem da lã de vidro provém de uma substância líquida inorgânica obtida através de um composto básico de vários elementos: a sílica, em forma de areia, que assume o papel de vitrificante, o carbonato de sódio, sulfato de sódio e potássio, para que a temperatura de fusão seja mais baixa, e o carbonato de cálcio e magnésio, como estabilizantes para conferirem a este material uma elevada resistência à humidade (Labrincha, 2006).

##### **Processo produtivo**

A lã de vidro é um componente fabricado em alto-forno a partir de sílica e sódio, que elevados a temperatura de aproximadamente 1500<sup>0</sup>C, formam uma massa em estado plástico de altíssima viscosidade, que aumenta à medida que arrefece, mantendo-se em estado de sobre fusão sem cristalizar (Labrincha, 2006).

Este aglomerado foi desenvolvido especificamente para melhorar o isolamento termo acústico aplicado ao edifício.

A lã de vidro pode ser apresentada na forma de mantas que, ao serem instaladas, adquirem a forma da máquina ou imóvel que se vai isolar. Nesse caso, o produto não recebe aplicação de resina, sendo comercializado na forma de grandes rolos.

##### **Aplicação e durabilidade**

Devido às suas características tanto térmicas como acústicas, a lã de vidro atende os mercados da construção civil, industrial e automóvel entre outros. É durável, mantendo as suas capacidades ao longo do tempo, não se comprometendo nem quando exposto à maresia, bem como, não se deixa atacar nem destruir pela ação de roedores, não favorece a proliferação de fungos ou bactérias e não ataca as superfícies com que se encontra em contacto (Labrincha, 2006).

##### **Impactes associados**

A sua produção está associada à geração de partículas para a atmosfera e à emissão de gases tipo SO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. Existe algum perigo no seu manuseamento, existindo ainda a possibilidade de libertação de

fibras para o ar, o que pode ser nocivo para as vias respiratórias. Implica gastos significativos de energia e água.

A lã de vidro é do tipo de fibra que não tem nenhuma relação com as fibras de amianto, atualmente alvo de restrições de uso. A lã de vidro é um material não cancerígeno. Também não contribui para a proliferação de ratos, insetos, fungos e bactérias.

**Vantagens:** (Mendonça, 2005)

- Boas propriedades térmicas;
- Incombustível e imputrescível;
- Material de isolamento com menor energia incorporada;
- Boa relação entre isolamento térmico e acústico.

**Desvantagens:** (Mendonça, 2005)

- Não é indicada para caixas-de-ar verticalmente preenchidas, visto que se apresenta em forma de manta e não apresenta rigidez.
- Manuseamento perigoso e nocivo para as vias respiratórias;

### **Caraterísticas técnicas**

Coefficiente de condutibilidade térmica (k) a 24°C:

- Densidade 12 Kg/m<sup>3</sup>: k= 0,045 W/m°C; (k baixo)
- Densidade 16 Kg/m<sup>3</sup>: k= 0,042 W/m°C; (k baixo)
- Densidade 20 Kg/m<sup>3</sup>: k= 0,038 W/m°C; (k baixo)

### **Lã de rocha**

#### **Origem**

A lã de rocha provém de fibras minerais de rochas vulcânicas, entre elas o basalto e o calcário. Esta fibra procedente de depósitos vulcânicos era já utilizada pelos nativos das ilhas havaianas na cobertura de suas moradias para protegê-los do frio e do calor.

Fibras naturais de rocha vulcânica, apresentado em forma de placa ou manta. Totalmente imune à ação do fogo e com excelentes propriedades de isolamento térmico e acústico.

### **Processo produtivo**

A lã de rocha é produzida a partir de lã mineral. Depois de aquecer as rochas basálticas e outros minerais a cerca de 1500°, estes são transformados em filamentos que, aglomerados com soluções de resinas orgânicas, permitem a fabricação de produtos leves e flexíveis ou até muito rígidos, dependendo do grau de compactação.

### **Aplicação e durabilidade**

Fabricada em todo o mundo, a lã de rocha devido a suas características tanto térmicas como acústicas atende os mercados da construção civil, industrial e automóvel entre outros. Garante conforto ambiental, segurança e aumento no rendimento de equipamentos industriais, gera economia de energia com aumento de produtividade. Além de não reter água, uma vez que possui uma estrutura não capilar, as alterações perante eventuais condensações são nulas. Não provoca alergias, não apodrece, permite a passagem do ar, recupera sempre a espessura original após retirada a força que a deformou e tem durabilidade ilimitada (Labrincha, 2006).

### **Impactes associados**

A sua fabricação implica gasto de energia e gera emissões de CO<sub>2</sub>, no entanto se lhe atribuirmos um uso adequado, no que diz respeito ao isolamento térmico, a economia de energia gerada poderá superar este impacte negativo.

A Lã de Rocha foi classificada no Grupo 3 (Material não Cancerígeno), segundo relatório da IARC (International Agency for Research on Cancer). A IARC, sediada em Lyon (França), é um órgão pertencente à Organização Mundial da Saúde da ONU.

### **Caraterísticas técnicas**

Condutibilidade térmica:  $k=0,030 \text{ W/m}^0\text{C}$  (k baixo)

## **4.3.4 Cortiça**

A grande parte da produção de cortiça é efetuada na União Europeia (acima dos 80%), com maior destaque para os cerca de 50% do volume de produção, em Portugal. Trata-se de um material cujas aplicações são conhecidas desde a Antiguidade, algumas delas, desde logo relacionadas com a construção, mas sobretudo como artefacto flutuante e como vedante, cujo



mercado, a partir do início do século XX, teve uma enorme expansão, nomeadamente face ao desenvolvimento de aglomerados diversos à base de cortiça (Gil, 2006).

### **Origem**

Proveniente do córtex exterior do sobreiro (*Quercus Suber*), cuja extração é feita a partir dos seus 20 até aos 150 anos, com intervalos de 8 anos, sempre na época de Verão, constitui um recurso renovável. Desta forma, é possível extrair-se uma média de 8 a 10kg de cortiça por sobreiro. Na sua transformação, incluem-se os processos de trituração, formando grânulos, e posterior prensagem e cozedura que estimulam a resina natural e o tecido do córtex (Valero, s/d).

O Aglomerado de Cortiça Expandida, deriva de uma matéria-prima totalmente natural e renovável - a cortiça, cuja extração da árvore se enquadra no seu ciclo de vida. Tem origem na árvore de sobreiro, que sobrevive sem herbicidas químicos, fertilizantes ou irrigação. É ainda a única árvore que se regenera após a tiradia – processo de obtenção da cortiça virgem. Assim, a cultura do sobreiro não implica a delapidação ou a degradação do ambiente, não apresenta aspetos ambientais negativos associados a outras culturas florestais destinadas a transformações industriais, contribui para a fixação de uma fauna natural variada e apoia diversas atividades de pastorícia, cinegéticas e outras (Fernandes, 2010).

Desde os tempos mais remotos que a técnica de descortiçamento atingiu um equilíbrio raro na exploração de recursos naturais. O equilíbrio entre a superfície de descortiçamento e a estatura dos sobreiros é perfeita e requintada e ciclicamente, de nove em nove anos, procede-se à extração deste valioso tecido vegetal, que os sobreiros se encarregam de regenerar. Pode-se assim concluir que a exploração da cortiça é uma exploração sustentada, de alto valor económico e que mantém sistemas únicos de elevada biodiversidade, que são os montados de sobreiro, sendo estes sistemas agroflorestais extensos que se revestem de uma grande importância sócio económica e biológica, e de que depende a sobrevivência de muitas espécies ameaçadas, tais como a Águia Bonelli e o Lince Ibérico (Fernandes, 2010).

### **Processo produtivo**

O aglomerado de cortiça expandida é um produto em que a aglutinação dos grânulos da matéria-prima se efetua exclusivamente em consequência da expansão volumétrica e da exsudação das resinas naturais da cortiça, por ação da temperatura transmitida pelo vapor de

água. É assim produzido um aglomerado unicamente constituído por cortiça, razão pela qual também se designa por aglomerado puro de cortiça. Internacionalmente e na documentação técnica atual o aglomerado de cortiça expandida é com frequência referenciado pela sigla ICB, da denominação inglesa Insulation Cork Board (ecocasa, 2012).

Após a pré-preparação da matéria-prima, esta é triturada, limpa de impurezas, ensilada e seca, até se atingir um teor ponderal de água ótimo para a operação de cozimento (ecocasa, 2012).

Seguidamente a aglomeração dos grânulos de cortiça natural processa-se num autoclave, no qual é injetado vapor de água aquecido a temperaturas superiores a 300<sup>o</sup> C. Neste método forma-se um bloco paralelepípedo de ICB, funcionando o próprio autoclave como molde (ecocasa, 2012).

Após o completo arrefecimento e a estabilização dimensional, seguem-se as fases de corte e de acabamento, em que os blocos são seccionados em placas, é acertada a esquadria destas e, eventualmente são submetidas a uma lixagem da superfície para efeitos decorativos (ecocasa, 2012).

### **Aplicação e durabilidade**

As qualidades únicas da cortiça oferecem vantagens difíceis de equiparar. É constituída por milhões de células suberosas – cada célula funciona como um isolante acústico e térmico e amortecedor em miniatura de pressão e absorve os choques.

Macroscopicamente é um material leve que se caracteriza pela sua elasticidade – pode aguentar fortes compressões verticais sem que se expanda horizontal ou lateralmente – e impermeabilidade (a gases e líquidos). Além de quimicamente inerte é um excelente isolante térmico (baixa condutividade térmica), elétrico e é também conhecido por ser um material absorvedor acústico e de vibrações, sendo também inócuo e praticamente imputrescível. Estas características, sintetizadas na Tabela 13, resultam da sua peculiar microestrutura em várias camadas de células com aspeto alveolar (Gil, 2006; Valero, s/d).

Tabela 13: Propriedades do granulado e aglomerado de cortiça enquanto isolantes térmico-acústicos (Gil, 2006; Valero, s/d)

Isolantes em Cortiça		
	Granulado	Aglomerado
Densidade	60-80 kg/m <sup>3</sup>	100-140 kg/m <sup>3</sup>
Granulometria	3-15mm	-
Absorção acústica	15 a 50% dependendo da frequência	
Comportamento ao fogo	-	Euroclasse E
Condutibilidade térmica	0,048 W/m°C	0,040 W/m°C
PEC	4,00 MJ/kg	
PAG	0,19 kgCO2/kg	

Com referência à indústria de construção em Portugal, os produtos corticeiros mais correntes são os isolantes térmicos acústicos e os anti-vibráteis com aplicações comuns em tetos falsos, revestimento de paredes, pisos e tetos, granulados para enchimento de espaços (Figura 15) e misturas para argamassas; juntas isolantes e de dilatação ou compressão. Em 2000, dados revelam que relativamente ao total dos produtos corticeiros, foram aplicados na construção 17% (10 milhões de m<sup>2</sup>) como aglomerados para revestimento e 6% (150 mil m<sup>3</sup>) como aglomerado expandido de cortiça (Gil, 2006).



Figura 15: Enchimento com grânulos de cortiça em blocos cerâmicos de furação vertical (Valero, s/d).

### Valorização/eliminação do resíduo

No final do período de utilização do Aglomerado de Cortiça Expandida (ICB), que muitas vezes será imposto pelo fim da vida útil do próprio edifício, quando seja viável a recolha isolada e integral das placas de ICB podem estas vir a ser reutilizadas em aplicações idênticas.

Nos casos em que tal não seja exequível (quebra das placas, "contaminação" com outros produtos), promove-se a sua trituração. Deste modo obtém-se um regranulado de cortiça expandida, destinado a

novas aplicações em isolamento térmico, ou utilizado como inerte no fabrico de betões e de argamassas leves (ecocasa, 2012).

**Vantagens:** (Labrincha, 2006)

- Longa durabilidade;
- Imputrescível;
- Resistente à compressão;
- Elevada estabilidade dimensional;
- Produto 100% reciclável;
- Produto renovável e fortemente implantado em Portugal.

**Desvantagens:** (Labrincha, 2006)

- As placas não têm encaixes, o que pode trazer problemas de pontes térmicas e acústicas na sua colocação, quando não preenche totalmente a caixa-de-ar;
- É relativamente pesado em comparação com os outros materiais de isolamento;
- É combustível, gerando monóxido e dióxido de carbono, o que o torna menos indicado para alguns tipos de utilizações.

#### **4.4 Isolamentos térmicos de elevado desempenho**

A necessidade de reduzir gastos energéticos em edifícios, teve como consequência que as espessuras dos isolamentos térmicos, tenha crescido ao longo dos anos, e nalguns países do Norte da Europa esse valor mais do que duplicou (Figura 16A) (Pacheco-Torgal, 2012)

Os Isolamentos térmicos mais espessos têm algumas desvantagens, entre as quais: dificultam a produção dos projetos e a execução dos mesmos; aumentam o peso dos edifícios e as áreas brutas de construção e os edifícios necessitam de maior manutenção (Xing *et al.*, 2011). A necessidade de isolamentos térmicos com maior desempenho e menor espessura, tornou-se assim um problema que a comunidade científica tentou solucionar de há alguns anos a esta parte. Devido a esta situação, a comunidade científica tem mostrado um grande esforço na tentativa de produzir novos isolamentos, que combinem não só uma baixa condutibilidade térmica (U), como também a menor espessura possível. Num primeiro momento, a solução

passou pelo desenvolvimento de painéis contendo gases raros que permitiam reduções relevantes do isolamento térmico, contudo cedo se tornou evidente que o desempenho dos mesmos era ultrapassado pelos painéis com vácuo, que apresentam uma capacidade de isolamento térmico que é quase 10 vezes superior à dos isolamentos térmicos correntes (Pacheco-Torgal, 2012). Alguns exemplos são apresentados na figura 16B (materiais 4 a 9).

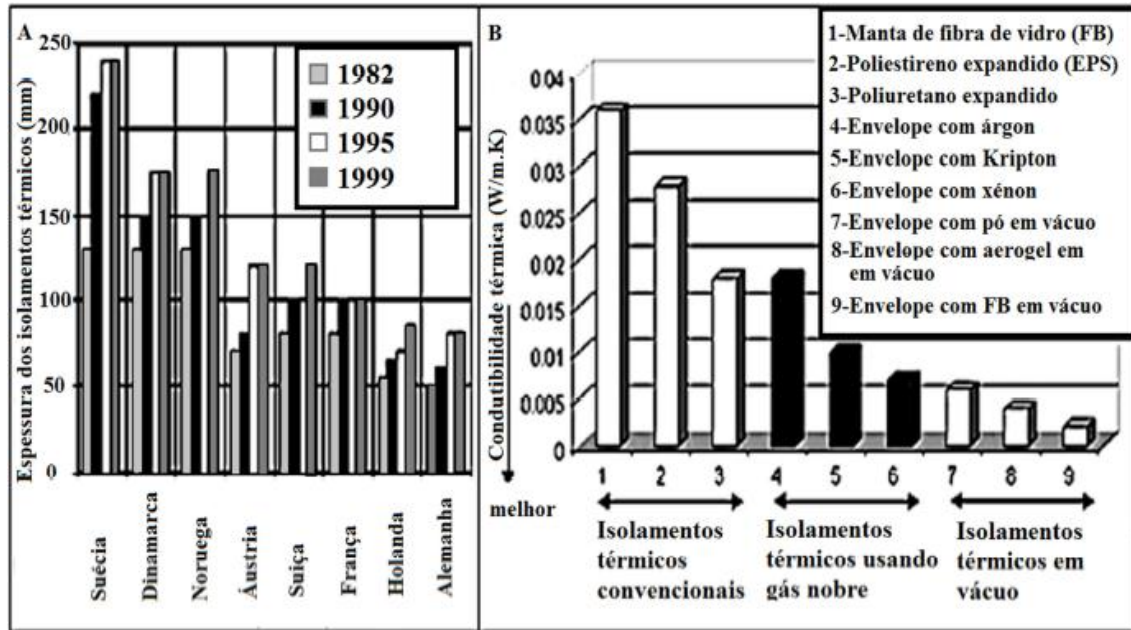


Figura 16: A) Evolução da espessura de isolantes térmicos em paredes de países Europeus (Papadopoulos, 2005). B) Comparação da eficiência na condutibilidade térmica entre isolantes convencionais, preenchidos por gases nobres e envelopes com material poroso no interior sob ação do vácuo (Baetens *et al.*, 2010).

Os painéis de isolamento com vácuo são constituídos por um núcleo, que é colocado a vácuo no seu interior, sendo portanto a sua estrutura interna em nano-poros, o que os classifica no domínio dos nano-materiais. Embora as aplicações iniciais utilizassem núcleos de poliestireno, ultimamente têm vindo a ser utilizados núcleos de sílica de fumo, sujeitos a uma grande compressão de  $200\text{kg/m}^3$  o que faz com que o ar nos poros esteja a uma pressão inferior à pressão atmosférica (Simmler & Brunner, 2005).

Segundo Baetens *et al.* (2010) a elevada performance térmica da condição de vácuo, deve-se ao facto de neste estado existir uma fraca transferência de energia térmica por condução dos gases, ou seja, as transferências térmicas ocorrem em maioria por convecção e radiação. Os painéis de vácuo (VIP) são normalmente preenchidos com materiais altamente porosos que podem ser a sílica de fumo, o poliestireno ou outros e são envolvidos por uma película protetora (envelope), que não só protege o material poroso, como também por ser impermeável possibilita a condição de baixa pressão no interior dos VIP.

O vácuo é normalmente induzido através da aplicação de uma carga nos VIP, que resulta na diminuição da pressão no interior dos poros, reduzindo assim o seu diâmetro. A condução térmica gasosa reduz-se parcialmente a zero quando os diâmetros dos poros passam a ser inferiores ao percurso médio livre das partículas de gás (efeito de Knudsen), fazendo com que estas batam de forma elástica na superfície dos poros sem transmitir energia e não em outras moléculas gasosas (Jelle *et al.*, 2010). Sendo assim para os VIP atingirem uma condução térmica específica, o diâmetro inicial dos poros do material interno, vai ditar a pressão ótima a aplicar e automaticamente a resistência do material a usar como envelope.

Jelle *et al.* (2010) conhecendo o efeito de Knudsen na condução térmica dos gases em vácuo, afirmam que diminuindo o diâmetro dos poros do material interno dos VIP abaixo de 40nm, resulta numa diminuição da condução térmica dos gases para valores inferiores a 4mW/(mK), sem ser necessário utilizar pressões tão baixas quanto se usaria para materiais com poros maiores (figura 17B). Os painéis com vácuo apresentam algumas desvantagens como a sua fragilidade e o facto de isso poder implicar que durante a fase de montagem possam ser facilmente danificados e também o facto de poderem apresentar pontes térmicas (Pacheco-Torgal, 2012).

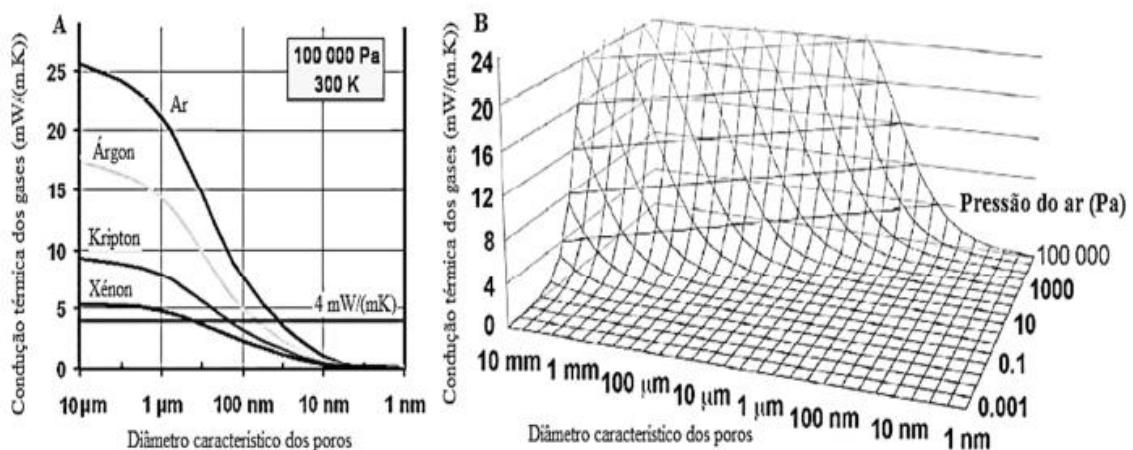


Figura 17: (A) Definição da condução térmica em função do diâmetro característico dos poros e do tipo de gás a uma pressão de 1 atm e temperatura de 300k. B) Definição da condução térmica em função do diâmetro dos poros e da pressão do ar (Jelle et al., 2011).

Por esta razão na opinião de Baetens *et al.* (2010) o ideal seria produzir um material estrutural com nano-poros muito pequenos (1-10nm), mais resistente, com fraca condução térmica e que possuísse poros fechados sob a ação do vácuo ou com gases nobres (figura 17A), para que o envelope não fosse mais preciso e o material pudesse ser cortado ou furado sem grandes perdas de eficácia térmica. Embora este tipo de material seja na atualidade impossível de produzir, algumas aproximações já foram atingidas. Exemplo disso foi o processamento do produto MCM-41 pela Mobil em 1992 (Beck *et al.*, 1992), que era constituído à base de sílica e possuía poros abertos de tamanhos compreendidos

entre 1.5 a 10nm. Outro exemplo é a produção de sílica com uma percentagem parcial não mencionada de poros fechados e diâmetros de poro abaixo dos 7nm, por Pei *et al.* (2004).

O aerogel representa um exemplo de um outro nano-material com elevado desempenho em termos de isolamento térmico. Também conhecido por “fumo sólido” (Figura 18) o aerogel é um material composto por gel de sílica, ao qual se extrai a quase totalidade da fase líquida até ficar uma percentagem quase residual de aproximadamente 1%, os restantes 99% são constituídos apenas por ar.

É um nano-material muito estudado nos dias de hoje é o aerogel devido às suas excelentes propriedades óticas, acústicas, físicas e térmicas. O aerogel mais comum é a sílica aerogel, uma estrutura reticulada de cadeias de SiO<sub>2</sub> com aproximadamente 95% de nano-poros abertos (com diâmetros entre 5 a 100 nm) cheios de ar (Baetens *et al.*, 2011). Estes materiais possuem ainda a vantagem adicional de serem extremamente leves (1 a 150 kg/m<sup>3</sup>), praticamente transparentes, não reativos e incombustíveis, ao contrário dos isolamentos térmicos tradicionais (EPS, XPS e poliuretano) que emitem fumos tóxicos em caso de incêndio (Pacheco-Torgal e Jalali, 2012a).

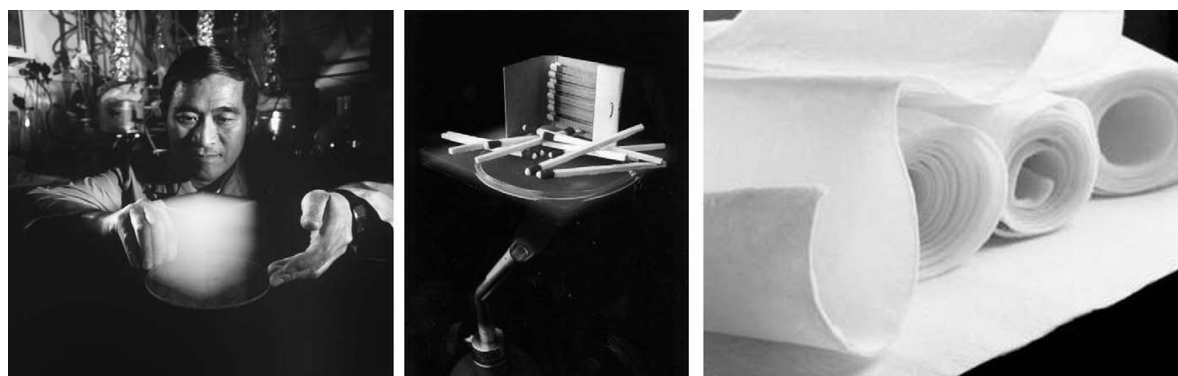


Figura 18: À esquerda: amostra de aerogel desenvolvida para aplicações aeroespaciais; Ao centro: exemplo da incombustibilidade do aerogel; À direita: manta flexível para isolamento térmico em aerogel (Jelle, 2011)

Segundo Alam *et al.* (2012) as propriedades do aerogel dependem do método de processamento, que por norma acontece em dois diferentes passos: Produção do gel húmido (sol-gel) e secagem supercrítica ou ambiente do gel até se formar o aerogel. Jelle (2011) referem que o aerogel por si só tem uma excelente condução térmica que varia entre 13 a 14 mW/(mK) à pressão atmosférica ( $\approx 1\text{atm}$ ), mas devido à sua fraca resistência à tração e à água, não pode ser utilizado isoladamente como um painel, apenas pode ser inserido em envelopes, janelas, telhas sandwich, etc. Quando o aerogel é submetido a uma pressão abaixo de 50mbar, facilmente se atinge valores de U abaixo de 4 mW/(mK) (Jelle, 2011), mas os custos elevados do aerogel, a sua elevada fragilidade e as pontes térmicas causadas pelo envelope, fazem com que este material não seja de todo aconselhado em VIP's.

Um dos maiores problemas do aerogel é o facto de este ser extremamente quebradiço mesmo com pouca carga aplicada, mas recentemente um novo produto chamado *Spaceloft*® foi desenvolvido pela Aspen Aerogels, Inc. e funciona como uma manta flexível de apenas 9mm, produzindo a mesma condução térmica que isolamentos comuns mais espessos (13.1 mW/mK). Este produto é flexível porque são introduzidas fibras de poliéster no aerogel enquanto este ainda está na fase líquida, ou seja, antes da secagem supercrítica <http://www.aerogel.com/markets/building.html>. O *Spaceloft*® pode ser utilizado eficientemente em paredes, tetos, pisos e no reforço das pontes térmicas.





## **CAPÍTULO 5 – TOXICIDADE DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**

### **5.1 Introdução**

Enquanto as construções até ao início do século XX eram feitas de materiais naturais, as construções na atualidade podem conter numerosas combinações de químicos e metais pesados e compostos orgânicos voláteis (COVs). Estes compostos podem provocar inúmeros problemas de saúde, nomeadamente os seguintes: (Pacheco-Torgal e Jalali, 2010a).

- irritações da pele, olhos e vias respiratórias;
- distúrbios cardíacos, digestivos, renais ou hepáticos;
- dores de cabeça e mal-estar generalizado;
- distúrbios do sistema nervoso, como perturbações da memória, de atenção, concentração e da fala, stress e ansiedade;
- perturbações do sistema hormonal (problemas fetais e de reprodução);
- desenvolvimento de cancro das fossas nasais, dos seios frontais e pulmões.

Durante a fase de produção de materiais com base química existe emissão de vários tipos de poluentes, assim como produção de resíduos muito perigosos, os quais irão afetar o ambiente da Terra negativamente, pelo que deveria ser obrigatório, que os referidos impactos fossem indexados aos materiais em questão (Pacheco-Torgal e Jalali, 2010a).

Muitos estudos demonstraram que os materiais de construção podem ser fontes significativas de emissões de compostos orgânicos voláteis (COVs), que podem afetar e determinar os níveis de concentração nos ambientes interiores (Knudsen et al., 1999). O formaldeído e benzeno, por exemplo, são alguns dos poluentes mais estudados, uma vez que se encontram no Grupo 1 de cancerígenos humanos, classificados pela Agência Internacional para pesquisa sobre o cancro (IARC,2004).

Para muitos destes produtos químicos, o risco para a saúde humana e conforto é quase desconhecido e difícil de ser previsto por causa da falta de dados toxicológicos. Os COVs têm origem quer em fontes interiores como exteriores; são a ter em particular atenção devido ao seu potencial risco para a saúde humana (Marchland et al, 2006).

A utilização de materiais com resíduos com algum tipo de contaminação radiológica é reconhecida por

vários autores como algo que deve merecer preocupação em termos de periculosidade para a saúde pública, já que a exposição mesmo a baixas doses de radiação por longos períodos pode resultar no desenvolvimento de cancro (International Commission on Radiological Protection, 1990). Regra geral, a maioria dos materiais de construção não apresenta níveis de radiação preocupantes (Papaefthymiou e Gouseti, 2008), o que já não se sucede com alguns subprodutos utilizados principalmente no fabrico de betão, como o fosfogesso, as escórias de alto-forno e algumas cinzas volantes (Pacheco-Torgal e Jalali, 2010a). Alguns tipos de fosfogesso contêm metais pesados e elementos radioativos, como rádio ( $^{226}\text{Ra}$ ), chumbo ( $^{210}\text{Pb}$ ) e urânio ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ), provenientes das rochas fosfatadas (Rihaneck, 1971).

Outro aspeto que deve ser acautelado tem que ver com o gás radão, que se encontra associado ao elemento rádio, presente em alguns tipos de fosfogesso e que tenderá a ser particularmente nefasto para materiais de construção à base de fosfogesso colocados em ambientes de baixa ventilação (Kovler, 2009). Trata-se de um gás de origem natural, radioativo, cujos átomos se desintegram originando outros elementos também radioativos. Este gás é inodoro, incolor e insípido e logo não detetável pelos nossos sentidos. O radão é proveniente de solos e de rochas, registando-se as concentrações mais elevadas em zonas de rochas graníticas, também os materiais de construção e os revestimentos decorativos contribuem para o aumento da concentração daquele gás no interior das habitações (Pacheco-Torgal, 2012c)

O passado revela que este e outros assuntos relacionados com a saúde pública só chegam ao conhecimento dos profissionais da construção quando finalmente traduzidos em limites regulamentares. Contudo faz todo o sentido que por uma questão de prudência estes profissionais tenham conhecimento desta problemática em tempo útil por forma a poderem dar algum contributo para a sua resolução, quer mesmo para na sua prática profissional poderem agir com um melhor conhecimento de causa. Estes factos evidenciam assim a necessidade de uma maior divulgação deste tema para a qual a presente dissertação pretende contribuir (Pacheco-Torgal, 2012b)

## **5.1 Poluentes atmosféricos**

A qualidade do ar interior (QAI) em ambientes residenciais e de trabalho não industrial tem vindo a ser objeto de atenção crescente por parte da comunidade científica e do público em geral. A maior parte das pessoas passa cerca de 90% do seu tempo em espaços interiores (distribuído entre o local de trabalho, a casa onde habitam, meios de transporte e atividades culturais e de lazer), o que torna o problema da qualidade do ar interior numa questão pertinente em termos de saúde, de conforto e, em último caso, de produtividade. O número de queixas de mal-estar sem causas identificáveis (síndrome dos edifícios doentes), e de alergias e outras doenças relacionáveis com os edifícios, tem aumentado, levando à necessidade de que sejam desenvolvidos estudos mais aprofundados sobre o ambiente interior e o seu impacto no homem (Gonçalves, 2009).

A QAI tem um impacto crescente sobre a qualidade de vida das pessoas, pois está na origem do aparecimento ou intensificação de muitas doenças "novas", especialmente alergias do foro respiratório. Tais problemas assumem hoje esta dimensão, em parte devido à evolução que tem ocorrido nos edifícios, quer ao nível dos materiais e tecnologias de construção, quer do controlo ambiental, incluindo da ventilação, mas também em consequência da permanência prolongada em ambientes interiores.

Existe a ideia generalizada de que o problema da QAI se resolve com mais ventilação. De facto pode ajudar, mas isso não pode ser adotado como uma solução universal por duas razões: uma maior ventilação pode causar desconforto e por outro lado, os consumos de energia são maiores. Depois da crise energética em 1973, foram feitos esforços para projetar construções mais eficientes em termos energéticos (Gonçalves, 2009).

As fontes emissoras de poluentes que podem afetar a QAI de um edifício são múltiplas e diversas. Verifica-se uma utilização crescente nas atuais construções de novos materiais fortemente emissores de substâncias químicas, como aglomerados de madeira, aglomerados de cortiça, tintas, colas, vernizes e materiais de isolamento, etc. As principais fontes emissoras de COV's são os materiais de construção bem como os sistemas de ventilação (Bluyssen et al., 1996).

Mas também podem ter origem em produtos de limpeza (Colombo et al., 1990), mobiliário (Salthammer, 1997), fotocopiadoras, impressoras (Souto, 1999), processos de combustão (tabaco, gás e carvão) e também no ar proveniente do ambiente exterior. Por outro lado, a maior estanquicidade dos edifícios assim como o aumento do tempo de permanência das pessoas no seu interior, levou a que houvesse um aumento de concentração de poluentes no ar interior e uma maior exposição das pessoas a estes poluentes (Souto, 1999). Um importante contributo para salvaguardar a QAI é diminuir o grau de toxicidade dos materiais que estão em contacto com o ar interior.

As concentrações de poluentes no ambiente interior dependem de vários fatores (Hansson, 2003):

- O volume de ar do espaço ocupado;
- A taxa de emissão do poluente;
- A taxa de eliminação do poluente através de filtros ou adsorção de materiais;
- A taxa de emissão secundária do poluente (taxa de desadsorção de materiais contaminados);
- A taxa de renovação do ar (ventilação).

Das estratégias para melhorar a QAI, o controlo da fonte é a abordagem mais eficaz. Devido às grandes áreas em que são aplicados e ao facto de estarem permanentemente expostos ao ambiente interior, os materiais de construção exercem um papel importante na QAI. O controlo da fonte requer

um conhecimento adequado sobre a emissão de COV's pelos materiais para que os produtos com menores taxas de emissão sejam escolhidos e instalados. É também necessário conhecer as propriedades dos materiais de construção (coeficientes de difusão e partição), pois estes dados são necessários como parâmetros para modelos de simulação e previsão das emissões de COV's (Guindeira, 2003; Silva, 2000).

O termo COV é definido pela agência de proteção ambiental norte-americana (USEPA) como qualquer composto que participa de reações fotoquímicas ou que possui reatividade fotoquímica, excluindo-se os seguintes compostos: CO, CO<sub>2</sub>, ácido carbônico, carbonetos e carbonatos metálicos, carbonato de amônia, metano, etano, acetona, metil-acetato... [e inúmeros hidrocarbonetos halogenados e perfluorcarbonos] (Tucker, 2004). Em ambientes internos, os COV têm uma definição menos rigorosa, pois os pesquisadores em qualidade do ar interno (QAI) geralmente consideram como COV aqueles compostos orgânicos que se encontram no estado gasoso ou em vapor que podem ser medidos pelos métodos analíticos aplicados a esta classe (Tucker, 2004).

Estudos confirmaram que os COV são encontrados em maior número nos ambientes internos do que no ar externo (Wang et al., 2007). Por este motivo, esta é a classe de compostos mais frequente e mais estudada nos ambientes internos (Tucker, 2004). Embora exista uma grande variedade de compostos em um dado ambiente, os mais frequentemente encontrados são: formaldeído, benzeno, tolueno, etilbenzeno, xileno e acetaldeído. Entretanto, estes raramente estão em concentração superior aos seus limites individuais de toxicidade (WHO, 1989; Wolkoff e Nielsen, 2001; Tucker, 2004). Segundo Wang et al. (2007), a concentração média de cada COV varia de local para local e, geralmente, está entre 5 e 50 g/m<sup>3</sup> em edificações com alguns meses ou anos de uso (não recém-construídas)

### **5.1.1 Efeitos dos COV's à saúde humana**

Embora as concentrações de cada COV encontrado nos ambientes internos normalmente sejam consideravelmente inferiores a seus limites de tolerância (LT), Molhave (2004) afirma que a maioria dos COV causa algum tipo de reação mesmo em baixa concentração. Em ambientes internos, este autor define que os usuários estão sob ação de baixa exposição de contaminantes e que seus efeitos são geralmente reversíveis e os sintomas não são específicos.

Constata-se que a exposição aos produtos da reação entre COV é mais perigosa do que a exposição isolada a estes. Assim, diversos autores ressaltam que os COV estão diretamente relacionados aos sintomas da SED - síndrome de edifícios doentes (Wolkoff et al., 1997; Jones, 1999; Wolkoff e Nielsen 2001; Molhave, 2004; Wang et al., 2007). Muitos COV são tóxicos e considerados carcinogênicos, mutagênicos e teratogênicos (Wang et al., 2007).

Os COVs incluem essencialmente solventes como o xileno, benzeno e tolueno. São utilizados na indústria porque são relativamente baratos, e eficientes para dissolverem óleos e ceras. Apresentam uma pressão de vapor elevada, devido às suas fracas forças intermoleculares e evaporam rapidamente à temperatura ambiente. Por existirem no ambiente interior em concentrações mais elevadas que no ambiente exterior (Shah e Singh, 1988) têm sido objeto de estudo por parte de investigadores do ambiente interior.

Os COVs pertencem a um dos quatro grupos de poluentes orgânicos no ar interior. A Organização Mundial de Saúde (OMS) estabeleceu a seguinte classificação para os compostos orgânicos com base no ponto de ebulição à pressão atmosférica, Tabela 14.

Tabela 14: Classificação dos compostos orgânicos de acordo com a Organização Mundial de Saúde

Grupo	Ponto de ebulição (°C)	Adsorvente
Compostos orgânicos muito voláteis (COMV)	<0 a 50 - 100	Carvão ativado
Compostos orgânicos voláteis (COV)	50-100 a 240-260	Tenax ou carvão ativado
Compostos orgânicos semi-voláteis (COSV)	240-260 a 380-400	Espuma poliuretano
Compostos orgânicos de matéria particulada (MOP)	>400	filtros

A exposição aos COVs pode provocar cansaço, dores de cabeça, tonturas, fraqueza, sonolência, irritação dos olhos e pele, sintomas característicos do síndrome do edifício doente. As concentrações destes compostos no ambiente interior são significativamente mais elevadas (2 a 5 vezes) que no ambiente exterior. Também porque os COVs estão presentes em grande número no ambiente interior é importante ressaltar que um composto pode interagir com o outro, processo conhecido como sinergia, e fazer com que os efeitos na saúde sejam agravados, isto é, os gases juntos apresentam um efeito pior que a soma dos efeitos dos gases isolados. Alguns dos compostos mais importantes encontrados no ambiente interior bem como as suas fontes encontram-se na Tabela 15.

Tabela 15: Alguns compostos orgânicos voláteis e suas fontes.

Compostos	Fontes mais importantes
Acetona	Pinturas, materiais usados para polimento
Hidrocarbonetos Alifáticos (octano, decanos, hexano, etc)	Pinturas, adesivos, gasolina, máquinas de fotocópia, tapetes, processos de combustão
Hidrocarbonetos aromáticos (tolueno e benzeno)	Processos de combustão, pinturas, adesivos, gasolina, papel de parede

### 5.1.2 Impactos dos COV

Segundo Le Cloirec (1998), a poluição devido às emissões de COV pode causar efeitos diretos e indiretos à saúde, meio ambiente e clima.

## **Efeitos diretos**

São nomeados como diretos os efeitos que são sentidos pelos homens e/ou ecossistemas devido à exposição direta a um agente tóxico. O risco toxicológico principal dos COV é a inalação, pois os vapores penetram nas vias respiratórias até os alvéolos pulmonares, onde são dissolvidos no sangue. Além de possuírem estas propriedades nocivas, alguns deles possuem cadeia aromática fechada que dificulta a sua degradação (Schirmer, 2004).

## **Efeitos indiretos**

Os COV participam de reações complexas dentro da atmosfera que conduzem a formação de ozono na troposfera, nocivos aos animais e vegetais. Além disto, podem ocorrer transferências destes entre os meios naturais (água, solo e ar), devido a fenômenos como aeração, diferença de concentração, adsorção, absorção. Portanto, a problemática não reside somente na atmosfera, assim, tanto a qualidade das águas como a dos solos são afetadas (Le Cloirec, 1998).

Compostos orgânicos voláteis (COVs): são poluentes atmosféricos libertados por materiais de construção contendo solventes orgânicos como tintas, vernizes, colas e selantes. A redução da ventilação no interior das habitações para se minimizarem gastos energéticos contribui para aumentar o volume desses poluentes e para agravar os seus efeitos sobre a saúde (Hansen e Burroughs, 1999; Samfield, 1992; Sterling, 1985). Além disso, os COVs contribuem para a formação de ozono troposférico, um gás que provoca efeito de estufa.

Durante a fase de produção de alguns materiais de construção, há emissão de vários tipos de poluentes, assim como também há lugar à produção de resíduos muito perigosos, os quais irão afetar negativamente e de alguma forma o ambiente do planeta onde vivemos, sendo obrigatório que os referidos impactos sejam assadados aos materiais em questão. Desses poluentes merecem destaque os descritos a seguir (Pacheco-Torgal e Jalali, 2010)

Organoclorados (dioxinas e furanos): as dioxinas e os furanos são resíduos químicos provenientes de processos industriais que envolvem cloro, como os processos relacionados com a produção de PVC. São compostos extremamente tóxicos para a saúde (IARC, 1997; Koopman-Esseboom et al., 1996; Lanting et al., 1998), com a agravante de serem bioacumuláveis no organismo. Essa periculosidade estende-se por óbvias razões à biodiversidade por via da contaminação de toda a cadeia alimentar (Oppenhuizen e Sijm, 1990; Tillitt et al., 1993)

## 5.3 Materiais

### 5.2.2 Tintas e vernizes

Os solventes orgânicos como os utilizados em tintas, vernizes e outros libertam COV's que são poluentes atmosféricos. Além disto contribuem para que se forme o ozono troposférico, um gás que provoca o efeito de estufa. A diminuição da ventilação no interior das habitações com o intuito de se minimizar os gastos energéticos, contribui para o aumento do volume destes poluentes e para agravar os seus efeitos sobre a saúde (Pacheco-Torgal et al., 2010a).

Para além da libertação de compostos orgânicos voláteis (COVs), provocada pelas tintas e vernizes, que é nefasta para a saúde (Kostiainen, 1995) e para o meio ambiente, esses materiais contêm ainda metais pesados com elevado poder cancerígeno (Tabela 16) (Pacheco-Torgal et al., 2010a)

Tabela 16: Agentes com poder cancerígeno presentes em tintasFonte: International Agency for Research on Cancêr (1995) e United Nations Centre for Human Settlements (1997).

Agente cancerígeno	Fontes
Cromo	Primários, tintas
Cádmio	Pigmentos
Benzeno	Solventes
Cloreto de metileno	Decapantes
Estireno	Solventes orgânicos
Níquel	Pigmentos
chumbo	Primários, secantes, pigmentos

Outros autores (Kwok *et al.*, 2003) confirmam a emissão de COV's em materiais com acabamentos em verniz. Mais recentemente, Salasar (2007) analisou as emissões de COV em tintas à base de solventes orgânicos e à base de água, tendo concluído que as primeiras chegam a emitir 520 vezes mais COV's que as segundas.

Em termos legislativos o Decreto-lei nº 181/2006, de 6 de setembro, procedeu à transposição para a ordem jurídica portuguesa a Diretiva nº 204/42/CE, de 21 de abril de 2004, que limita o teor de COV's em tintas e vernizes. Contudo, somente em julho de 2007 é que o Ministério do Ambiente, por meio do Despacho nº 17.141/2007, aprovou um programa para controlo da aplicação do referido decreto-lei, o que permite que se tenha uma ideia da quantidade de materiais já aplicados no setor da construção que contêm teores de COV's muito superiores aos novos limites (Pacheco-Torgal e Jalali, 2010).



Tabela 17: Teor máximo de COV's para tintas decorativas e vernizes nos termos do Decreto-lei nº 181/2006, de 6 de setembro (PORTUGAL, 2006). Legenda BA: tintas com viscosidade ajustada por água; BS: tintas com viscosidade ajustada por solventes orgânicos

Subcategoria de produtos	Tipos	(g/l) a partir de 1º de janeiro de 2007	(g/l) a partir de 1º de janeiro de 2010
Tintas mate para paredes e tetos interiores	BA	75	30
	BS	400	30
Tintas brilhantes para paredes e tetos interiores	BA	150	100
	BS	400	100
Tintas para paredes exteriores de substrato mineral	BA	75	40
	BS	450	30
Tintas para remates e painéis interiores/exteriores de madeira ou metal	BA	150	130
	BS	400	300
Vernizes e lasures para remates interiores/exteriores incluindo lasures opacas	BA	150	130
	BS	500	400
Lasures com poder de enchimento para interiores e exteriores	BA	150	130
	BS	700	700
Primários	BA	50	30
	BS	450	350
Primários fixadores	BA	50	30
	BS	750	750
Produtos de revestimento de alto desempenho monocomponente	BA	140	140
	BS	600	500
Produtos de revestimentos reativos de alto desempenho bicomponente para utilizações finais específicas, nomeadamente em pisos	BA	140	140
	BS	550	500
Produtos de revestimento multicolor	BA	150	100
	BS	400	100
Produtos de revestimento de efeito decorativo	BA	300	200
	BS	500	200

### 5.2.3 Materiais para proteção de madeiras

Embora sendo um material de excelência para uma construção mais sustentável, a madeira padece de baixa resistência à degradação por agentes biológicos, fungos e insetos (carunchos e térmitas). Enquanto os fungos e térmitas degradam a madeira aplicada em locais húmidos, os carunchos costumam atacar madeiras com teores de humidade correntes no interior das habitações (Cruz; Nunes, 2009).

Até muito recentemente a preservação das madeiras implicava a sua impregnação com inseticidas ou fungicidas, produtos como o creosote ou outros à base de sais metálicos como cobre, cromo e arsénico (CCA). Os referidos sais metálicos são bastante tóxicos, além de ser bioacumuláveis. Quando em contacto com a água da chuva ou outra, grande parte desses sais acaba sendo lixiviada, contaminando o meio ambiente (Pacheco-Torgal e Jalali, 2010). Desde 1º de Janeiro de 2004 a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) proibiu o uso de CCA no tratamento de madeiras para fins habitacionais (Edlich et al., 2005).

O creosote contém agentes de elevado potencial cancerígeno (ATSDR, 2002; Smith, 2008), pelo que desde 2001 a Diretiva da União Europeia 2001/90/EC iniciou um processo progressivo que visa à proibição do uso de creosote no tratamento de madeiras (Pacheco-Torgal et al., 2010).

Estudos recentes (Thierfelder e Sandstrom, 2008) referem que muitas das travessas utilizadas nos caminhos de ferro apresentam elevado teor de creosote, superior mesmo aos limites definidos pela regulação europeia, pelo que passam a ser considerados resíduos perigosos, o que condiciona o seu depósito e tratamento em fim de vida (Pruszinski, 1999). Considerações similares podem e devem ser feitas no que se refere aos resíduos de construção e demolição que contenham madeiras impregnadas com materiais tóxicos.

#### **5.2.4 Colas sintéticas**

As colas sintéticas são materiais utilizados na indústria de construção para os mais diversos fins, que podem ir desde a colagem de lamelados de madeira, à colagem de materiais impermeabilizantes, até à reabilitação de estruturas de betão. Em termos de composição, podem ser à base de epóxi, melamina-urea-formaldeído, fenol ou solventes orgânicos. As colas à base de epóxi são materiais tóxicos e os trabalhadores expostos a este material apresentam elevadas taxas de desenvolvimento de eczemas e dermatites. Estes materiais são ainda responsáveis pelo desenvolvimento de alergias e até mesmo de cancro (Peltonen et al., 1986; Tsai, 2006)

Os compostos de melamina-urea-formaldeído são igualmente tóxicos, defendendo alguns autores que possuem potencial carcinogénico (Vale e Rycroft, 1988; Wilbur et al., 1999; Zhang et al., 2008). Também as colas à base de solventes orgânicos apresentam elevada perigosidade (Heuser et al., 2005).

#### **5.2.5 Materiais com amianto**

Nos termos do Decreto-lei nº 266/2007, de 24 de julho, o amianto compreende as fibras minerais com um comprimento de 5 µm e diâmetro inferior a 3 µm, do grupo da serpentina (crisólito) ou do grupo das anfíbolos (actinolite, grunerite/amosite, antofilite, aracidolite e tremolite). Estas fibras são também designadas por “asbestos”, que advêm da designação do grego para um material incombustível. Essa propriedade, aliada a uma elevada resistência à tração, facilidade para ser tecida e baixo custo, entre outras, levou a que o uso dessas fibras rapidamente se vulgarizasse ao nível da indústria da construção, quer como isolante térmico e antifogo, quer principalmente na produção de painéis de fibrocimento. A partir da década de 60 vários estudos concluíram pela relação entre o aparecimento de várias doenças profissionais e a exposição ao amianto (Pacheco-Torgal e Jalali, 2010).

As investigações, entretanto, feitas pela comunidade científica permitiram concluir que todas as fibras de amianto apresentavam potencial cancerígeno, na variante de asbestose, lesões do tecido pulmonar,

causadas por um ácido produzido pelo organismo na tentativa de dissolver as fibras (Akira, 2010), ou mesmo de cancro do pulmão, do trato gastrointestinal, dos rins e da laringe (Antonescu-Turcu e Schapira, 2010; Ladou, 2004; Silverstein et al., 2009).

Muito embora se possa pensar que o amianto deixou de constituir um problema desde que foi proibida a sua produção no espaço da União Europeia, a verdade é que só em Portugal existem 600.000 hectares de coberturas de fibrocimento contendo amianto. E se é verdade que a periculosidade dessa espécie particular de aplicação seja menor pelo fato de as fibras estarem embebidas na matriz da pasta de cimento, também é verdade que eventuais quebras dessas coberturas propiciarão a libertação das fibras de amianto. Isso já para não referir que os produtos de hidratação do cimento se degradam ao longo do tempo, pelo que a probabilidade de libertação de fibras aumentará com o tempo. Não há assim qualquer garantia de que os ocupantes de edifícios com coberturas de fibrocimento não estejam expostos a um valor superior ao limite de exposição (VLE), conforme definido no art. 4º do Decreto-lei nº 266/2007, de 24 de julho, nem tampouco se exposições ainda que para valores inferiores ao VLE não poderão resultar em graves problemas de saúde no longo prazo (Pacheco-Torgal e Jalali, 2010).

### **5.2.6 Canalizações em chumbo**

Sendo um material bastante maleável e com risco de corrosão praticamente nulo, o chumbo foi utilizado no fabrico em canalizações para abastecimento de água pelo menos desde o Império Romano (Dutrillac et al., 1982; Hodge, 1981; Nriagu, 1983).

Vários autores referem que o uso de canalizações para abastecimento de água feitas de chumbo origina graves problema de saúde, o que se fica a dever à formação de uma película de produtos de corrosão na superfície interna dos tubos, a qual acaba por ser lixiviada e contaminar a própria água (Zietz *et al.*, 2009).

Essa contaminação é especialmente grave em crianças e jovens, nos quais pode provocar diminuição de capacidades intelectuais e problemas de comportamento (Canfield *et al.*, 2003; Pocock et al., 1994; Wilhelm e Dieter, 2003). Troesken (2006) refere vários casos de intoxicação e envenenamento por via do abastecimento de água com canalizações de chumbo durante os séculos XIX e XX, referindo que a magnitude do problema é da mesma ordem de grandeza do desastre de Chernobyl e de Bopal. Este autor refere que só nos Estados Unidos dezenas de milhares de crianças faleceram devido a esse problema e que outras tantas sofreram problemas no seu desenvolvimento cognitivo.

Tem-se presente que um teor de chumbo no sangue acima de 10 µg/dl se considera como valor de envenenamento (Labat *et al.*, 2006; Tarabiti et al., 2009), estando associado à mortalidade cardiovascular e ao aparecimento de cancro. Mais recentemente, Khalil *et al.* (2009) referem um risco acrescido de morte em pessoas idosas para concentrações de chumbo no sangue acima de 8 µg/dl.

Outros (Menke *et al.*, 2006) observaram risco de enfarte de miocárdio e acidente vascular cardíaco (AVC) para níveis acima de 2 µg/dl.

Embora as suspeitas sobre a possibilidade de esse material poder provocar danos irreversíveis para a saúde pública não sejam recentes, pois que já durante a década de 20 nos Estados Unidos várias entidades tenham proibido ou restringido o uso dele, essas medidas e as evidências médicas que as suportavam não foram suficientes para superar a forte oposição da indústria de produção de chumbo (Rabin, 2008).

Por volta da década de 70 a própria OMS (Organização Mundial de Saúde) ainda admitia 300 µg/l de chumbo como o teor máximo presente na água para consumo humano. Mas de lá para cá esse valor caiu de forma abrupta (Tabela 18), como se os malefícios daquele metal de repente se tornassem evidentes aos olhos das entidades reguladoras.

Tabela 18: Evolução dos limites para o teor máximo de chumbo na água ao longo das últimas décadas

Instrumento regulador	Ano	Limite máximo para teor de chumbo na água (µg/l)
OMS	1970	300
Diretiva 80/778/CEE	1980	50
Diretiva 98/83/CE Decreto-lei nº 243/2001, de 5 de setembro	De 25 dez. 2003 a 25 dez. 2013	25
	Depois de 25 de dez. 2013	10

Em Portugal a última estimativa feita, em 1995, no âmbito de um inquérito enquadrado na Diretiva 98/83/CE apontava para 1.177.300 de metros de tubagem em chumbo, sendo que para a Europa esse valor rondava 16 milhões de metros de ramais e 30 milhões de metros de redes. O custo da substituição das mesmas implicava em 1999 um valor de 34.000 milhões de euros somente para a Europa com 12 países-membros (Papadopoulos, 1999). Estimativas mais recentes apontam já para um valor de 200.000 milhões de euros (Hayes, 2009).

Os edifícios de habitação possuem elevadas quantidades de materiais com algum nível de toxicidade, seja durante a fase de produção, seja por libertação de substâncias tóxicas para o ar das habitações, seja pela libertação de fumos tóxicos em caso de incêndio, ou simplesmente pela contaminação da água de abastecimento público. Parte do problema está relacionada com a falta de formação de arquitetos e engenheiros nessa área, o que faz com que seja necessário ao nível académico agir no sentido de corrigir tal lacuna (Pacheco-Torgal & Jalali, 2010).

## 5.2.7 Materiais radioativos

A utilização de materiais com resíduos com algum tipo de contaminação radiológica é reconhecida por vários autores como algo que deve merecer preocupação em termos de periculosidade para a saúde pública, já que a exposição mesmo a baixas doses de radiação por longos períodos pode resultar no desenvolvimento de cancro (ICRP,1990). Regra geral, a maioria dos materiais de construção não apresenta níveis de radiação preocupantes (Papaefthymiou; Gouseti, 2008), o que já não se sucede com alguns subprodutos utilizados principalmente no fabrico de betão, como o fosfogesso, as escórias de alto-forno e algumas cinzas volantes (Pacheco-Torgal e Jalali, 2011b).

Tabela 19: Radioatividade corrente e máxima em materiais de construção e subprodutos industriais. Fonte: Kovler et al. (2002) e Kovler (2009)

Material	Concentração corrente (Bq/kg)			Concentração máxima (Bq/kg)		
	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K
<b>Materiais de construção</b>						
Betão	40	30	400	240	190	1.600
Betão leve	60	40	430	2.600	190	1.600
Tijolos cerâmicos	50	50	670	200	200	2.000
Blocos de betão	10	10	330	25	30	700
Pedra natural	60	60	640	500	310	4.000
Gesso natural	10	10	80	70	100	200
<b>Subprodutos industriais</b>						
Fosfogesso	390	20	60	1.100	160	300
Escórias	270	70	240	2.100	340	1.000
Cinzas de carvão	180	100	650	1.100	300	1.500

Alguns tipos de fosfogesso contêm metais pesados e elementos radioativos, como rádio (<sup>226</sup>Ra), chumbo (<sup>210</sup>Pb) e urânio (<sup>238</sup>U, <sup>234</sup>U), provenientes das rochas fosfatadas (Rianek, 1971). O uso de fosfogesso que exceda um nível de radioatividade de 370 Bq/kg (em que 1 Bq corresponde a 1 desintegração nuclear por segundo) encontra-se proibido desde 1992 (United States Environmental Protection Agency, 1992). Já o limite proposto pela European Atomic Energy Community (1996) é de 500 Bq/kg.

Outro aspeto que deve ser acautelado tem que ver com o gás radão, que se encontra associado ao elemento rádio, presente em alguns tipos de fosfogesso e que tenderá a ser particularmente nefasto para materiais de construção à base de fosfogesso colocados em ambientes de baixa ventilação (Kovler, 2009).

### 5.3 Radão

O radão é um gás de origem natural, radioativo, cujos átomos se desintegram originando outros elementos também radioativos. Este gás é inodoro, incolor e insípido, logo não detetável pelos nossos sentidos. O radão provém ainda de solos e rochas, sendo que as concentrações mais elevadas ocorrem usualmente em zonas de rochas graníticas. De acordo com a Diretiva 90/143/EURATOM, nas habitações já construídas, as concentrações médias anuais não devem ultrapassar os 400 Bq/m<sup>3</sup> e nas construções futuras os níveis de radão não deverão exceder 200 Bq/m<sup>3</sup> (Pacheco-Torgal, 2012a).

Dinua *et al.* (2009) estudaram 90 habitações na Espanha cuja concentração máxima de radão era de 366 Bq/m<sup>3</sup>, referindo que nessa zona havia um número excessivamente elevado de falecimentos por cancro.

Chen *et al.* (2010) analisaram as emissões de radão de alguns materiais de construção, tendo observado que um pavimento em granito com elevada emissão específica (300 Bq/m<sup>2</sup>d) contribui somente com um valor total de 18 Bq/m<sup>3</sup>, isso admitindo uma taxa de 0,3 renovação de ar por hora (Tabela 20).

Tabela 20: Concentração de radão em becquerel por metro cúbico emitido por piso com revestimento em granito, de acordo com o tipo de granito e com a taxa horária de renovação de ar. Fonte: Chen *et al.* (2010)

Emissão específica do granito (Bq/m <sup>3</sup> d)	Taxa de renovações de ar por hora (RPH)				
	3	1	0,3	0,15	0
5	0,03	0,09	0,3	0,6	5
10	0,06	0,2	0,6	1,2	25
50	0,3	0,9	3,0	5,9	123
100	0,6	1,8	6,0	12	246
300	1,8	5,5	18	35	737

Tem-se presente que em Portugal há muitas habitações com uma taxa RPH de apenas 0,2 isso apesar de o valor mínimo regulamentar ser de 0,6. Para que os materiais de construção (alvenarias, bancadas de cozinha e revestimentos em granito) tenham uma quota-parte significativa em termos de emissões de radão, é assim necessário que os granitos em causa tenham uma emissão muito elevada e que a taxa de renovação de ar seja próximo de zero. Importa, contudo, ter em conta que só alguns granitos possuem elevadas emissividades específicas de radão (Pacheco-Torgal, 2012b).

Chen *et al.* (2010) referem que entre 33 variedades de granitos provenientes de vários países somente duas apresentavam emissões específicas acima de 200 Bq/m<sup>2</sup>d. Já em outros países existem graves problemas relativos à utilização de materiais de construção com algum nível de radioatividade, como, por exemplo, na Suécia, onde foram contabilizadas 300.000 habitações executadas com betão à base de agregados contendo urânio, o que apresenta risco para a saúde quanto ao desenvolvimento de leucemia em crianças e jovens (Axelson *et al.*, 2002). Em Portugal a vigilância radiológica é uma das

obrigações legais do Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN), que regularmente procede a medições da radiação gama ambiental bem como de amostras de águas, sedimentos e peixes. (Pacheco-Torgal, 2012b)

Em setembro de 2005 aquela instituição deu conta de que estudos já efetuados em 4.200 habitações permitem concluir que 60% das concentrações de radão se situam abaixo de  $50 \text{ Bq/m}^3$ , tendo somente 2,6% das habitações apresentado concentrações acima de  $400 \text{ Bq/m}^3$ . Tendo em conta que as zonas de risco com concentrações mais elevadas de radão são zonas geologicamente associadas a rochas graníticas, não é de admirar que um estudo conduzido em todo o território nacional português, como aquele levado a cabo pelo ITN, apresente valores de gravidade residual. Contudo, em 2001 a DECO já tinha publicado um estudo levado a cabo em 212 casas localizadas nos Distritos de Aveiro, Guarda e Braga (zonas com geologia fortemente granítica) que concluiu que, embora dois terços das medições tenham ficado abaixo de  $200 \text{ Bq/m}^3$ , 22% dos casos excederam o limite de  $200 \text{ Bq/m}^3$  e 17% estavam mesmo acima de  $400 \text{ Bq/m}^3$  (Figura 19). Os referidos estudos não permitem, contudo, destringir qual a parte que diz respeito aos materiais de construção e qual a parte correspondente ao radão proveniente do solo, já que, como é evidente nas zonas de elevados afloramentos graníticos, muitas casas foram erigidas aproveitando-se essa matéria-prima, quer ao nível de alvenarias e também como revestimento de pisos (Pacheco-Torgal e Jalali, 2010).

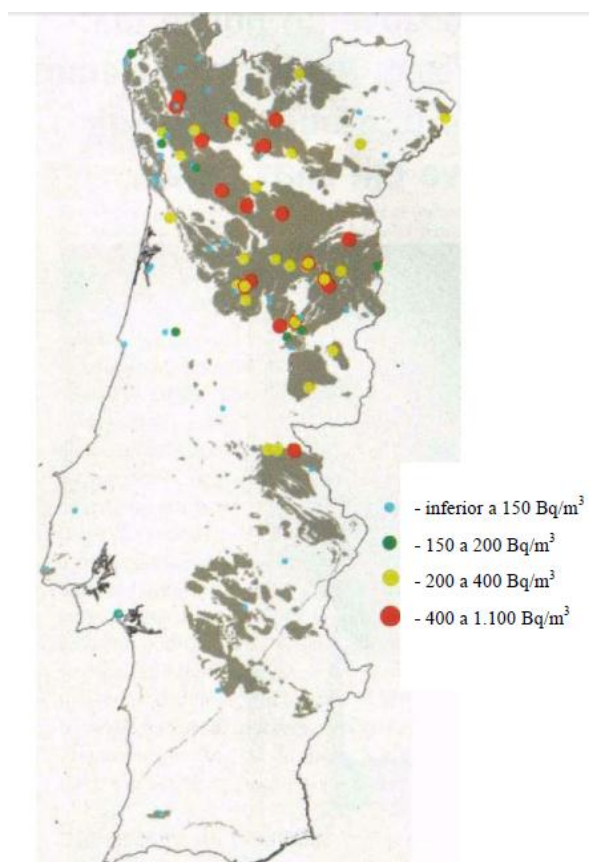


Figura 19: Radioatividade no interior de habitações devida ao radão Fonte: DECO (2001).

Uma vez produzido no solo e em parte libertado dos suportes minerais onde se formou, o radão movimentar-se pelo espaço poroso do solo, em função da sua permeabilidade e das suas características. Os mecanismos pelos quais o radão entra nas habitações são os seguintes (Martínez, 1999):

Advecção – movimentos causados pelas diferenças de pressão que existem entre o solo e o interior da habitação;

Difusão – movimentos devidos a um gradiente de concentração de radão entre o solo e no interior de habitações;

Infiltração – o ar exterior entra na habitação por portas ou janelas, trazendo consigo uma certa concentração de radão, geralmente meteorológica, com variações diurnas e sazonais.

Na figura 20 apresentam-se algumas fontes de entrada do radão nas habitações.

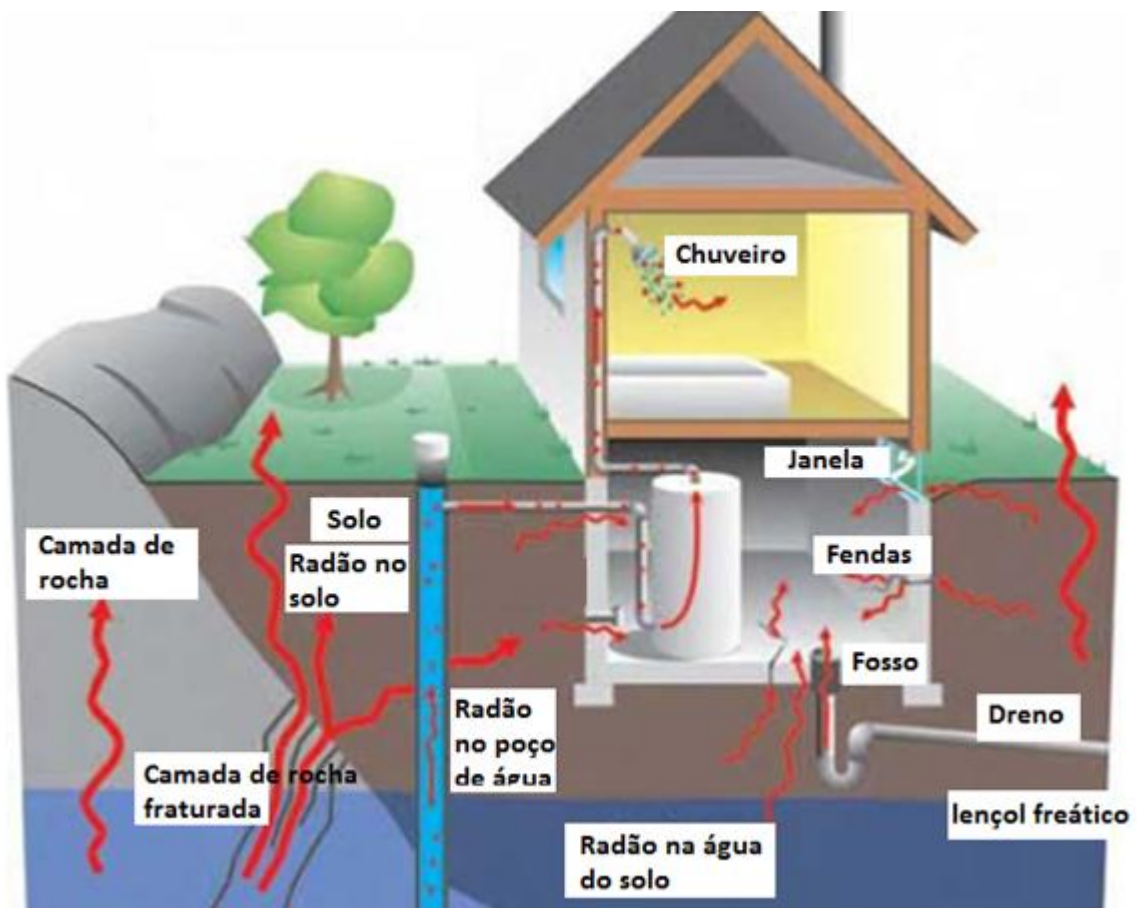


Figura 20: Fontes de radão e rotas de entrada em casas. [Fonte: [http://www.homeprocanada.ca/radon/HP\\_radon.htm](http://www.homeprocanada.ca/radon/HP_radon.htm)]

Como já foi referido acima, a exposição ao radão é uma das possíveis causas de cancro nos humanos, sendo classificado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (EPA) como um composto cancerígeno de “Grupo A”.



Quando o radão entra no processo de decaimento radioativo, são geradas novas partículas, tais como, polónio (Po-218 e Po-214), chumbo radioativo (Pb-214 e Pb-210) e bismuto (Bi-214). Os produtos de decaimento do radão são também chamados de *partículas – filhas* e, ao contrário do gás radão estas são partículas sólidas. O problema está em que as *partículas – filhas* também são substâncias radioativas. As maiorias das *partículas-filhas* encontram-se ligadas a pequenas partículas de pó (aerossóis) no ar interior. Quando estas partículas são inaladas, parte é depositada nos pulmões. No interior dos pulmões as *partículas-filhas* emitem partículas alfa que são absorvidas nos tecidos pulmonares próximos. A dose de radiação resultante aumenta o risco de cancro nos pulmões (APA, 2009).

Os níveis de radão mostram frequentemente variações significativas ao longo do dia.

Uma vez que o radão é um gás, as variações da pressão atmosférica também afetam a sua emissão do solo e, a sua acumulação no ar do edifício.

Mas são também os hábitos dos ocupantes que contribuem muito para as variações das concentrações de radão. Quando as portas e janelas estão abertas durante o dia, o radão é diluído com o ar fresco e os níveis de radão baixam. Por outro lado durante a noite, se as portas e janelas estiverem fechadas, os níveis de radão podem voltar a subir. Para além das variações diárias, os níveis de radão também apresentam variações sazonais. Os níveis de radão são significativamente superiores nos meses de Inverno, uma vez que devido ao aquecimento das divisões, o ar quente sobe criando uma pressão negativa nos andares inferiores e este efeito térmico leva à sucção do radão do solo para o edifício, e também porque as casas são menos vezes arejadas no Inverno (Bernardes, 2009).

A EPA publicou duas valiosas e muito importantes obras nas quais se dão recomendações relativamente a medidas técnicas e estratégicas: a primeira publicação datada de 1986 intitulava-se “*Protocolos provisórios para a medição do radão e produtos de decaimento*” e que foi desenvolvida para fornecer uma certa metodologia e dar uma orientação efetiva relativa às medições em residências, utilizando muitas técnicas que tinham sido usadas e avaliadas pela entidade atrás referida; a segunda publicação datada de 1987, e intitulava-se “*Protocolos provisórios para a separação e seguimento das medidas de radão e correspondentes produtos de decaimento*” (SPPCR<sup>3</sup>).

Uma pesquisa da OMS de 36 países descobriu que quase todos eles estabeleceram níveis de referência para a habitação existente entre 200 e 400 Bq/m<sup>3</sup>. Alguns países estabeleceram diferentes níveis de referência para edifícios novos e existentes, com valores mais baixos para as casas novas (Who, 2009). A OMS (Organização Mundial de Saúde) propõe um nível de referência de 100 Bq/m<sup>3</sup> para minimizar os riscos de saúde devido à exposição ao radão interior. No entanto, se este nível não pode ser

---

<sup>3</sup> SPPCR – Sociedade Portuguesa de Proteção Contra Radiações, <http://www.sppcr.online.pt/>

alcançado sob as condições vigentes e específicas do país, o nível de referência escolhido não deve exceder 300 Bq/m<sup>3</sup> (Pacheco-Torgal, 2012c).

A Tabela 21 mostra como diferentes organizações internacionais recomendam muito diferentes limites de concentração de radão no interior. No entanto, têm uma coisa em comum, os limites recentes e futuros são muito mais baixos do que os anteriores (Pacheco-Torgal, 2012c).

Tabela 21: Resumo dos limites das concentrações de radão no espaço interior (Bq/m<sup>3</sup>) (Bochicchio, 2011).

Organização	Prévio/Corrente		Recente/Futuro	
	Habitações	Locais de trabalho	Habitações	Locais de trabalho
ICRP	≤600	≤1500	≤300	
WHO	250		100	
EU	400	≤1000	≤300	≤1000

A Tabela 22 apresenta os diferentes níveis de ação e níveis-alvo atualmente utilizadas em vários países europeus, bem como o estado da situação radão nesses países. Os dados revelam que a Alemanha e a Noruega têm níveis de ação e níveis-alvo conservadores (100 Bq/m<sup>3</sup>), que estão em linha com o limite recomendável pela OMS (Pacheco-Torgal, 2012c).

Tabela 22: Estado da situação do radão em diversos países Europeus (Holmgren e Arvela, 2012).

País	Nível de ação para reparação	Nível alvo para prevenção	Estado da reparação		
			Número estimado de habitações	Excedendo o nível de ação	Já reparadas
Áustria	400	200	3.700.000	89.000 (2.4%)	25 (0%)
Belgica	400	200	5.043.000	20.000 (0.4%)	1000 (5%)
Répubblica Checa	400	200	3.900.000	76.000 (1.9%)	4000 (5.3%)
Finlândia	400	200	2.450.000	59.000 (2.4%)	4500 (7.6%)
França	400	-	32.756.000	968.500 (3%)	-
Alemanha	100	100	39.900.000	1.930.000 (4.8%)	1000 (0.1%)
Grécia	400	200	5.627.000	-	-
Irlanda	200	200	1.934.000	91.000 (4.7%)	-
Itália	200	200	22.000.000	902.000 (4.1%)	500 (0.1%)
Noruega	100	100	2.274.000	42.700 (18.8%)	-
Portugal	400	400	-	2.6%	-
Espanha	-	-	-	-	-
Suíça	400	400	4.000.000	75.000 (1.9%)	500 (0.7%)
Reino Unido	200	200	23.000.000	100.000 (0.4%)	15.000 (15%)

Nos restantes países podem ser identificadas duas situações diferentes, o caso de Itália, Irlanda e Reino Unido, que têm níveis ação e níveis-alvo (200 Bq/m<sup>3</sup>) abaixo do limiar ICRP (International Commission on Radiological Protection) e os países que ainda têm o limite de 200 Bq/m<sup>3</sup> como nível de ação ou de ambos, como acontece na Suíça e Portugal (Pacheco-Torgal, 2012c).

A análise de diferentes medidas mostram que os sistemas ativos de depressurização sub-laje são geralmente a medida mais eficaz de prevenção como uma solução única, assumindo uma construção

estanque (Jelle, 2012). Vários estudos (Synnott et al., 2004; Denman et al., 2005) já demonstraram que as membranas à prova de radão têm uma taxa de insucesso significativa (Pacheco-Torgal, 2012c).

Isto leva a novas casas em que os níveis de radão estão acima do nível de ação. Devido a essa situação, é importante garantir a estanqueidade satisfatória na barreira de radão em relação ao chão do edifício, por exemplo, evitando perfurações e garantindo estanquidade suficiente nas articulações e orifícios de passagem (Pacheco-Torgal, 2012c).

Diferentes autores apresentam vários detalhes de projeto sobre medidas de proteção para reduzir a concentração de radão no interior. Fig21 mostra os detalhes para a proteção de um pavimento de betão suspenso e, também, de um pavimento em contato com o solo contendo uma laje de betão. Arvela (2001) fornece informações sobre a utilização do feltro de betume e selantes elásticos para alcançar estanqueidade (Fig. 22a) e também a instalação de um tubo perfurado para reduzir a pressão do radão (Fig. 22b) (Pacheco-Torgal, 2012c).

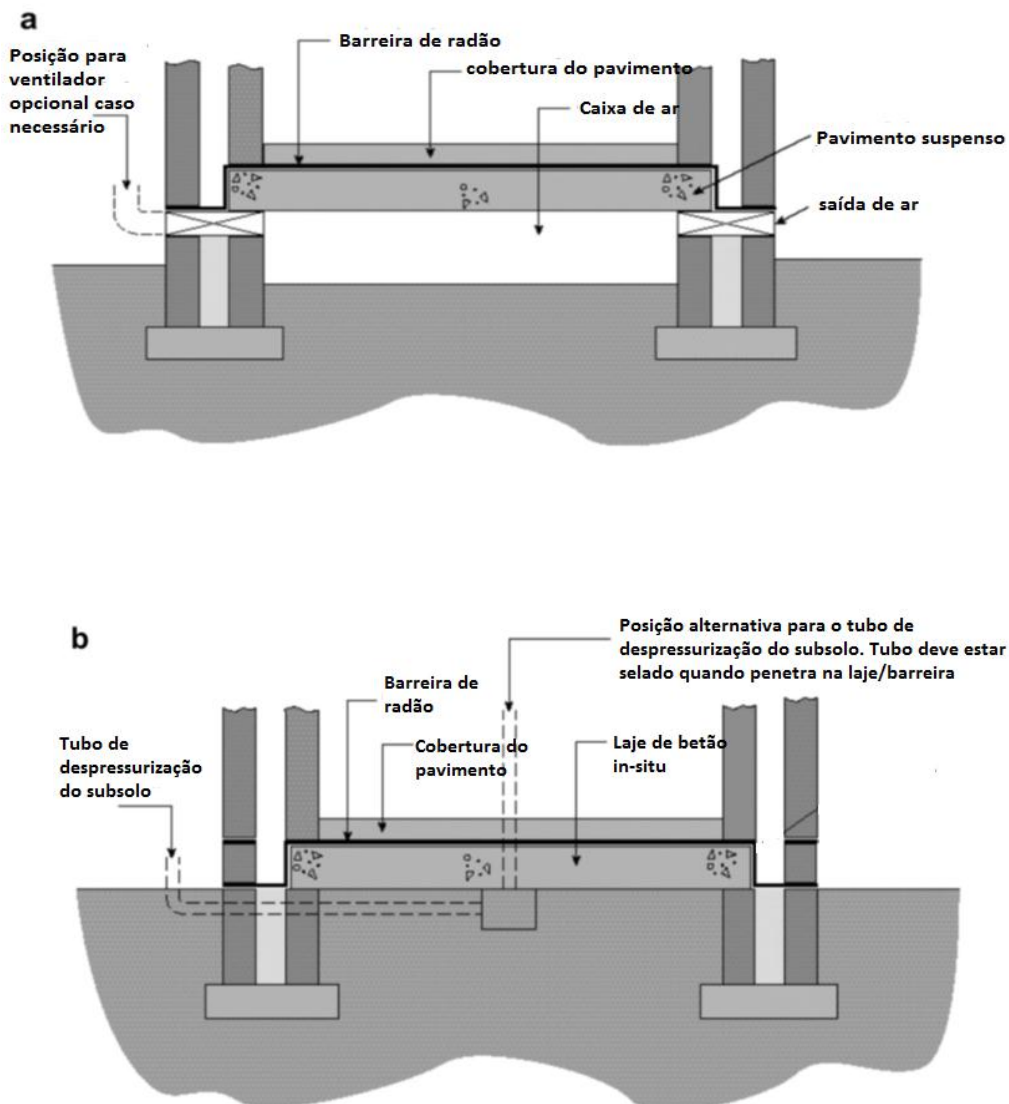


Figura 21: Proteção de radão: (a) para pavimento suspenso de betão; (b) para terreno contendo laje de pavimento em betão (Scivyer, 2001).

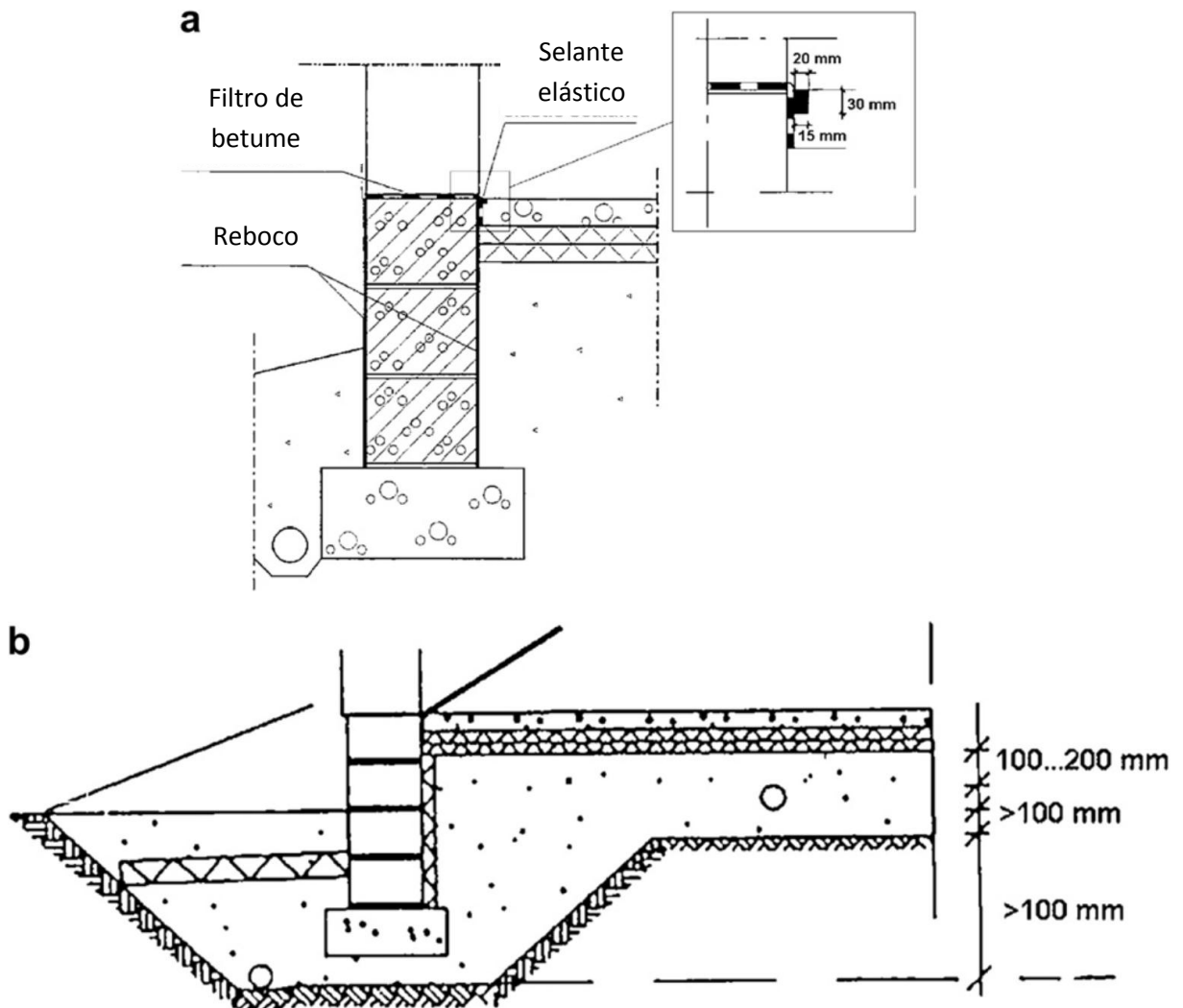


Figura 22: Medidas de proteção para o radão; (a) vedar a junta entre a parede de fundação e laje de pavimento, quando a parede de fundação é feita de material permeável; (b) instalação de um tubo de sucção na camada de gravilha (Arvela, 2001).

Esses autores compararam a eficácia de diferentes medidas de proteção, a fim de reduzir a concentração de radão interior (Tabela 23). Eles afirmaram que a tubulação de sub-laje com um ventilador operacional oferece uma medida eficaz de prevenção. Eles também mencionaram que em 80% das casas com uma tubulação de sub-laje ligada a um ventilador de funcionamento, a concentração de radão estava abaixo do nível de ação de  $200 \text{ Bq/m}^3$  (Pacheco-Torgal, 2012c).

Tabela 23: Concentração média de radão e percentagem de casas com níveis de concentração de radão interior excedendo 200 Bq/m<sup>3</sup> e 400 Bq/m<sup>3</sup>, para diferentes medidas preventivas (Scivyer, 2001).

Medidas preventivas	Número	Média (Bq/m <sup>3</sup> )	Percentagem excedente (200 Bq/m <sup>3</sup> )	Percentagem excedente (400 Bq/m <sup>3</sup> )
Vedação de fugas na subestrutura, laje incorporada	31	138	32	10
Laje incorporada, trabalho de vedação, tubulação de sub laje sem ventilador	58	155	34	10
Laje incorporada, tubulação de sub laje sem ventilador	141	220	55	26
Laje incorporada, tubulação de sub laje com ventilador a funcionar	21	55	19	10
Área entre pisos	20	70	10	5
Laje com extremidade mais espessa	4	66	0	0

No entanto em casas, com tubagem, mas sem ventilador, a fração correspondente foi de apenas 45%. Os valores médios correspondentes de concentração de radão nessas casas foram 55 e 220 Bq/m<sup>3</sup>, respetivamente. Eles também mencionaram que as tubulações de sub-laje sem ventilador não têm nenhum efeito notável sobre a concentração de radão. Outros autores (Arvela et al., 2005) relatam o desenvolvimento de uma nova construção para uma junta estanque ao ar entre a parede e a laje de base.

Na nova prática de selagem, os feltros de betume serão instalados por baixo da laje de piso em contacto direto com a placa de betão (Fig. 23). Esses autores também mencionam que um grupo de casas com esta nova medida, localizadas em áreas com concentração de radão superiores a 200 Bq/m<sup>3</sup>, mostram baixas concentrações de radão interior (20-60 Bq/m<sup>3</sup>) (Pacheco-Torgal, 2012c).



Figura 23: Feltro de betume instalado na junta da parede de fundação e laje de pavimento antes da colocação do pavimento (Arvela et al., 2005).

Groves-Kirkby et al. (2006) mencionou que a reparação pós-construção utilizando a tecnologia convencional de reservatório ventilado provou ser extremamente eficaz na redução das concentrações de radão, enquanto a utilização de membranas de proteção de radão instaladas durante a construção não proporcionam uma proteção consistente e adequada ao radão, falhando especificamente na capacidade de reduzir as concentrações internas de radão a concentrações abaixo do nível de ação de  $200 \text{ Bq/m}^3$ . A utilização de sistemas de despressurização do solo (SDS) é muito eficaz na redução das concentrações de radão sendo que o SDS passivo (Fig. 24) é muito mais rentável do que o SDS mecânico (Abdelouhab et al., 2010).

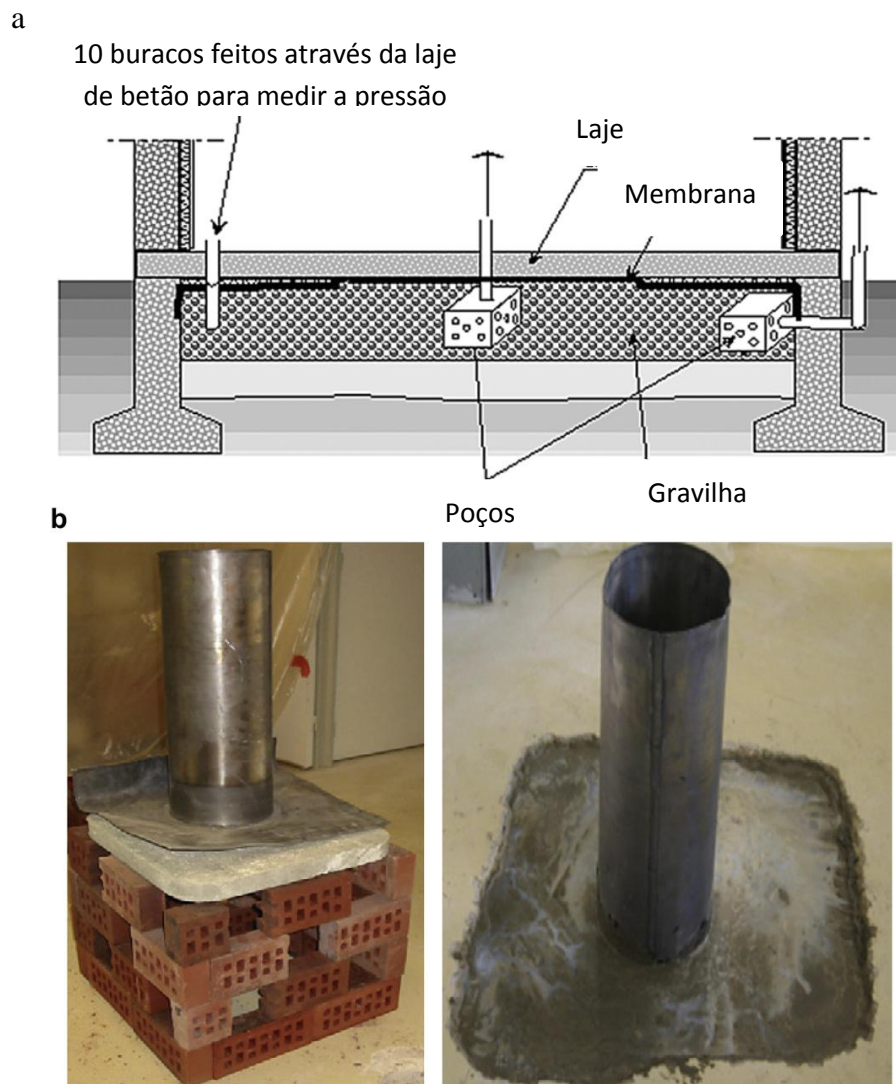


Figura 24: Sistema de Despressurização do Solo (SDS): (a) desenhos esquemáticos; (b) fotografias (Abdelouhab et al., 2010).



## CONCLUSÃO

A Humanidade vive nos dias de hoje um momento desafiador, muito devido aos problemas ambientais com que o Planeta Terra se debate. As consequências da degradação ambiental são cada vez mais evidentes, ameaçadoras e crescentes.

O aumento do efeito de estufa tem vindo a potenciar o aquecimento da temperatura global e por consequência disto o nível da água dos oceanos também tem vindo a aumentar, chuvas ácidas que envenenam as águas e os solos, o buraco na camada de ozono que põe em risco a vida no nosso planeta devido ao aumento dos raios ultravioletas.

Muitos destes problemas são resultantes da ação Humana, é portanto necessária uma consciencialização global para este problema, pois só assim poderemos atingir bons resultados no futuro.

A implementação da sustentabilidade na indústria de construção traduz-se como sendo uma tarefa bastante difícil, no entanto, é previsível que através da inovação e desenvolvimento e investimento financeiro seja possível obter uma uniformização global dos conceitos e boas práticas construtivas. Os materiais de construção e edifícios devem ser sujeitos a avaliações de sustentabilidade mais eficientes e transversais, pois muitas vezes os interesses económicos prevalecem em desprovelo dos valores sociais e ambientais.

Na elaboração da presente dissertação foi possível constatar que a construção tradicional em Portugal se encontra bastante afastada dos padrões e conceitos de eficiência que se ajustam à construção sustentável, tendo em consideração as condições de habitabilidade oferecidas.

O mercado de habitações novas está atualmente saturado, o que motiva uma aposta cada vez maior na reabilitação de edifícios. No entanto, a reabilitação não deve ser vista apenas como uma alternativa á situação atual do mercado da construção, mas como uma necessidade, devido á ineficiência do atual parque construído, uma vez que este se encontra, na sua maioria, com inúmeros problemas de eficiência energética, hídrica e de conforto ambiental.

Conclui-se que a reabilitação dos edifícios existentes constitui uma via rápida e bastante eficiente para que o nosso parque construído atinga os níveis de sustentabilidade. A reabilitação é por si só uma atividade sustentável, pois através dela é possível melhorar as condições de habitabilidade no interior dos edifícios e também reduzir os impactes ambientais originados pelas demolições e novas construções.



O sector da construção contribui em grande escala para a degradação ambiental que se tem vindo a sentir no planeta, mais especificamente ao nível do consumo de recursos naturais, do nível de consumos energéticos e ao nível das emissões de poluentes.

A existência de materiais de construção mais sustentáveis e que possuem menores níveis de consumos energéticos possibilitam que o sector dos edifícios a nível mundial possa alterar a sua contribuição, ganhando maior relevância, com a adoção de soluções construtivas mais ecológicas e eficientes.

É portanto bastante importante a definição e inclusão de critérios ambientais e sociais nas várias fases do ciclo de vida de um edifício com o objetivo de minimizar os impactos negativos da construção, ajudando assim prevenir a sua transposição para fases do ciclo de vida posteriores, pelo que no planeamento, projeto e na aquisição de bens e serviços essa consciencialização se revele prioritária.

A fase de projeto assume então uma importância significativa na conceção do edifício no seu todo, pois todos os sistemas construtivos e materiais a implementar em obra são aqui definidos e possuem a capacidade de influenciar todo o ciclo de vida do edifício. A definição dos materiais e soluções a adotar é portanto de extrema importância para que seja possível alcançar a sustentabilidade que a sociedade pretende atingir através da sua inclusão nas novas habitações.

A energia surge então nesta problemática como sendo uma das principais causas dos gases efeito de estufa na atualidade e a nível mundial. O problema ganha evidência pois atualmente uma parte muito significativa dos países tem de importar a grande maioria da energia que consomem, o que pode provocar a grandes problemas económicos. O parque habitacional é um dos principais responsáveis por este consumo de energia, sendo portanto obrigado a reduzir substancialmente esse consumo. Essa obrigação surge mais recentemente consagrada na EPBD, que exige edifícios com “energia quase zero” a partir de 2020.

Neste sentido, sabemos que os isolamentos térmicos desempenham um papel essencial no objetivo de atingir a redução dos consumos energéticos, de impactos ambientais e assumem grande importância devido às crescentes exigências de conforto térmico por parte da civilização.

Existem diferentes tipos de isolamentos aos quais se pode recorrer, e que se enquadram essencialmente em dois grupos, os naturais e os industrializados (sintéticos). Pode-se citar como naturais a cortiça, fibras de coco, as cascas de cereais (arroz, trigo, entre outros), algumas argilas que permitem ser expandidas e as fibras de madeira. Como industrializados tem-se o poliuretano, as lãs de vidro e de rocha, o poliestireno expandido (EPS), entre outros.

Relativamente aos materiais sintéticos sabemos que, apesar de terem boas características de condutibilidade térmica, muitos deles apresentam aspetos negativos em termos de toxicidade e não

apresentam grandes potenciais de reciclagem nem de reutilização, acabando por ficar depositados em aterros.

Podemos então observar uma crescente aposta no que diz respeito aos isolantes naturais, pois relativamente aos isolantes sintéticos, não desiludem, são geralmente melhores em termos de funcionalidade e durabilidade, para além das questões ligada á reutilização e reciclagem que vão de encontro às questões de sustentabilidade.

Com a rápida expansão do mercado dos isolantes orgânicos, verifica-se uma proporcional aposta, desde os agentes responsáveis pela construção (donos de obra, projetistas, etc.) até aos utilizadores finais. Uma vez que estes permitem na sua grande maioria, soluções construtivas sem barreiras de vapor, pois apresentam a capacidade de difundir a humidade que é absorvida, o que poderá levar a uma melhoria ambiental da habitação.

Surge ainda a necessidade de dar um pouco de relevo á nanotecnologia associada a este tipo de materiais, pois pode proporcionar um leque alargado de vantagens para a eco-eficiência dos materiais de construção, neste caso especifico isolamentos térmicos, podendo contribuir de maneira bastante importante para a produção de edifícios de energia quase zero.

Um exemplo de um nano-material é o aerogel, este apresenta propriedades acústicas, físicas, térmicas e óticas de muito boa qualidade. Apresenta ainda algumas vantagens além destas, como é o caso da sua extrema leveza, é quase translúcido e é incombustível, o que representa uma enorme vantagem em relação aos isolamentos térmicos ditos tradicionais que emitem fumos tóxicos em caso de incêndio.

Ao longo desta dissertação, especialmente no último capítulo, mostrou-se que o assunto da toxicidade dos materiais é uma realidade que afeta diversos edifícios. Muitos materiais na construção têm presente algum grau de toxicidade, quer ao nível da sua produção, impactos ambientais, podendo também influenciar a qualidade do ar interior das habitações, o que pode eventualmente gerar problemas de saúde para os ocupantes.

Faz portanto bastante sentido, que quando se optem por intervenções ao nível da reabilitação, estes materiais perigosos quer para o ambiente quer para a saúde sejam substituídos por materiais alternativos que não apresentem risco para os ocupantes e que minimizem os impactos ambientais. Temos como exemplo materiais como o amianto, os plásticos, as tintas e vernizes, as canalizações em chumbo, que muitas vezes se encontram presentes em inúmeras habitações, e na sua grande maioria representam um grande risco ambiental e de saúde.

Os países europeus, muito devido á realização de estudos científicos com grande credibilidade, passaram a reconhecer a perigosidade do amianto e de vários materiais que o contêm. Muitos destes

países apresentam vários processos de reciclagem e revalorização destes resíduos, o que não acontece em Portugal, em que o destino destes materiais é o depósito em aterro.

No que diz respeito aos materiais plásticos utilizados na construção, a sua grande maioria é tóxica, quer durante a fase de produção, quer na fase de colocação em obra e apresentam perigos ambientais e para a saúde humana.

As tintas e vernizes são muitas vezes responsáveis pela libertação de compostos orgânicos voláteis que são nocivos para a saúde.

As canalizações merecem também alguma atenção, uma vez que podem ser origem de grandes problemas de saúde, pois muitas vezes forma-se uma película de produtos de corrosão na superfície interior da tubagem, que acaba por ser lixiviada contaminando a própria água.

Os limites atuais verificados na legislação não fornecem uma garantia de não toxicidade suficiente, muitas vezes associados á falta de investigação nesta área, outras vezes porque são influenciados por questões económicas.

Surge então a necessidade de abordar este tema, uma vez que tem sido alvo de poucos estudos, no sentido de alertar os profissionais da área para esta questão bastante sensível, de maneira a que possam dar algum tipo de contribuição para a sua resolução ou mesmo para poderem atuar com maior conhecimento quando estiverem a por em prática as suas profissões.

Evitar o uso de materiais de construção tóxicos é portanto um dos princípios da construção sustentável.

## RERERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdelouhab M, Collignan B, Allard F. (2010) *Experimental study on passive soil depressurisation system to prevent soil gaseous pollutants into building*. Build Environ ;45:2400e6.

ACEPE (2005) Isolamento Térmico e Sistema Construtivo. Disponível em <<[http://www.estig.ipbeja.pt/~rasmi/seminarios/1\\_ciclo/acepe.pdf](http://www.estig.ipbeja.pt/~rasmi/seminarios/1_ciclo/acepe.pdf)>> (consultado em 4/08/2012). Associação Industrial de Poliestireno Expandido. Instituto Politécnico de Beja Engenharia Civil.

Afonso, Fernando (2009) *O Mercado da Reabilitação: Enquadramento, Relevância e Perspetivas*. AECOPS. Lisboa.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (2002) *Toxicological Profile for Creosote*. Atlanta: Public Health Sector, U.S. Department of Health and Human Services.

Aipex (Associação Ibérica de Poliestireno Extrudido). Soluções de isolamento térmico com poliestireno extrudido (XPS) para uma construção sustentável. Disponível em <<[http://www.aipex.es/panel/uploads/descargas/cat\\_xpsPORT.pdf](http://www.aipex.es/panel/uploads/descargas/cat_xpsPORT.pdf)>> (consultado em 4/08/2012);

Akira, M. (2010) *Asbestosis: IPF or NSIP-Like Lesions in Asbestos-Exposed Persons, and Such Independency*. Japanese Journal of Chest Diseases, Tokyo, v. 69, p. 38-44.

Alam, M.; Singh, H.; Limbachiya, M.C. (2011) Vacuum Insulation Panels (VIPs) for building construction industry – A review of the contemporary developments and future directions. Applied Energy 88, pp. 3592–3602

APA, Agencia Portuguesa do Ambiente, 2009. *Laboratório de Referencia do Ambiente*. Qualidade do ar em espaços interior – Um guia técnico.

Antonescu-turcu, A.; Schapira, R. (2010) *Parenchymal and Airway Diseases Caused by Asbestos*. Current Opinion in Pulmonary Medicine, Philadelphia, v. 16, n. 2, p. 155-161, Mar.

« Argex - Fichas Técnicas ».

Online : < [http://www.argex.pt/fichas\\_tecnicas.php](http://www.argex.pt/fichas_tecnicas.php) > (Acedido em 12 setembro 2012)

Arvela H. (2001) *Experiences in radon-safe building in Finland*. Sci Total Environ ;272:169e74.

Arvela H, Bergman J, Yrjölä R, Kurnitski J, Matilainen M, Järvinen P. (2005) Developments in radon-safe building in Finland. Radioact Environ;7.

AveiroDomus (2006) Associação para o desenvolvimento da casa do futuro: sub projeto de isolamento térmico, 1º relatório de progresso. Universidade de Aveiro

Axelsson, O.; Fredrikson, M.; Åkerblom, G.; Hardell, L. (2002) *Leukemia in childhood and adolescence and exposure to ionizing radiation in homes built from uranium-containing alum shale concrete*. Epidemiology 13 146-150.

Baetens, R.; Jelle, B.; Thue, J.; Tenpierik, M.; Grynning, S.; Uvslokk, S.; Gustavsen, A. (2010) *Vacuum insulation panels for building applications: A review and beyond*. Energy and Buildings 42, pp.147-172

Baetens, R.; Jelle B.P.; Gustavsen, A. (2011) *Review: Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review*. Energy and Buildings 43, pp. 761–769

Bazzochi, Frida et al (2002) *Facciate Ventilare Alinea Editric s.r.l.* – Firenze Italia

Beck, J.S.; Vartuli, J.C.; Roth, W.J.; Leonowicz, M.E.; Kresge, C.T.; Schmitt, K.D.; Chu, C.T.W.; Olsen, D.H.; Sheppard, E.W.; McCullen, S.B.; Higgins, J.B.; Schlenker, J.L. (1992) *A new family of mesoporous molecular sieves prepared with liquid crystal templates*, Journal of the American Chemical Society 114 (27), pp. 10834–10843

Bernardes, Â. (2009) *Análise dos métodos de auditoria à qualidade do ar interior – RSECE*. Universidade de Aveiro [Dissertação de Mestrado]. Aveiro. Boichichio F. (2011) *The newest international trend about regulation of indoor radon*. Radiat Prot Dosimetry;146:2e5.

BIOhabitat, construção ecológica - *Isofloc*. Portugal (2009) Disponível em [http://www.biohabitat.pt/sites/biohabitat.pt/files/bht\\_isofloc.pdf](http://www.biohabitat.pt/sites/biohabitat.pt/files/bht_isofloc.pdf), consultado a 18/07/2012.

Bluyssen, P.M., de Oliveira Fernandes, E., Groes, L., Clausen, G., Fanger, P.O.,

- Valborn, O., Bernhard, C.A and Roulet, C.A. (1996) *European indoor air quality audit project in 56 office buildings*. Indoor Air, 6, 221-238.
- Borg, M. (2001) *Environmental Assessment of Materials Components and Buildings* (Doctoral Thesis) Kungl Tekniska Hogskolan.
- Canfield, R. et al. (2003) *Intellectual Impairment in Children with Blood Lead Concentrations below 10 µg per Deciliter*. New England Journal of Medicine, Boston, v. 348, n. 16, p. 1517-1526, Apr.
- Chaves, A. (2009) *Patologia e Reabilitação de Revestimentos de Fachada*. Escola de Engenharia da Universidade do Minho (Dissertação de Mestrado). Guimarães.
- Chen, J.; Rahman, N.; Atiya, I. (2010) *Radon exhalation from building materials for decorative use*. Journal of Environmental Radioactivity 101 317-322.
- CIB (1999) Conseil International du Bâtiment. "Agenda 21 on sustainable construction – CIB Report Publication 237". CIB, Rotterdam.
- Colombo, A., M. DeBortoli, E. Pecchio, H. Schauenburg. H. Schlitt, and H. Vissers (1990) *Chamber testing of organic emissions from building and furnishing materials*. The Science of the Total Environment, 91;237-249.
- Coskeran T, Denman A, Phillips P, Gillmore G. (2002) *A critical comparison of the cost-effectiveness of domestic radon remediation programmes in three counties of England*. J Environ Radioact;62:129e44.
- Coskeran T, Denman A, Phillips P, Tornberg R. (2006) *A cost-effectiveness analysis of radon protection methods in domestic properties: a comparative case study in Brixworth, Northamptonshire, UK*. J Environ Radioact;91:73e89.
- Cruz, H.; Nunes, L. (2009) *Durabilidade e Proteção de Estruturas de Madeira*. Construção Magazine, Porto, n. 34, p. 36-38.
- Cruz, M. (2006). *Aplicação de resíduo industrial para isolamento térmico: uma proposta para a utilização do poliuretano de mamona com agregado de resíduo plástico termofixo*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Dissertação de Mestrado). Brasil.
- D. Agostino, B., Mikulis, M., Bridgers, M. (2007) *FMI & CMAA Eighth Annual Survey of Owners*, FMI, Raleigh, NC.
- Decreto-Lei nº 46/2008. *Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição*. Diário da República - I SÉRIE. 51 (08-03-12). 1567-1574.
- Denman A.R., Phillips P.S., Groves-Kirkby C.J., Crockett R.M. (2005) *Do radon-proof membranes reduce radon levels adequately in new houses?* In: Proceedings of the seventh SRP International Symposium; Cardiff, 12e17
- Dias, L. (2012) *A sustentabilidade na reabilitação do património edificado*. Universidade Nova de Lisboa [Dissertação de Mestrado]. Lisboa.
- Dinis, R. (2010) *Contributos para a Reabilitação Sustentável de Edifícios de Habitação*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Lisboa (Dissertação de Mestrado). Lisboa.
- Dinua, A.; Cosma, C.; Sainz, C.; Poncelab, L.; Vasiliu, S. (2009) *Lung cancer attributable to indoor radon exposures in two radon - Prone Areas, Ştei (Romania) and Torrelodones (Spain)*. Physics Conference, TIM-08; Timisoara, Romania, AIP Conference Proceedings 1131,175-180
- Dutra, M. (2010) *Caraterização de Revestimentos em Fachadas Ventiladas. Análise do Comportamento*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa
- Dutrizac, J.; O'Reilly, J.; Macdonald, R. (1982) *Roman Lead Plumbing: did it really contribute to the decline and fall of the empire*. CIM Bulletin, Montreal, v. 75, n. 841, p. 111-115.
- « Ecological Building Systems: Natural Insulation »(ECS). Online : < <http://www.ecologicalbuildingsystems.com/products/natural-insulation/> > (Acedido em 13 setembro 2012)
- Edlich, R.; Winters, K.; Long, W., 2005. *Treated Wood Preservatives linked to Aquatic Damage, Human Illness, and Death: a societal problem*. Journal of Long-Term Effects of Medical Implants, New York, v. 15, n. 2, p. 209-223.
- Egbu, C.O., Skills (1999) *knowledge and competencies for managing construction refurbishment works*, Construction Management & Economics 17 (1) 29–43.

- Eires, R. (2006) *Materiais não convencionais para uma construção sustentável*. Universidade do Minho.
- Elevate East Lancashire (2004) *The Housing Market Renewal Pathfinder Prospectus*. March 26.
- Esin, T. (2007) *A study regarding the environmental impact analysis of the building materials production process (in Turkey)*. Building and Environment Vol.42, 2007, pp.3860-3871
- European Atomic Energy Community, 1996. Council Directive 96/29 EC. Luxembourg.
- European Commission. Institute for Prospective Technological Studies (2008) *European Communities: Environmental Improvement Potentials of Residential Buildings (IMPRO-Building)*. Luxemburgo.
- EUROSTAT (2007) *Energy Dependency Statistics*.
- Fenilli, R. J. (2008) *Sistemas termoisolantes: tipos, finalidade e aplicação*. Climatização & Refrigeração, n.94
- Fepicop (2008) *Investir em construção, ultrapassar a crise: construção 2008/2009*. Federação Portuguesa da Indústria da Construção e Obras Públicas. Porto.
- Fernandes, F. (2010) *Especificações para a reabilitação sustentável de edifícios*. Universidade de Aveiro (Dissertação de Mestrado) Aveiro.
- Ferreira, R. (2000) *Avaliação de ensaios de durabilidade de betão*. (Tese de Mestrado), Escola de Engenharia da Universidade do Minho.
- Ferreira, J. (2004) *Análise de ciclo de vida dos produtos*. Instituto Politécnico de Viseu
- Ferreira, M., Coelho, M. (2006) *A obra nasce: revista de Arquitetura da Universidade Fernando Pessoa*. Porto: Fundação Ensino e Cultura Fernando Pessoa. ISSN 1645-8729. 3 Jan. 70-91
- Ferreira, V. (2010) *Plataforma para a Construção Sustentável*. CINCOS'10 (Congresso Inovação na Construção Sustentável).Aveiro.
- «FOAMGLAS®». Online : < <http://www.foamglas.es/espanol/construccion/index.htm> > (Acedido em 16 agosto 2012)
- Garber A, Phelps C. (1997) *Economic foundations of cost-effectiveness analysis*. J Health Econ;16:1e31.
- Galvin, R., (2010) *Thermal upgrades of existing homes in Germany: The building code, subsidies, and economic efficiency*. Energy and Buildings 42, 834–844
- Gerilla, G.; Teknomo, K.; Hokao, K. (2007) *An environment assessment of wood and steel reinforced concrete housing construction*. Building and Environment Vol. 42, pp.2778-2784
- «Gerflor - Compromisso para um Desenvolvimento Sustentável ». Online : < <http://www.gerflor.pt/pt/construcao/m2/telecharger-documentation/d1767-meio-ambiente.html> > (Acedido em 17 Junho 2012).
- Gil L. A. (2006) *Cortiça como Material de Construção - Manual Técnico*. Santa Maria de Lamas : APCOR - Associação Portuguesa de Cortiça.
- Gjorv, O.E. (1994) *Steel corrosion in concrete structures exposed to Norwegian marine environment*. ACI Concrete International, 1994, pp.35-39
- Gonçalves, J. (2009) *Difusão de compostos orgânicos voláteis em materiais de construção. Influência da microestrutura*. Universidade do Minho (Dissertação de Mestrado). Guimarães.
- González, M.; Navarro, J. (2006) *Assessment of the decrease of CO<sub>2</sub> emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environment impact*. Building and Environment Vol. 41, 2006, 902-909.
- « GreenSpec - Green building, design, products, specification and construction ». Online : < <http://www.greenspec.co.uk/> > (Acedido em 16 Julho 2012)
- Groves-Kirkby C, Denman A, Phillips P, Crockett R, Woolridge A, Tornberg R. (2006) *Radon mitigation in domestic properties and its health implications da comparison between during-construction and post-construction radon reduction*. Environ Int ;32:435e43.
- Guindeira, M. (2003) *Determinação experimental dos coeficientes de adsorção e difusão de COVs em materiais de construção* (Tese de Mestrado) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Hammond G., Jones C. (2008) *Inventory of Carbon and Energy*. Bath : Sustainable Energy Research Team (SERT) - University of Bath, UK.

- Hansen, S.; Burroughs, H. (1999) *Classifying Indoor Air Problems: managing indoor air quality*. Lilburn: Fairmont.
- Hansson, Peter (2003) *The Sink-Effect in Indoor Materials: Mathematical Modelling and Experimental Studies* (Tese Doutoramento) Centre for Built Environment KTH, Royal Institute of Technology Sweden.
- Hayes, C. (2009) *Plumbo Solvency Control: best practice guide*. London: IWA Specialista Group on Metals and Related Substances in Drinking Water.
- Heuser, V., Andrade, V., Silva, J., Erdtmann, B. (2005) *Comparison of genetic damage in brazilian footwear-workers exposed to a solvent-based or water-based adhesive*. Mutation research/Genetic toxicology and Environmental Mutagenesis, Vol. 583, pp. 85-94.
- Hodge, A., 1981. *Vitruvius, Lead Pipes and Lead Poisoning*. American Journal of Archaeology, New York, v. 85, n. 4, p. 486-491, Oct.
- Holm, M.G. (2000) *Service management in housing refurbishment: a theoretical approach*, Construction Management & Economics, ASCE 18, 525–533.
- Holmgren O, Arvela H. (2012) *Assessment of current techniques used for reduction of indoor radon concentration in existing and new houses in European countries*. STUK, A251. Helsinki, Finland: Radiation and Nuclear Safety Authority- STUK.
- IARC (2004) *Overall evaluation of Carcinogenicity to Humans, Formaldehyde [50-00-0]*, Monographs Series, 88. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France
- INE (2002). Instituto Nacional de Estatística, *Censos 2001 - Resultados definitivos*. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística.
- INE (2004) *Atlas das Cidades de Portugal - Volume II*. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística.
- INE (2011) *Estatísticas da Construção e Habitação 2010*. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística.
- INE (2012) *Censos 2012 - Resultados Provisórios*. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística.
- International Commission on Radiological Protection (1990) *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Oxford: Pergamon. (ICRP Publication, 60).
- International Agency For Research on Cancer (IARC) (1997) *Polychlorinated DibenzoparaDioxins and Polychlorinated Dibenzofurans*. Lyon. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 69).
- IPCC (2007) Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 4th Assessment report
- Ireland, D. (2008) *New Tricks with Old Bricks*. The Empty Homes Agency, London.
- Itard L, et al. (2008) *Building Renovation and Modernisation in Europe: State of the art review*. OTB Research Institute for Housing, Urban and Mobility Studies. Delft University of Technology. Delft.
- Jelle, B.P. (2011) *Review: Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities*. Energy and Buildings 43, pp. 2549–2563
- Jelle, B.P.; Gustavsen, A.; Baetens, R. (2010) *The path to the high performance thermal building insulation materials and solutions of tomorrow*, Journal of Building Physics 34, pp. 99–123
- Jelle, B. (2012) *Development of a model for radon concentration in indoor air*. Sci Total Environ; 416:343e50.
- Jones, Andy P. (1999) *Indoor air quality and health*. Atmospheric Environment. vol.33, n. 1, p. 4535- 4564, ISSN 1352-2310.
- Juan et al. (2009) *GA-based decision support system for housing condition assessment and refurbishment strategies*. Automation in Construction 18, 1: 394–401
- Kaklauskas, A., Zavadskas, E.K., Raslanas, S. (2005) *Multivariant design and multiple criteria analysis of building refurbishments*, Energy and Buildings 37, 361–372.
- Kaklauskas, A., Zavadskas, E.K., Trinkunas, V. (2007) *A multiple criteria decision support on-line system for construction*, Engineering Applications of Artificial Intelligence 20 (2), 163–175.
- Kernan P. (2002) *Old to New - Design Guide: Salvaged Building Materials in New Construction*. 3.º ed. Victoria : Architectural Institute of British Columbia, 115 p

- Khalil, N. et al. (2009) *Association of Blood Lead Concentrations with Mortality in Older Women: a prospective cohort study*. Environmental Health, London, v.8, p. 15, Apr.
- Kibert C. (2005) *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*. 2.º ed. Florida, E.U.A. : Wiley. ISBN : 0471661139.
- Knudsen, H.N., Kjaer, U.D., Nielsen, P.A., Wolkoff, P. (1999) *Sensory and chemical characterization of VOC from emissions from building products: impact of concentration and air velocity*. Atmospheric Environment 33, 1217e1230.
- Kontinnen, S.L. (1985) Byker. Bloodaxe Books, Newcastle upon Tyne.
- Koopman-Esseboom, C. et al. (1996) *Effects of Polychlorinated Biphenyl/Dioxin Exposure and Feeding Type on Infants*. Mental and Psychomotor Development. Pediatrics, Evanston, v. 97, n. 5, p. 700-706, May.
- Kostiainen, R. (1995) *Volatile Organic Compounds in the Indoor Air of Normal and Sick Houses*. Atmospheric Environment, Oxford, v. 29, n. 6, p. 693-702.
- Kovler, K. et al. (2002) *Natural Radionuclides in Building Materials Available in Israel*. Building and Environment, Oxford, v. 37, n. 5, p. 531-537, May
- Kovler, K. (2009) *Radiological Constraints of Using Building Materials and Industrial By-Products in Construction*. Construction and Building Materials, Guildford, v. 23, n. 1, p. 264-253, Jan.
- Kwok, N. et al. (2003) *Substrate Effects on VOC Emissions from an Interior Finishing Varnish*. Building and Environment, Oxford, v. 38, n. 8, p. 1019-1026, Aug.
- Labat, L. et al. (2006) *Variabilité de la Mesure de la Plombémie Pour de Faibles Concentrations Proches du Seuil de 100 µg/l : étude multicentrique*. Annales de Toxicologie Analytique, Poitiers, v. 18, n. 4, p. 297-304.
- Labrincha, J. (2006) *Associação para o desenvolvimento da casa do futuro: sub projeto de isolamento térmico (1º relatório de progresso)*. Universidade de Aveiro, AveiroDomus;
- Lacasse M. (1999) *Materials and technology for sustainable construction*. Building Research & Information, Vol. 27, p. 405-408.
- Ladou, J. (2004) *The Asbestos Cancer Epidemic*. Environmental Health Perspectives, Research Triangle Park, v. 112, n. 3, p. 285-290.
- Lanting, C. et al. (1998) *Neurologic Condition in 42- Month-Old Children in Relation to Pre- and Postnatal Exposure to Polychlorinated Biphenyls and Dioxins*. Early Human Development, Amsterdam, v. 50, n. 3, p. 700-706, Feb.
- Lararus, N. (2002) *Beddington Zero (Fossil) Energy Development: Construction Materials Report*. Toolkit for Carbon Neutral Developments—Part1. BioRegional.
- Lee, Y.C., Gilleard, J.D. (2002) *Collaborative design: a process model for refurbishment*, Automation in Construction 11 (5) 535–544.
- Le Cloirec, P. (1998). *Les composés organiques volatils dans l'environnement*. Nantes, França : Ecole des Mines de Nantes, Lavoisier TEC & DOC editora, 734p.
- Liang, H., Ho, M. (2007) Toxicity characteristics of commercially manufactured insulation materials for building applications in Taiwan. Construction and Building Materials, Vol.21, pp. 1254-1261.
- Marchland, C., Bulliot, B., Le Calve, S., Mirable, Ph. (2006) *Aldehyde measurements in indoor environments in Strasbourg (France)*. Atmospheric Environment 40, 1336e1345
- Martins A. (2003) *Influência de materiais de revestimento*. Dissertação de Mestrado. Porto : Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- Materiais de construção: isolamentos térmicos. Online: < [http://www.ecocasa.pt/construcao\\_content.php?id=28](http://www.ecocasa.pt/construcao_content.php?id=28) > (Acedido em 16 agosto 2012)
- Mateus R., Bragança L. (2006) *Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção*. Edições Ecoply, 296 p.
- Meadows, D.L.; Meadows, D.L.; Behrene, J.R.W. (1972) *The limit to growth*, MIT Press.
- Melim J., Sousa H. (2010) *Resíduos de Construção e Demolição em Obras de Reabilitação*. In : Congresso de Inovação na Construção Sustentável - CINCOS'10. Curia : centroHabitat - plataforma para a construção sustentável.



- Mendonça, P. (2005) Sistema de Fachadas. In: Mendonça, P. (Ed.) *Habitar sob uma Segunda Pele: Estratégias para Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, pp. 1-76;
- Menke, A. et al. (2006) *Blood Lead below 0,48  $\mu\text{mol/l}$  (10  $\mu\text{g/dl}$ ) and Mortality among US Adults*. *Circulation*, Baltimore, v. 114, n. 13, p. 1388-1394, Sept.
- Molhave, Lars. (2004) *Chapter 25: Sensory irritation in humans caused by volatile organic compounds (vocs) as indoor air pollutants: A summary of 12 exposure experiments*. In: 34 Spengler, J.D. Samet, J.M. McCarthy, J.F. *Indoor Air Quality Handbook*. New York: McGraw-Hill, 1448 p. ISBN 0074455494
- Mora, E. Life cycle, (2007) *sustainability and the transcendent quality of building materials*. *Building and Environment* Vol. 42, pp.1329-1334.
- Mumford, K., Power, A. (1999) *The Slow Death of Great Cities? Urban Abandonment or Urban Renaissance*. York Publishing Services-Joseph Rowntree Foundation.
- Mumford, K., Power, A. (2002) *Boom or Abandonment: Resolving Housing Conflicts in Cities*. Chartered Institute of Housing, Coventry.
- NAO (2007) *Housing Market Renewal*. The Stationery Office, London.
- Nevin, B. (2001) *Securing Housing Market Renewal: A Submission to the Comprehensive Spending*. Review Produced for the National Housing Federation in Collaboration with the Key Cities Housing Group and the Northern Housing Forums. University of Birmingham, Birmingham.
- Nriagu, J. (1983) *Saturnine Gout among Roman Aristocrats: did lead poisoning contribute to the fall of the empire?* *New England Journal of Medicine*, Boston, v. 308, n. 11, p. 660-663, Mar.
- ODPM (2003) *Sustainable Communities: Building for the Future*. ODPM, London.
- Oppenhuizen, A.; Sijm, D. (1990) *Bioaccumulation and Biotransformation of Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins and Dibenzofurans in Fish*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, New York, v. 9, n. 2, p. 175-186, Feb.
- Pacheco-Torgal F., Jalali S. (2007) “*Construção sustentável. O caso dos materiais de construção*”. 3º Congresso Nacional de Construção. Universidade de Coimbra.
- Pacheco-Torgal, F.; Jalali, Said. (2008) “*Tendências para a sustentabilidade dos materiais de construção*”, *Engenharia e vida*. Janeiro, Vol. 42, p. 2-5
- Pacheco-Torgal, F.; Jalali, S. (2010) *A sustentabilidade dos materiais de construção*. ed. 2, 1 vol.1, ISBN: 978-972-8600-22-8. Guimarães: TecMinho.
- Pacheco-Torgal, F.; Faria, J.; Jalali, S. (2010a) *Toxicidade dos materiais de construção. Uma questão crucial para a construção sustentável: Parte 3. O caso das tintas, vernizes, produtos para protecção de madeiras, materiais plásticos, colas sintéticas e isolantes térmicos*. CINCOS'10 Congresso de Inovação na Construção Sustentável, pp.173-182, Cúria, Portugal.
- Pacheco-Torgal, F.; Jalali, S. (2010b) “*Considerações sobre a sustentabilidade dos Materiais de Construção*”, *Construção Magazine* 35, 1: 35 - 38.
- Pacheco-Torgal, F.; Jalali, S. (2011) *Energia incorporada em materiais de construção versus energia operacional*. *Revista Internacional Construlink - Estruturas e Construções*, Vol., nº27, pp.5-12.
- Pacheco-Torgal, F.; Jalali, S. (2011a). “*Materiais de construção eco-eficientes.Parte 1*”, *Revista Arte & Construção* 242, 1: 26 - 28.
- Pacheco-Torgal, F.; Jalali, S. (2011b) *Toxicity of building materials. A key issue in sustainable construction*. *International Journal of Sustainable Engineering*, Taylor & Francis Vol.4, 281-287.
- Pacheco Torgal, F. (2012) *Contributos da nanotecnologia para os Nearly Zero Energy Buildings*. *Revista Maquinaria – Angola*, Nº 221, p.58-63.
- Pacheco-Torgal, F.; Jalali, S. (2012a) *The toxicity of building materials*. Woodhead Publishing Limited Abington Hall, Cambridge, UK
- Pacheco-Torgal, F. (2012b) *Toxicidade dos materiais de construção: O caso dos materiais com substâncias radioativas*, *Revista Internacional Construlink - Estruturas e Construções* , 04: 1 - 6.

- Pacheco-Torgal, F. (2012c) *Indoor radon: An overview on a perennial problem*, Building and Environment 58, 1: 270 – 277.
- Paiva, J.V., Aguiar, J., Pedro, J.B., Coelho, A.B., Lopes, J.G. et al (2006). *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*. Instituto Nacional da Habitação, LNEC, Lisboa.
- Paiva, J. (2007) Encontro Organizado pelo Gabinete de Candidatura à UNESCO. Seminário “Univer(sc)idade: Desafios e propostas de uma Candidatura a Património da Humanidade”. Coimbra.
- Papadopoulos, I. (1999) *Revision of the Council Directive on the Quality of Water Intended for Human Consumption*. The Environmentalist, Hampshire, v. 19, n. 1, p. 23-26.
- Papadopoulos, A. (2005) *State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments*. Energy and Buildings, 37, pp.77-86
- Papaefthimiou, H.; Gouseti, O. (2008) *Natural radioactivity and associated radiation hazards in building materials used in Peloponnese, Greece*. Radiation measurements, Oxford, v. 43, n.8, p. 1453-1457, Sept.
- Paulsen, J. (2001) *Life Cycle Assessment for Building Products* (Doctoral Thesis) Kungl Tekniska Hogskolan.
- Pei, L.; Kurumada, K.; Tanigaki, M.; Hiro, M.; Susa, K. (2004) *Effect of drying rate on mesoporous silica morphology template from PEO-PPO-PEO block copolymer assemblies*. Journal of Materials Science 39. Pp. 4045 – 4047
- Peltonen, K., Pfaffli, P, Itkonen, A, Kalliokoski, P. (1986) *Determination of the presence of bisphenol-A and the absence of diglycidyl ether of bisphenol-A in the thermal degradation products of epoxy powder paint*. American Industrial Hygiene Association Journal, Vol.47, pp.399-403.
- Pinheiro M.D. (2006). *Ambiente e Construção Sustentável*. Instituto do Ambiente. Amadora.
- Pinho, A.; Aguiar, J. (2005) *Reabilitação em Portugal: A mentira denunciada pela verdade dos números!* Arquitecturas, nº 5, Outubro. Lisboa.
- Pocock, S.; Smith, M.; Baghurst, P. (1994) *Environmental Lead and Children’s Intelligence: a systematic review of the epidemiological evidence*. British Medical Journal, London, v. 309, n. 6963, p. 1189-1197, Nov.
- Portal da construção sustentável, Portugal (s/d) Disponível em [http://www.csustentavel.com/index\\_cat.php?cat=14](http://www.csustentavel.com/index_cat.php?cat=14), consultado a 2/08/2012.
- Power, A., (2008) *Does demolition or refurbishment of old and inefficient homes help to increase our environmental, social and economic viability?* Energy Policy 36, pp.4487–4501
- Pruszinski, A. (1999) *Review of the Landfill Disposal Risks and the Potential for Recovery and Recycling of Preservative Treated Timber*. Adelaide: Environmental Protection Authority.
- Rabin, R. (2008) *The Lead Industry and Lead Water Pipes “A Modest Campaign”*. American Journal of Public Health, Boston, v. 98, n. 9, p. 1584-1592, Sept.
- Resolução de Conselho de Ministros nº 109/2007, *Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável ENDS 2015 e Plano de implementação*, Diário da república, 1ª série, nº 159, 20 de Agosto de 2007, pp.5404-5478
- Rihaneck, st. (1971) *Radioactivity of phosphate plaster and phosphate gypsum*. Tonind-Ztg Vol. 95, pp. 264-270
- Rogers, R., Power, A. (2000) *Cities for a Small Country*. Faber and Faber, London.
- Salasar, C. (2007) *Estudo sobre Emissão de Compostos Orgânicos Voláteis COVS em Tintas Imobiliárias à Base de Solvente e Água*. 83 f. Dissertação (Mestrado em Química) –Universidade Estadual de Londrina.
- Salthammer, T. (1997) *Emission of volatile organic compounds from furniture coatings*. IndoorAir 7: 189-197.
- Samagaio, A (2006) *Associação para o desenvolvimento da casa do futuro: sub projeto de isolamento térmico (2º relatório de progresso)*. Universidade de Aveiro, AveiroDomus;
- Samfield, M. (1992) *Indoor Air Quality Data Base for Organic Compounds*. Research Triangle Park: Air and Energy Engineering Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency.
- Sampat & Gardner (1998) *Mind over matter: Recasting the role of materials in our lives*, World Watch Institute

Schirmer, W.N. (2004) *Amostragem, análise e proposta de tratamento de compostos orgânicos voláteis e odorantes na estação de tratamento de efluentes de uma refinaria de petróleo*. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Scivyer C. (2001) *Radon protection for new buildings: a practical solution from the UK*. *Sci Total Environ*;272:91e6.

SETAC (1993) Society of Environmental Toxicology and Chemistry – *Guidelines for Life-Cycle Assessment: A code of Practice*, Bruxelas, Bélgica

Shah JJ and Singh HB. (1988) *Distribution of volatile organic chemicals in outdoor and indoor air*. *Environ. Sci. Technol.* 22: 1381-1388.

Shaurette M. (2008) *Safety and health training for demolition and reconstruction activities*, Proceedings of the CIB W99 International Conference, Gainesville, Florida, USA, March 9–11, pp. 241–253.

Silva, Gabriela V. (2000) *Estudo de Emissões de COVs por Materiais Usados em Interiores de Edifícios* (Tese de Doutoramento) Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto.

Silverstein, M.; Welch, L.; Lemen, R. (2009) *Developments in Asbestos Cancer Risk Assessment*. *American Journal of Industrial Medicine*, New York, v. 52, n. 11, p. 850-858, Nov.

Smith, P., 2008. Risks to Human Health and Estuarine Ecology Posed by Pulling Out Creosote-Treated Timber on Oyster Farms. *Aquatic Toxicology*, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 287-298, Jan.

Simmler, H. & Brunner, S. (2005) *Vacuum insulation panels for building application. Basic properties, aging mechanisms and service life*. *Energy and Buildings* 37, pp.1122-1131

Singer, P. (1997) *How are we to live? Ethics in an age of self-interest*. Text Publishing, Oxford University Press, Oxford

Souto, J. (1999) *Impacto dos filtros na qualidade do ar interior*, (Tese de Mestrado) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Sterling, D., 1985. *Volatile Organic Compounds in Indoor Air: an overview of sources, concentrations, and health effects*. In: GAMMAGE, R.; JACOBS, V. (Ed.). *Indoor Air and Human Health*. Chelsea: Lewis. p. 387.

Stern, N. (2007) *The economics of climate change*, *The Stern Review*

Synnott H., Pollard D., Colgan P, Fenton D. (2004) *A survey of the impact of amending building regulations on radon concentrations in Irish homes*. In: Proc 11<sup>th</sup> Congress of the International Radiation Association (IRPA11) Madrid.

Tararbit, K.; Carré, N.; Garnier, R. (2009) *Occurrence of Lead Poisoning during Follow-Up of Children at Risk with Initial Screening Lead Blood Levels Below 100 µg/l*. *Revue d'Epidemiologie et de Sante Publique*, Paris, v.57, n. 4, p. 249-255, Aug.

The Royal Commission on Environmental Pollution (RCEP) (2007) *The Urban Environment*. The Stationery Office, London.

« theFreshScent » United Kingdom ».

Online : < <http://thefreshscent.com/tag/united-kingdom/> > (Acedido em 16 agosto 2012)

*Thermo-Hemp: isolar e sentir-se bem*. Hock GmbH & Co. KG 2009, Online : < [http://www.biohabitat.pt/sites/biohabitat.pt/files/bht\\_thermo-hemp.pdf](http://www.biohabitat.pt/sites/biohabitat.pt/files/bht_thermo-hemp.pdf) > (Acedido em 21 Março 2012)

Thierfelder, T.; Sandstrom, E. (2008) *The Creosote Content of Used Railway Crossties as Compared with European Stipulations for Hazardous Waste*. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 402, n. 1, p. 106-112, Aug

Thomark, C. (2000) *Environmental analysis of a building with reused building materials*. *International Journal of Low Energy & Sustainable Building*

Tillitt, D. et al. (1993) *Dioxin-Like Toxic Potency in Forster's Tern Eggs from Green Bay, Lake Michigan, North America*. *Chemosphere*, Oxford, v. 26, n. 11, p. 2079-2084, June.

Tucker, W. Gene. (2004) *Chapter 31: Volatile Organic Compounds*. In: Spengler, J.D. Samet, J.M. Mccarthy, J.F. *Indoor Air Quality Handbook*. New York: McGraw-Hill, 1448 p. ISBN 0074455494.

Troesken, W. (2006) *The Great Lead Water Pipe Disaster*. Cambridge: MIT Press

- Tsai, W. (2006) *Human health risk on environmental exposure to bisphenol-A: A review*. Journal of Environmental Science and Health – Part C Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews, Vol. 24, pp.225-255.
- Turcu, C. (2005–2007) CASE Ph.D. Research on HMR Pathfinder, comparing the sustainability of demolition and refurbishment at LSE.
- United States Environmental Protection Agency (1992) *Potential Uses of Phosphogypsum and Associated Risks*. Washington, DC.
- Vale, P., Ryocroft, J. (1988) *Occupational irritant contact dermatitis from fiberboard containing urea-formaldehyde resin*. Contact Dermatitis Vol.19, pp.62
- Valero, P. (s/d) *EcoHabitar - Materiales: Aislamientos*. Online : < <http://www.ecohabitar.org/> > (Acedido em 16 Agosto 2012)
- Wang, S.; Ang, H.M.; Tade, M.O., 2007. *Volatile organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation: state of the art*. Environment International, v. 33, n. 5, p. 694-705. [www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/evol\\_tipol.html](http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/evol_tipol.html) (2005).
- WHO (2009) WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. Geneva 27, Switzerland: World Health Organization.
- Wilbur, S., Harris, M., Clure, P., Spoo, W., 1999. *Toxicology profile of formaldehyde*. US Department of Health and Service DHHS, Public Health.
- Wilhelm, M.; Dieter, H., 2003. *Lead Exposure via Drinking Water: unnecessary and preventable*. Umweltmedizin in Forschung und Praxis, v. 8, p. 239-241, 2003
- Wolkoff, P.; Clausen, P.A.; Jensen, B.; Nielsen, G.D.; Wilkins, C.K. (1997) *Are we measuring the relevant indoor pollutants?* Indoor Air, v.7, n. 1, p. 92-106. Lyngby: Blackwell Publishing, ISSN 0905-6947.
- Wolkoff, P., Nielsen, G.D. (2001) *Organic compounds in indoor air – Their relevance for perceived indoor air quality*, Atmospheric Environment, 35 4407-4417.
- World Health Organization (WHO). (1989) *Indoor Air Quality: Organic Pollutants*. EURO Reports and Studies No. 111, World Health Organization, Copenhagen.
- World Energy Outlook (2009) ISBN 978-92-64-06130-9, IEA
- Xing, Y.; Hewitt, N.; Griffith, P. (2011) *Zero carbon buildings refurbishment..A Hierarchical pathway*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, pp. 3229– 3236
- Yates, T. (2006) *Sustainable Refurbishment of Victorian Housing*. BRE Press, Bracknell.
- Zavadskas, E.K, Bejder, E., Kaklauskas, A. (1998) *Raising the efficiency of the building lifetime with special emphasis on maintenance*, Facilities 16 (11) 334–340.
- Zavadskas, E.K., Kaklauskas, A., Vainiunas, A., Dubakiene, R., Gulbinas, A., Krutinis, M., Cyras, P., Rimkus, L. (2006) *A Building's Refurbishment Knowledge and Device Based Decision Support System/Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 287–294, 4101.
- Zhang, L., Steinmaus, C., Eastmond, D., Xin, X., Smith, M. (2008) *Formaldehyde exposure and leukemia: A new meta-analysis and potential mechanisms*. Mutat. Res, Vol. 681, pp. 150-168.
- Zietz, B. et al. (2009) *Lead Pollution of Drinking Water in Lower Saxony from Corrosion of Pipe Materials*. Gesundheitswesen, Berlin, v. 71, n. 5, p. 265-274, May.