



## Cortiça na Construção

CLÁUDIO EMANUEL SANTOS DO NASCIMENTO

Outubro de 2013





## **Agradecimentos**

Ao Eng.º José Campeão

uma gratidão muito especial em me aceitar na sua orientação, pela sua manifestação de confiança e apoio com que me honrou ao longo de todo o trabalho.

Agradeço também a sua orientação científica, o seu espírito crítico e sugestões que me ofereceu, no decorrer desta minha formação.

Agradeço ainda a sua ajuda, disponibilidade, compreensão e conselhos que me transmitiu no decorrer do percurso.

Ao João Antero

da Amorim Isolamentos, S.A.,

que, num momento importante do meu percurso de formação disponibilizou tempo, informação, documentação e riqueza de sua experiência.

A todas as pessoas

em quem pensei, evoquei e com quem trabalhei

na medida em que contribuíram para a realização deste trabalho.



## PALAVRAS-CHAVE:

Cortiça, Isolamento, Revestimento, Sustentabilidade e Impacto Ambiental

## RESUMO

Nos dias de hoje, cada vez mais, se nota uma preocupação crescente na generalidade da população no que diz respeito à proteção do meio ambiente. Como tal, tem-se procurado soluções mais amigas do ambiente nas mais diversas áreas, com o intuito de diminuir as agressões ambientais provocadas pela industrialização/fabricação dos mais diversos produtos existentes.

Sendo o sector da construção, um dos grandes responsáveis pelo aumento desses impactos ambientais tem vindo a procurar seleccionar possíveis alternativas, desde o controlo da energia gasta no fabrico de diversos produtos de construção, como na procura de materiais mais amigos do ambiente.

A cortiça surge em resposta a estas necessidades, evidenciando-se na indústria da construção, por ser uma matéria-prima natural, amiga do ambiente podendo ainda ser reciclável e reutilizável, com propriedades de grande versatilidade, durabilidade, conservação, entre outras.

A presente dissertação pretende abordar a matéria-prima cortiça, desde o seu descortiçamento à sua aplicação no sector da construção, sendo um material capaz de ser aplicado como revestimento e/ou isolamento de edifícios, mais concretamente no isolamento térmico, acústico e antivibrático.

Da metodologia utilizada neste estudo, constaram análises comparativas de produtos de cortiça com outros materiais concorrentes (de revestimento e/ou isolamento). Na sua

análise, tentou-se obter uma melhor perceção/compreensão das mais-valias que a cortiça nos pode revelar em relação a outros materiais do sector da construção e o seu impacto no meio ambiente.

## KEYWORDS:

Cork, Isolation, Flooring, Sustainability and Environmental Impact

## ABSTRACT

Nowadays, increasingly, we notice a growing concern in the general population regarding the protection of the environment. As a result, we have searched for more environmentally friendly solutions in several areas, in order to reduce the environmental damage caused by industrialization/ manufacturing of the various existing products.

The construction sector is one of the most responsible for the increase of these environmental impacts and has been looking for possible alternatives for the control of the energy expended in the manufacture of different construction products and are looking for more environmentally friendly materials.

Cork comes as a response to these needs, being in focus in the construction industry, due to its characteristics: a natural raw material, environmentally friendly and it's also recyclable and reusable, with properties of versatility, durability, maintenance, among others.

The present dissertation intends to approach the raw material cork from his stripping to its application in the construction industry, being a material that can be applied as a coating and/ or isolation of buildings, more specifically in the thermal, acoustic and anti-vibration solutions.

The methodology used in this study includes a comparative analysis of cork products with competing materials (coating and/ or isolation). In its analysis, attempts were made to get a better perception/ understanding of capital gains that cork can reveal to us in relation to other materials in the construction sector and its impact on the environment.

## Índice Geral

Índice Figuras.....	v
Índice Tabelas .....	ix
1 Introdução.....	1
1.1 Considerações iniciais.....	1
1.2 Interesse e objetivos do trabalho.....	2
1.3 Organização e estruturação do trabalho .....	3
2 Considerações iniciais/Estado de arte .....	5
2.1 Origem da Cortiça.....	5
2.2 A cortiça.....	9
2.3 O descortiçamento/despela .....	10
2.3.1 Primeiro descortiçamento (Cortiça Virgem).....	11
2.3.2 Segundo descortiçamento (Cortiça Secundeira).....	12
2.3.3 Terceiro e restantes descortiçamentos (Cortiça Amadia).....	12
2.4 Remoção da cortiça (termos legais) .....	13
2.5 Constituição física e química da cortiça.....	15
2.5.1 Constituição física da cortiça.....	15
2.5.2 Constituição química da cortiça .....	16
3 Aspetos ambientais e económicos.....	19
3.1 Importância a nível ambiental.....	19
3.2 Importância social e económica .....	20
4 Cortiça na construção civil.....	23
4.1 Grânulos de cortiça.....	25
4.1.1 Processo de produção/fabricação.....	25
4.1.2 Principais aplicações dos grânulos de cortiça .....	27
4.2 Aglomerados .....	28

4.2.1	Aglomerados puros .....	28
4.2.1.1	Processo de produção/fabricação.....	29
4.2.1.2	Produtos provenientes da fabricação dos aglomerados negros de cortiça .....	31
4.2.1.2.1	Aglomerados expandidos térmicos .....	32
4.2.1.2.2	Aglomerados expandidos acústicos.....	32
4.2.1.2.3	Aglomerados expandidos vibratórios .....	33
4.2.1.3	Utilizações dos aglomerados puros de cortiça.....	34
4.2.1.4	Características dos aglomerados puros de cortiça.....	34
4.2.2	Aglomerados compostos.....	35
4.2.2.1	Processo de produção/fabricação.....	35
4.2.2.2	Aplicações dos aglomerados compostos de cortiça.....	39
4.2.2.3	Outros aglomerados compostos.....	40
4.2.2.3.1	Aglomerado composto de cortiça com borracha.....	41
4.2.2.3.1.1	Aplicações dos aglomerados compostos de cortiça com borracha.....	42
4.2.2.3.1.2	Painéis de piso flutuante com aglomerado folheado de cortiça .....	42
4.3	Produtos de cortiça e respetivas características físico-mecânicas.....	44
4.3.1	Isolante térmico.....	45
4.3.1.1	Comparação térmica entre o aglomerado negro de cortiça e os principais isolantes térmicos existentes no sector da construção.....	51
4.3.2	Isolante acústico.....	59
4.3.2.1	Cortiça como isolamento acústico .....	60
4.3.3	Comportamento Termo Higrométrico da cortiça face a outros materiais.....	63
4.3.3.1	Análise do desempenho da cortiça no comportamento termo higrométrico face a outros isolamentos concorrentes.....	67
4.3.4	Comportamento da cortiça face ao fogo.....	79
4.3.5	Compressão e elasticidade da cortiça.....	85
4.3.6	Impermeabilidade da cortiça.....	86

4.3.7	Outras propriedades da cortiça: .....	86
4.3.7.1	Leveza e fluutuabilidade .....	86
4.3.7.2	Propriedades hipoalérgicas .....	86
4.3.7.3	Compatibilidade com outros materiais.....	87
4.3.7.4	Durabilidade .....	87
4.3.7.5	Cortiça material ecológico .....	88
4.4	Campos de aplicação de isolamento de cortiça na construção civil .....	91
4.4.1	Isolamento e/ou revestimento de coberturas/terraços .....	91
4.4.1.1	Exemplos de aplicação .....	93
4.4.1.1.1	Coberturas inclinadas.....	93
4.4.1.1.2	Laje de esteiras horizontais .....	97
4.4.1.1.3	Coberturas Planas .....	98
4.4.2	Isolamentos de Fachadas e Paredes Exteriores .....	106
4.4.2.1	Fachada em sistema “ETICS” .....	107
4.4.2.2	Isolamento de paredes exteriores (caixa-de-ar) .....	110
4.4.3	Isolamento de paredes interiores .....	112
4.4.4	Isolamento e/ou revestimento de pavimentos .....	115
4.4.5	Isolamento com regranulado de cortiça.....	116
4.4.6	Isolamento Acústico .....	118
4.4.6.1	Correção acústica.....	118
4.4.6.2	Isolamento de Ruídos aéreos .....	119
4.4.6.3	Isolamento de ruídos de percussão .....	120
4.4.7	Isolamento antivibrático .....	122
4.4.8	Cortiça em argamassas e betões .....	122
5	Para concluir .....	125
6	Bibliografia: .....	129



## Índice Figuras

Figura 1 - Sobreiro ( <i>Quercus suber</i> L.) [42].....	5
Figura 2 - Disposição de sobreiros pela região Mediterrânica Ocidental [43].....	6
Figura 3 - Crescimento do sobreiro (anos) [10].....	7
Figura 4 - Sobreiro num cenário seco à sua volta [44].....	8
Figura 5 – Montado em sistema agro-silvipastoris [45].....	9
Figura 6 - Constituição do tronco do sobreiro [6].....	15
Figura 7 - Evolução das Exportações Portuguesas de Cortiça 2001-2012 [55].....	21
Figura 8 - Rolhas de cortiça natural [10].....	23
Figura 9 - Esquema simplificado da produção de aglomerado puro de cortiça [6].....	31
Figura 10 – Esquemas simplificados de produção de aglomerados compostos de cortiça: ladrilhos de cortiça (à esquerda) e rolos de cortiça (à direita) [6].....	39
Figura 11 - Composição de um revestimento de aglomerado de cortiça [46].....	40
Figura 12 - Esquema simplificado de produção de piso flutuante com folha de aglomerado de cortiça [6].....	43
Figura 13 - Mecanismos de propagação de calor [47].....	46
Figura 14 - Energia utilizada na produção de vários isolantes térmicos [58].....	89
Figura 15 - Aplicações possíveis da cortiça numa edificação [25].....	91
Figura 16 - Exemplo de aplicação do isolamento térmico e acústico de cortiça pelo lado exterior da laje de cobertura [26; 48].....	93
Figura 17 - Exemplo de aplicação do isolamento térmico e acústico de cortiça pelo interior da laje de cobertura [26].....	94
Figura 18- Exemplo de aplicação do isolamento térmico e acústico de cortiça entre o vigamento [26].....	94
Figura 19 - Buchas utilizadas como fixação mecânica [48].....	95
Figura 20 - Exemplo de isolamento térmico e acústico de cortiça diretamente na laje de betão recorrendo fixação a mecânica (buchas) [24].....	96
Figura 21 - Revestimento de teto com face à vista de aglomerado composto de cortiça....	97
Figura 22 - Exemplo de isolamento térmico e acústico utilizando cortiça em lajes de esteiras horizontais (sótãos não visitáveis) [24; 26].....	98
Figura 23 - Exemplo de cobertura acessível com isolamento térmico e acústico de cortiça [24].....	101

Figura 24 - Exemplo de cobertura de acessibilidade limitada com isolamento térmico e acústico de cortiça [24].....	101
Figura 25 – Circulação de pessoas sobre o isolamento térmico e acústico de cortiça, em fase de obra para aplicação da impermeabilização [41].....	102
Figura 26- Exemplo de cobertura ajardinada com isolamento térmico e acústico de cortiça [24] .....	104
Figura 27 - Pormenor de cobertura com estrutura resistente metálica isolada termicamente e acusticamente com aglomerado expandido de cortiça [29] .....	106
Figura 28 - Exemplo de fachada com sistema ETICS utilizando cortiça como isolante térmico [30; 49; 50] .....	109
Figura 29 - Pavilhão de Portugal na Expo Xangai 2010 [51].....	110
Figura 30 - Exemplo de parede dupla (exterior) com isolante de cortiça [24].....	110
Figura 31 -Pormenor de caleira em quarto de círculo [31] .....	111
Figura 32 – Pormenor de caleira com tubo de drenagem numa parede exterior dupla [31] .....	111
Figura 33 - Pormenor de parede exterior dupla com recurso a cortiça no isolamento térmico e acústico [32].....	112
Figura 34 - Pormenor de parede interior dupla, em alvenaria, com aglomerado negro de cortiça como isolante térmico e acústico [32].....	113
Figura 35 - Exemplo de parede interior isolada com aglomerado expandido de cortiça, dissimulada com recurso a placas de gesso cartonado [24] .....	114
Figura 36 – Espaço com aplicação à vista de aglomerado negro de cortiça no paramento vertical interior, conferindo conforto quer a nível acústico quer a nível visual [53] .....	115
Figura 37 - Vários tipos de revestimento na aplicação de pavimentos [14].....	116
Figura 38 - Exemplo de incorporação direta no betão (betão leve) [24] .....	117
Figura 39 - Exemplos de enchimento da caixa-de-ar em soalhos [24].....	117
Figura 40 - Exemplo de isolamento acústico (correção acústica) [24] .....	119
Figura 41 – Exemplo de isolamento de ruídos aéreos utilizando cortiça [24] .....	120
Figura 42 – Descontinuidade entre paredes e pavimento utilizando aglomerado expandido de cortiça, para a eliminação de transmissões marginais [52] .....	121
Figura 43 - Exemplo de isolamento a ruídos de percussão num edifício utilizando cortiça como isolante [24] .....	121
Figura 44 – Exemplo de juntas de dilatação contendo aglomerado de cortiça [24] .....	122

Figura 45 - Betão com grânulos de cortiça natural (a) e betão com grânulos de cortiça  
expandida (b) [57]..... 123



## Índice Tabelas

Tabela 1 - Área do sobreiro por país, total mundial (ha) com as respectivas proporções (%) [5] .....	7
Tabela 2 - Classificação de alguns isolantes térmicos [19-p.40] .....	48
Tabela 3 - Valores médios do aglomerado expandido de cortiça, como isolante térmico [6-pág.23] .....	49
Tabela 4 - Espessura do aglomerado expandido em função da temperatura a manter no interior do sistema isolado [6] .....	50
Tabela 5 - Valores de Densidade e Condutibilidade Térmica ( $\lambda$ ) de alguns materiais de isolamento térmico [18] .....	52
Tabela 6 - Valores de condutibilidade térmica e resistência térmica dos diferentes constituintes de parede exterior em estudo (com XPS).....	55
Tabela 7 - Valores de condutibilidade térmica e resistência térmica dos diferentes constituintes de parede exterior em estudo (com Aglomerado Negro de Cortiça).....	57
Tabela 8 - Tabela resumo da análise realizada com os respectivos valores dos coeficientes de transmissão térmica.....	58
Tabela 9 - Características médias do aglomerado expandido de cortiça (acústico) [6] .....	61
Tabela 10 - Características de permeabilidade ao vapor de alvenarias [38].....	64
Tabela 11 - Características de permeabilidade ao vapor de materiais de isolamento [38]..	65
Tabela 12 – Características de permeabilidade ao vapor de materiais de revestimento [38] .....	66
Tabela 13 -Valores de condutibilidade térmica e resistência térmica dos diferentes constituintes da parede, contendo Aglomerado Expandido de Cortiça como isolante (parede PA).....	70
Tabela 14 - Valores de condutibilidade térmica e resistência térmica dos diferentes constituintes da parede, contendo Poliestireno Expandido Extrudido como isolante (parede PB).....	71
Tabela 15 - Reação ao fogo de produtos de construção, com exceção de revestimentos de piso.....	81
Tabela 16 - Reação ao fogo de produtos de construção destinados a revestimentos de piso .....	82
Tabela 17 – Ensaio de caracterização da reação ao fogo [34] .....	83
Tabela 19 - Camadas que constituem cobertura plana e respetiva função [27].....	100

Tabela 20 - Cobertura plana ajardinada com elementos de construção e respectivas medidas a adotar para cada elemento [27] .....	103
Tabela 21 - Custos de materiais isolantes. [18].....	127

## **1 Introdução**

### **1.1 Considerações iniciais**

A crescente preocupação na preservação do meio ambiente e no combate às alterações climáticas leva mais pessoas, aquando de uma aquisição, a optar por produtos mais amigos do ambiente. Como tal, tem surgido nos mais diversos sectores, a procura de soluções com menor impacto ambiental.

O sector da construção é um dos maiores responsáveis nas agressões ao meio ambiente, devido em grande parte aos seus processos de fabrico, que não são, na sua grande maioria, otimizados no que diz respeito ao consumo de energético, com consequências no aumento da impacto ambiental. Devido à maior consciencialização na proteção do meio ambiente, este sector tem vindo a criar soluções menos prejudiciais para o ambiente, quer no controlo e na diminuição da energia incorporada dos produtos fabricados mas também na procura de materiais mais amigos do ambiente.

A cortiça surge em respostas às necessidades do mercado, como uma possível solução na diminuição do impacto ambiental, evidenciando-se na indústria da construção por ser uma matéria-prima natural, amiga do ambiente, podendo ainda ser reciclável e reutilizável, com propriedades de grande versatilidade, durabilidade, conservação, entre outras.

## **1.2 Interesse e objetivos do trabalho**

A presente dissertação pretende abordar a matéria-prima cortiça, como um material natural capaz de ser empregue no sector da construção nas mais diversas áreas de aplicação, como por exemplo no isolamento térmico, acústico e antivibrático dos edifícios, podendo ainda ser utilizado no revestimento de tetos, paredes e pavimentos, e ainda, na produção de betões e argamassas como substituto total ou parcial de agregados convencionais (areias e britas).

Pretende-se também com este trabalho, realizar análises comparativas de produtos de cortiça com outros materiais concorrentes (de revestimento e/ou isolamento), avaliando e comparando a respetivas propriedades físico-mecânicas (isolamento térmico, acústico, antivibrático, entre outros), tendo ainda em consideração os respetivos custos e o impacto ambiental associado à produção/fabricação destes.

### **1.3 Organização e estruturação do trabalho**

O trabalho desenvolvido está estruturado nos seguintes capítulos:

**Capítulo 2 - Consideração iniciais/Estado de arte:** explica-se a origem da cortiça, no campo histórico e geográfico, definindo de forma sucinta o seu significado e a respetiva constituição física e química. Descreve-se resumidamente os processos de descortiçamento da cortiça, tendo ainda em consideração os respetivos períodos de extração.

**Capítulo 3 – Panorama ambiental e económico:** menciona-se a importância que a cortiça tem para o meio ambiente, nomeadamente na preservação da biodiversidade e no combate às alterações climáticas, referindo ainda a sua importância a nível social e económico para Portugal.

**Capítulo 4 – Cortiça na construção civil:** faz-se referência a processos de produção/fabricação de produtos de cortiça para o sector da construção, indicando-se os respetivos produtos que resultam destes e as suas principais aplicações. Analisa-se as características físico-mecânicas dos principais produtos de cortiça, fazendo-se uma comparação com os respetivos produtos concorrentes existentes no mercado nacional. Aborda-se ainda os campos de aplicação da cortiça no sector da construção, ilustrando e explicando de forma sucinta modos de aplicação.

**Capítulo 5 – Para Concluir:** Efetua-se uma análise do trabalho realizado, referenciando-se as principais conclusões a reter deste.



## 2 Considerações iniciais/Estado de arte

### 2.1 Origem da Cortiça

A cortiça é um material natural proveniente do revestimento exterior do tronco e ramos do sobreiro. *Quercus suber L.* designação científica do sobreiro é uma quercínea de folha persistente (perenifólia), isto é, mantém a folhagem verde durante todo o ano [2-p.7], membro da ordem *Fagales* e da família *Fagaceae* [1-p.12]. Este inclui-se num conjunto de espécies com afinidades e origem comum, mais concretamente na família dos carvalhos (*Quercus spp.*). O sobreiro pertence a um pequeno subgrupo que abrange espécies europeias e asiáticas – o grupo Cerris, sendo que, os seus parentes mais próximos são carvalhos do oriente da Bacia Mediterrânica (*Quercus cerris*, *Quercus trojana* e *Quercus macrolepis*). A distinção entre o sobreiro e o carvalho faz-se principalmente, pela existência de uma casca volumosa de tecido suberoso, designada de cortiça, que envolve o sobreiro, originada pelo meristema suberoso-felodérmico do sobreiro [3-p. 665].

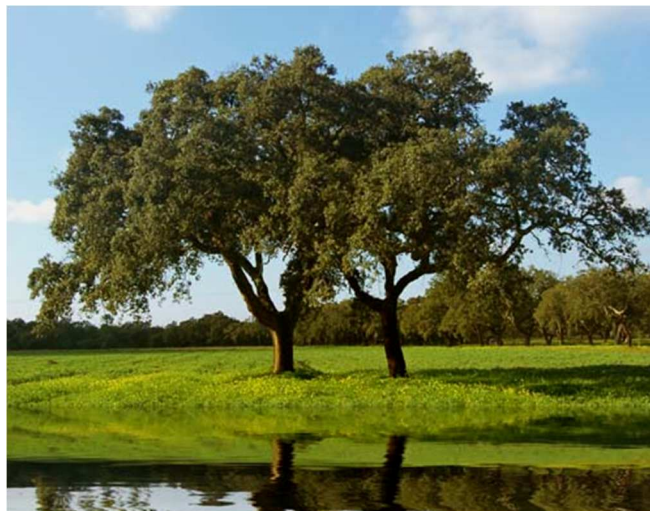


Figura 1 - Sobreiro (*Quercus suber L.*) [42]

Pensa-se que a origem do sobreiro seja do período oligocénico-miocénico, sendo este relativamente novo dentro dos carvalhos, tendo o início da sua distribuição começado a

partir da zona atualmente situada no mar Tirreno e estendendo-se para o Atlântico [1-p.12]. O sobreiro é, portanto, uma espécie típica na região Mediterrânica Ocidental, ocorrendo de forma natural no Sul da Europa e a Norte de África. Portugal e Espanha são os países que a Sul da Europa contêm áreas de sobreiros de maior expressão, existindo no entanto, áreas mais reduzidas, como por exemplo, no Sul de França e na costa ocidental de Itália abrangendo a Sicília, a Córsega e a Sardenha. Marrocos, no Norte da Argélia e na Tunísia são os locais que apresentam áreas de sobreiros com maior expressão [2].

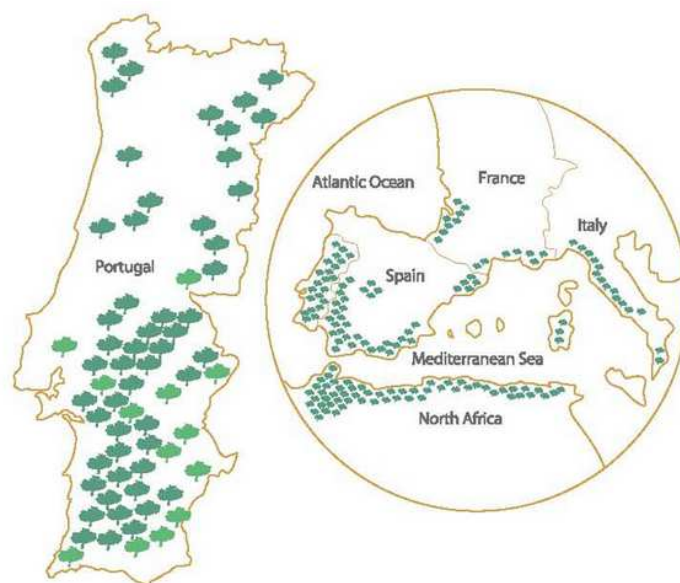


Figura 2 - Disposição de sobreiros pela região Mediterrânica Ocidental [43]

A área total de ocupação do sobreiro a nível mundial é cerca de 2,12 milhões de hectares, pelo que 67% da sua área está no Sul da Europa, aproximadamente 1,42 milhões de hectares e os restantes 33% que correspondem a cerca de 0,699 milhões de hectares, estão no Norte de África, nas regiões que delimitam a bacia mediterrânica. Pode-se destacar, que Portugal é o país com maior área de sobreiro, apresentando 34% da área mundial, sucedendo-lhe a Espanha e Marrocos [5].

Tabela 1 - Área do sobreiro por país, total mundial (ha) com as respectivas proporções (%) [5]

País	Área (ha)	Proporção de Área
Portugal	715.922	34%
Espanha	574.248	27%
Itália	64.800	3%
França	65.228	3%
Marrocos	383.120	18%
Argélia	230.000	11%
Tunísia	85.771	4%
<b>TOTAL</b>	<b>2.119.089</b>	<b>100%</b>

No que toca ao desenvolvimento do sobreiro, este apresenta um crescimento lento e de grande longevidade, podendo atingir entre 250 a 350 anos. No entanto, considera-se que o tempo de vida em que é capaz de produzir cortiça se encontra no intervalo dos 150-200 anos [1].

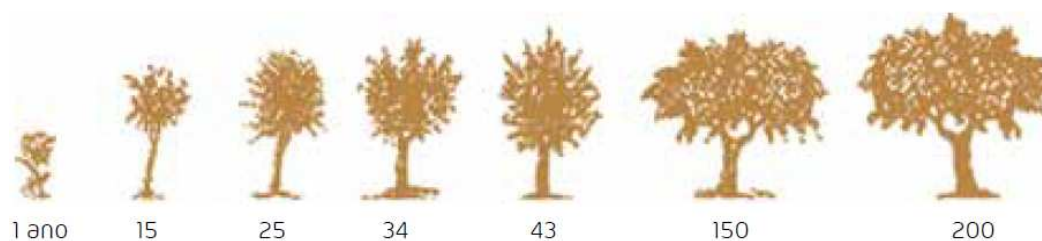


Figura 3 - Crescimento do sobreiro (anos) [10]

O habitat natural do sobreiro localiza-se na região Mediterrânica Ocidental, esta é geralmente associada à típica escassez de água durante do Verão Mediterrânico. O sobreiro tem mostrado uma boa capacidade de adaptação a ambientes mais severos, pontuando, por vezes, de verde o cenário de cores secas do Verão Mediterrânico [2].



Figura 4 - Sobreiro num cenário seco à sua volta [44]

Uma das particularidades que leva à sua sobrevivência durante o verão, tanto do sobreiro como de outras árvores das regiões de clima mediterrânico, é a capacidade que este tem de reduzir a perda de água pelas folhas (transpiração) e, ao mesmo tempo, a diminuição do seu metabolismo e crescimento. Consta-se que, mais de 70% da água transpirada pelo sobreiro durante o verão pode ter origem nas camadas mais profundas do solo e subsolo. Isto só é conseguido, porque o sobreiro garante a sua hidratação devido a um sistema de raízes que, para além de extenso horizontalmente, pode atingir vários metros de profundidade, o que lhe dá a possibilidade de retirar água presente no subsolo e também em lençóis freáticos [2].

As temperaturas de  $-5^{\circ}\text{C}$  e  $40^{\circ}\text{C}$  são as consideradas como limites para a sua sobrevivência. Em relação aos solos, a espécie é muito tolerante, com exceção de solos calcários ou demasiados argilosos, permitindo valores de pH entre 4,8 e 7,0 [1-p.12].

Um conjunto de sobreiros, denominado montado, é normalmente dominante em sistemas agro-silvipastoris, que apresentam forte intervenção humana, fazendo-se em simultâneo com a produção de cortiça, o pastoreio e culturas agrícolas [4]. Este sistema de gestão

conduz a povoamentos abertos com densidades baixas, entre 50 e 150 árvores por hectare [1-p.12].



Figura 5 – Montado em sistema agro-silvipastoris [45]

## 2.2 A cortiça

Cortiça, é um material celular, polimérico, relativamente complexo que tem acompanhado a humanidade desde tempos imemoráveis.

*“Por definição, a cortiça é o parênquima suberoso originado pelo meristema súberofelodérmico do sobreiro (*Quercus suber L.*), constituindo o revestimento do seu tronco e ramos”* [6-p.7].

A casca do sobreiro (a cortiça) é formada por células mortas de paredes impermeabilizadas por um composto químico denominado suberina. O sobreiro, como todas as outras árvores, produz camadas de células suberizadas como forma de proteção. No entanto, este é o único capaz de regenerar a sua casca exterior adicionando anéis anuais de cortiça a partir da atividade de um conjunto de células mãe, o felogénio. Esta capacidade de regeneração permite extrair a cortiça do sobreiro sem que seja necessário o abate da árvore. O

felogénio do sobreiro tem a capacidade de se manter em atividade durante toda a sua vida, o que não acontece com as outras árvores onde cada felogénio dura pouco tempo [2].

### **2.3 O descortiçamento/despela**

O descortiçamento ou despela resume-se à operação de extração de parte da casca que reveste os sobreiros, casca esta denominada cortiça. A árvore não pode ser totalmente “despida” do seu revestimento suberoso, pois poderia não sobreviver ao descortiçamento.

A cortiça é retirada do tronco do sobreiro através de corte e arrancamento [1-p.15], sendo que esta operação é, ainda nos dias de hoje, efetuada tradicionalmente de forma manual com recurso a machados. No entanto, já é possível recorrer a processos mecânicos [6].

O processo de extração da cortiça é realizado no fim da primavera e durante o verão, entre Maio ou Junho e Agosto, período em que o crescimento anual do sobreiro é mais ativo [9]. Neste período é fundamental que as células que produzem o felogénio estejam em atividade e que se continuem a dividir, criando as condições necessárias para que se possa retirar a cortiça sem causar danos à árvore. Isto só é possível, se o sobreiro mantiver a hidratação dos tecidos, aspeto importante a considerar, sobretudo no verão seco do clima mediterrânico, a água ganha assim, um papel importante no descortiçamento [2]. A separação da camada de cortiça do tronco torna-se mais fácil nesta época, provocando-se um rasgamento a nível das células do felogénio ou das células de cortiça recém-formadas, que neste período se encontram mais fragilizadas.

Para a realização do descortiçamento, é essencial que por parte dos tiradores de cortiça, haja treino e mestria na execução do trabalho. Com o auxílio de um machado, este processo de extração manual, consiste em efetuar golpes sucessivos ao longo de linhas

verticais e horizontais em volta da árvore, permitindo retirar a cortiça em grandes pranchas de sob a forma de peças semi-tubulares [6]. Os golpes, têm de ser com força suficiente capaz de penetrar a cortiça até ao felogénio, sempre com o cuidado de não ferir, ou apenas ligeiramente, o entrecasco subjacente. “Torna-se importante evitar, que os golpes dados penetrem demasiado fundo e que danifique o câmbio da árvore, a camada geradora do lenho, o que causaria feridas importantes e que poderiam constituir uma via de acesso para agentes patogénicos, nomeadamente fungos e bactérias” [1-p.15].

Como referido anteriormente, o sobreiro é uma árvore que pode atingir os 250-350 anos, no entanto, o tempo de vida em que apresenta interesse económico, ou seja, em que é capaz de produzir cortiça, encontra-se no intervalo 150-200 anos, que equivale, aproximadamente a 13/18 descortiçamentos [11].

### **2.3.1 Primeiro descortiçamento (Cortiça Virgem)**

A primeira cortiça produzida pelo sobreiro é a chamada cortiça virgem, e só pode ser extraída, quando o sobreiro apresentar os requisitos (dimensões/condições consideradas pela prática florestal como adequadas para o primeiro descortiçamento) dispostos na legislação em vigor, Decreto-lei n.º 169/2001-25 de Maio. Este primeiro descortiçamento tem a designação de desbóia, que ocorre para idades de 20 a 35 anos.

Devido às fortes tensões tangenciais originadas pelo crescimento radial do tronco da árvore, a cortiça virgem, apresenta sulcos e fendas verticais importantes, conferindo-lhe uma superfície muito irregular, que a impossibilita de ser utilizada no fabrico de rolhas [1]. No entanto, esta pode ser utilizada através da sua trituração, para obtenção de granulados e eventualmente, numa fase posterior, no fabrico de aglomerados [6].

Nesta primeira operação de descortiçamento, o felogénio, camada geradora de cortiça, acaba por secar e morrer, quando em contacto com a atmosfera após a extração da cortiça. Em resposta, a este trauma provocado, o sobreiro, nos tecidos interiores (entrecasco), é capaz de regenerar uma nova camada geradora de cortiça, isto é, um novo felogénio, denominado de felogénio traumático. Esta capacidade de regeneração do felogénio após extração de cortiça permite realizar de forma sustentada a exploração do sobreiro, com sucessivas extrações de cortiça, ao longo da vida da árvore [11].

### **2.3.2 Segundo descortiçamento (Cortiça Secundeira)**

A segunda camada de cortiça, designada de cortiça de reprodução secundeira ou apenas cortiça secundeira, é proveniente do felogénio traumático formado após a desbóia. A nova camada de cortiça, apesar de ser um material com uma estrutura mais regular, mais macio [9], apresenta ainda algumas irregularidades, como abundantes fraturas verticais, provenientes de fortes tensões tangenciais resultantes do crescimento radial do tronco da árvore, num período em que a árvore ainda está numa fase jovem [1].

Tal como a cortiça virgem, a cortiça secundeira é de um modo geral, imprópria para o fabrico de rolhas, podendo ser utilizada para a obtenção de granulados, através da sua trituração, que eventualmente numa fase posterior poderá ser utilizada para o fabrico de aglomerados [6].

### **2.3.3 Terceiro e restantes descortiçamentos (Cortiça Amadia)**

A terceira camada de cortiça tem origem num processo em tudo semelhante ao ocorrido na formação da cortiça secundeira. Esta produção é agora estimulada pela remoção da

segunda camada de cortiça, o felogénio destruído por esta operação é, por sua vez, substituído por um novo felogénio que se forma no entrecasco e retoma a produção de cortiça [1].

A partir da terceira camada de cortiça formada pelo sobreiro, dá-se a designação de cortiça de reprodução amadia, ou apenas cortiça amadia. Comparativamente com as camadas anteriores de cortiça, virgem e secundeira respetivamente, apresenta uma camada de espessura uniforme com poucas fraturas e de pequena profundidade. Esta particularidade é justificada pelos sucessivos descortiçamentos e pela fase já adulta da árvore, que devido ao menor crescimento radial do tronco do sobreiro, isto é, às fracas tensões resultantes do engrossamento do tronco, não são suficientes na sua generalidade para provocar fraturas no tecido [6].

A cortiça amadia é já uma cortiça com qualidade suficiente para o fabrico de rolhas de cortiça. Para que o sobreiro consiga produzir este tipo de cortiça tem que se desenvolver por mais de 30 anos [11].

#### **2.4 Remoção da cortiça (termos legais)**

Em Portugal, o Decreto-Lei 169/2001, de 25 de Maio, estabelece as condições e as dimensões que o sobreiro deverá possuir para que se possa efetuar a operação de extração de cortiça.

O primeiro descortiçamento (desbóia) é realizado quando o tronco do sobreiro atinge um perímetro de 70cm, medido sobre a cortiça, a 1,30m do solo.

Segundo o ponto 1 do art.º 12º do DL 169/2001, de 25 de Maio – “ *A altura do descortiçamento não pode exceder os seguintes múltiplos do perímetro do tronco, medido sobre a cortiça, a 1,30m do solo:*

- a) Duas vezes, no caso de árvores produtoras apenas de cortiça virgem;*
- b) Duas vezes e meia, no caso de árvores já produtoras de secundeira mas ainda não da amadia;*
- c) Três vezes, no caso de árvores já produtoras de amadia.”*

A medição da altura do descortiçamento é realizada ao longo do fuste (parte do tronco da árvore que se encontra livre de ramos) e das pernadas (ramificações principais e que se inserem diretamente no tronco da árvore). A extração da cortiça só é permitida quando no limite superior do descortiçamento, o fuste e as pernadas apresentem um perímetro, medido sobre a cortiça, igual ou superior a 70cm.

A extração da cortiça secundeira ou amadia não é permitida legalmente, enquanto o intervalo de tempo que separa duas tiradas não perfazer no mínimo 9 anos. O descortiçamento pode-se realizar em períodos regulares sucessivos de 9 em 9 anos, intervalo de tempo que permite ao sobreiro, através de sucessivos felogénios traumáticos, a produção de cortiça com espessura adequada para o processo industrial [11].

Após a extração da cortiça, é obrigatório sobre a superfície explorada do sobreiro, a marcação do último algarismo do ano da tiragem de cortiça, com tinta durável e de forma perceptível, com vista ao controlo e à gestão do montado [1].

## 2.5 Constituição física e química da cortiça

### 2.5.1 Constituição física da cortiça

Estruturalmente o tronco do sobreiro é composto pelas seguintes camadas: lenho (xilema); câmbio; floema; feloderme; felogénio; cortiça (felema) e costa (raspa). A última camada enumerada (raspa) não se encontra presente na cortiça virgem, isto é, na primeira cortiça produzida pelo sobreiro, pois a costa é constituída por tecidos mortos que são provocados pelo primeiro descortiçamento, permanecendo como revestimento exterior das cortiças seguintes formadas por felogénio traumático [1].

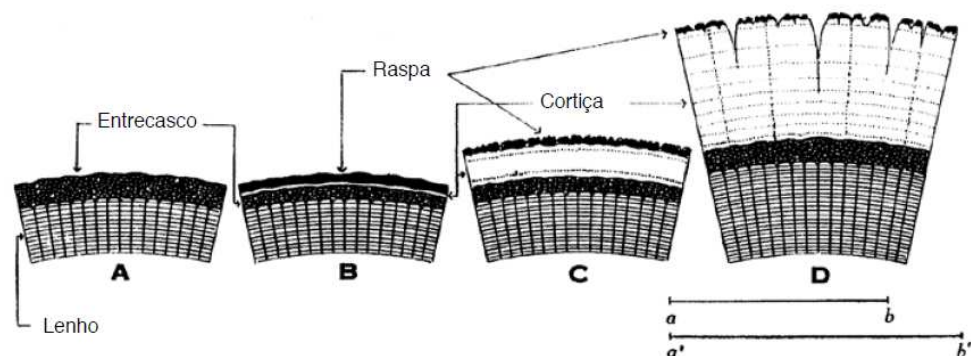


Figura 6 - Constituição do tronco do sobreiro [6]

À vista desarmada (macroscopicamente), é possível ver os anéis de crescimento ao longo da espessura da cortiça, formados na Primavera/Verão ou no Outono/Inverno, distinguíveis por serem constituídas por células formadas com diferentes dimensões e com diferentes espessuras das suas paredes celulares [6].

Microscopicamente, a cortiça é composta por uma estrutura alveolar, com cerca de 30 a 42 milhões de células por centímetro cúbico [9]. Cada anel anual compreende cerca de 50 a

200 camadas de células de largura de 1-6mm, sendo esta variação a principal responsável pelas diferentes espessuras e crescimentos anuais de cortiça. As diferenças no tamanho das células e na espessura da sua parede permitem delimitar os anéis de cortiça formados anualmente, uma vez que as células formadas no Outono são mais pequenas e mais espessas, apresentando uma tonalidade mais escura.

Em média uma célula de cortiça pode ser representada por um prisma de secção hexagonal, variando o contorno poligonal, usualmente, entre quatro e nove lados mas, preferencialmente, entre 5 e 7 [6-p.18]. A altura de um destes minúsculos prismas ronda os 40 a 50 micrómetros (milésimos de milímetros), com limites na ordem dos 10 e 70  $\mu\text{m}$ . A largura dos prismas apresenta dimensões médias entre os 30 e 40  $\mu\text{m}$ , com limites na ordem dos 10 a 50  $\mu\text{m}$  [9].

Os materiais celulares são constituídos por células ocas, abertas ou fechadas. Nestes materiais, a fração em volume do sólido que constitui as células não excede 30% [1-p.33]. No caso da cortiça, estamos na presença de material celular formado por células fechadas, cujas membranas celulares estão cheias de um gás, usualmente semelhante ao ar, que ocupam cerca de 85-90% do volume, ou seja, a fração do volume do sólido da cortiça ronda os 10-15% do volume total [6].

### **2.5.2 Constituição química da cortiça**

A composição química da cortiça, apesar dos estudos químicos efetuados até a atualidade, não é ainda nos dias de hoje totalmente conhecida, uma vez que, existe ainda um desconhecimento relativo à forma exata da estrutura química dos principais constituintes da cortiça e da maneira como se associam e distribuem na parede celular.

As paredes celulares da cortiça podem ser separadas em dois tipos de componentes, tendo em consideração a sua constituição química, os componentes estruturais ou não estruturais.

Os componentes estruturais das paredes celulares são macromoléculas, de natureza polimérica, insolúveis, que conferem às células a sua forma e grande parte das suas propriedades físicas e químicas [1-p.50-51]. A suberina, a lenhina e os polissacáridos celulose e hemiceluloses correspondem aos constituintes estruturais da cortiça.

Os componentes não-estruturais classificam-se em extrativos e em componentes inorgânicos. Na cortiça, os extrativos são classificados normalmente em dois grupos compostos, as ceras e os taninos. Estes são constituídos por massa molecular pequena de características solúveis. Os componentes inorgânicos são englobados no que geralmente se designa como cinzas, ou seja, o resíduo da combustão completa do material.

Os valores médios dos principais constituintes químicos da cortiça são:

- **Suberina** (45%) – principal componente estrutural das paredes celulares da cortiça, responsável pela resiliência da cortiça (compressibilidade e elasticidade) [6];
- **Lenhina** (27%) – segundo componente estrutural mais importante das paredes celulares da cortiça, apresentando funções de suporte para os outros componentes estruturais na parede celular, ou seja, trata-se de um componente de ligação/união [9];
- **Polissacáridos** (12%) – componentes das paredes das células que ajudam a definir a textura da cortiça;
- **Taninos** (6%) – compostos polifenólicos responsáveis pela cor e proteção/conservação do material [11-p.13];

- **Ceróides** (6%) – compostos hidrofóbicos que repelem a água contribuindo para a impermeabilidade da cortiça [6-p.19];
- **Cinzas e outros componentes** (4%).

### 3 Aspetos ambientais e económicos

#### 3.1 Importância a nível ambiental

O valor ambiental, dos montados de sobro, está diretamente relacionado com o seu comportamento como barreira contra a desertificação, constituindo um grande aliado na preservação da fauna e flora selvagens, sendo um grande habitat para muitas espécies de plantas e animais, contribuindo por isso para uma maior conservação da biodiversidade.

Os montados de sobro acolhem 42 espécies de aves, incluindo algumas espécies raras e em vias de extinção, existindo ainda mais de uma centena de espécies de plantas (é de referir que em apenas 1m<sup>2</sup> de montado foram identificadas 60 espécies e em parcelas de 0,1 hectares foram registadas mais de 100 espécies de plantas) [4].

Outra referência aponta para a existência de 24 espécies de répteis anfíbios, 160 aves e 37 mamíferos, incluindo dentro destes algumas espécies raras e em vias de extinção, que encontram nos montados e bosques de sobro o seu habitat preferencial, como por exemplo o lince ibérico, felídeo mais ameaçado em todo o mundo.

“Numa reunião de especialistas foi anunciado que o montado de sobro está integrado num dos 34 “*hospot*” de biodiversidade a nível mundial, apresentando um número de espécies por m<sup>2</sup> superior ao da Amazónia” [23-p.137].

Para além da conservação da biodiversidade dos montados e bosques de sobro, estes são de igual modo importantes na conservação dos solos, na regulação hidrológica (ciclo da água) e na preservação do meio ambiente. Por ser uma árvore de grande longevidade e pelas suas capacidades de captação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) - gás com efeito de estufa - e armazenamento do carbono, o sobreiro torna-se numa árvore importante no combate às alterações climáticas, na diminuição do aquecimento global [2].

Estima-se que “os montados de sobreiro são responsáveis pelo sequestro de cerca de 5,7 ton CO<sub>2</sub>/ha/ano” [23-p.138].

A exploração do sobreiro com extração periódica da cortiça aumenta a produção desta em 250% e 400%, incrementando a fixação de carbono, pois parte do carbono armazenado pelo sobreiro dirige-se para o tronco da árvore, isto é, para a cortiça [2]. A cortiça encontra-se por isso não só relacionada com a conservação da biodiversidade mas também na preservação do meio ambiente, tendo ainda um importante papel a nível económico.

O consumo de produtos de cortiça acaba por ajudar à exploração dos sobreiros promovendo a formação de mais cortiça e conseqüentemente a captação de mais dióxido de carbono.

### **3.2 Importância social e económica**

A conservação da biodiversidade, a regulação do ciclo hidrológico, a proteção do solo, o sequestro do carbono, entre outros são considerados serviços ambientais que os ecossistemas (montados e bosques de sobreiro), prestam à sociedade, mas que cujo valor de mercado é difícil de estimar. Para além de serviços ambientais, os ecossistemas são capazes de conceder à sociedade serviços com valor direto no mercado, no caso dos montados temos por exemplo a lenha, a cortiça, entre outros [23].

A exploração dos montados, mais concretamente da cortiça, permite a criação/manutenção de um volume importante de emprego, nomeadamente em zonas carenciadas, garantindo milhares de postos de trabalhos diretos, como por exemplo na exploração florestal (operações de tirada, poda, entre outras) e nos trabalhos fabris (fabricação de produtos de cortiça ou à base de cortiça). Também são garantidos postos de

trabalho indiretos em áreas distintas como a restauração, turismo, entre outros, estando ainda ligado a outros rendimentos associados como a caça, os cogumelos e a pecuária [54; 2].

Economicamente a cortiça é um dos materiais naturais com maior importância a nível económico para Portugal, devido à sua percentagem de exportação que apresenta uma quota de mais de 64,7% do total mundial, fazendo de Portugal o líder mundial das exportações da cortiça. Em 2012, segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), as exportações de cortiça atingiram os 845,7 milhões de euros e 189,3 milhares de toneladas (Figura 7), refletindo deste modo a importância económica e social que o sobreiro e a cortiça trazem à sociedade portuguesa.

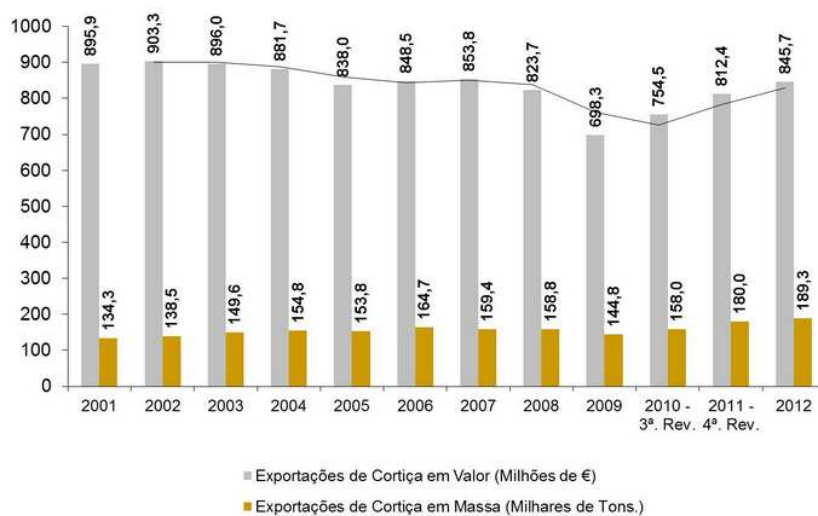


Figura 7 - Evolução das Exportações Portuguesas de Cortiça 2001-2012 [55]



#### **4 Cortiça na construção civil**

Em resposta às necessidades atuais quer de conforto quer de uma crescente preocupação ambiental, tem-se procurado cada vez mais, no sector da construção civil, o emprego de materiais mais amigos do ambiente. Como tal e em resposta a estas necessidades surge a cortiça como umas das matérias-primas de eleição, por ser um produto natural, amigo do ambiente, reciclável e reutilizável, o que tem chamado atenção nos últimos anos, dos mais variados intervenientes ligados ao sector da construção civil.

A cortiça é utilizada industrialmente no fabrico de diversos produtos, uma vez que é uma matéria-prima bastante versátil. Esta é capaz de se adaptar a diferentes processos tecnológicos de transformação e dar origem às mais variadas aplicações [16]. Com o intuito de maximizar o aproveitamento da cortiça como matéria-prima, o processo industrial inclui diferentes linhas de produção e produtos [1].

Um dos primeiros objetivos da transformação na indústria corticeira é a produção de objetos de cortiça natural, destacando-se as rolhas e os discos de cortiça natural.



Figura 8 - Rolhas de cortiça natural [10]

Quando a matéria-prima, cortiça, não apresenta as características apropriadas para tal, passa por um conjunto de processos como a trituração e a aglomeração originando produtos de aglomerados de cortiça de vários tipos, entre os quais se destacam, as rolhas de cortiça aglomerada na indústria rolheira e no sector da construção civil vários tipos de produtos, como por exemplo materiais de revestimento e de isolamento à base de granulados, aglomerados compostos e aglomerados expandidos [1].

Para além destas possibilidades, a cortiça em composição com outros materiais, pode originar novos produtos e conseqüentemente outras áreas de negócio.

No sector da construção civil, a cortiça virgem e a cortiça secundária correspondem ao tipo de cortiça mais utilizada para a elaboração e produção de materiais de construção, uma vez que, estes tipos de cortiça não apresentam ainda as propriedades adequadas à indústria rolheira. Também para o fabrico de materiais de construção, são utilizados, refugos, aparas, bocados e desperdícios de cortiça, provenientes de outras unidades industriais [16].

No desenvolvimento deste ponto vai-se descrever, os processos de transformação utilizados para o fabrico dos principais produtos de cortiça usados na construção civil e as respectivas aplicações. As descrições que se seguem, dos processos de transformação, tendem a caracterizar os métodos gerais de fabrico, uma vez que, os processos para a obtenção de um determinado produto de cortiça pode variar de fábrica para fábrica, variação esta que pode por vezes ser bastante acentuada [17].

#### **4.1 Grânulos de cortiça**

Para a obtenção deste tipo de material, podem ser utilizados vários tipos de cortiça, que conferem granulados de pior ou melhor qualidade.

Entende-se por granulados de pior qualidade, aqueles que são provenientes do processo de trituração da cortiça virgem de falca e de desperdícios de cortiça amadia com grande teor de costa. Este tipo de granulado é usualmente utilizado para o fabrico de aglomerados puros.

Os granulados de melhor qualidade, são aqueles que provêm da cortiça virgem de desbóia, da cortiça resultante da trituração dos subprodutos da produção de rolhas e discos, dos bocados e refugos da cortiça amadia. Este tipo de granulado é geralmente utilizado para a produção de aglomerados compostos [1-p.213].

##### **4.1.1 Processo de produção/fabricação**

O granulado ou triturado é a designação dada às partículas provenientes de um processo de granulação/trituração, sendo que o granulado corresponde às partículas com granulometria mais fina (menor dimensão) e o triturado às partículas de maior dimensão. Esta ação é realizada através de vários tipos de moinhos em função do material e do tipo de granulometria pretendida.

Em termos granulométricos, os grânulos apresentam diversas dimensões, situando-se no intervalo dos 0.25 mm a 22.4 mm, apresentando massa volúmica usualmente entre os 70-90kg/m<sup>3</sup> [16].

O material antes do processo de trituração é armazenado ao ar livre e/ou em recinto aberto e arejado, com o objetivo de que este fique o mais seco possível, para se obter um

maior rendimento e um melhor funcionamento dos moinhos utilizados no processo de trituração.

A fase de trituração geralmente é subdividida nos seguintes passos: [17-p.157-158]

*“\*Destroçamento - redução dos pedaços iniciais a pedaços mais pequenos por ação de moinhos de dentes ou de estrelas. As impurezas (terras, pedaços de madeira e de entrecasco) são separadas por crivos e mesas densimétricas (vibratórias). Obtêm-se pedaços de cortiça com alguns centímetros designados por “broken”.*

*\*Trituração - redução dos pedaços pequenos a grânulos, usualmente por moinhos de martelos e limpeza em crivos. Obtenção de pedaços de granulometria inferior à anterior.*

*\*Afinação de granulometria - realizada normalmente por moinho de facas, com recirculação após passagem por peneiros, obtendo-se grânulos com forma facejada (3-18 mm).*

*\*Limpeza - os pedaços de barriga ou costa ainda agregados aos grânulos são separados por fricção e abrasão em moinhos de pedras ou mós. A retenção e extração de partículas metálicas pode ser efetuada por passagem através de sistemas magnéticos.”*

Esta operação de trituração para além da obtenção de grânulos de cortiça dá também origem a uma grande quantidade de resíduo de pó de cortiça, isso é, a partículas de cortiça com dimensões inferiores a 0.25 mm, correspondente a cerca de 22% da massa inicial do material a granular, que é resgatado por sistemas de aspiração. O pó de cortiça resultante deste processo, como apresenta um elevado conteúdo energético, pode ser utilizado pela

própria indústria corticeira para produção de vapor e/ou energia, sendo um resíduo industrial com elevada importância em termos ecológicos, uma vez que pode ser reutilizado.

Posteriormente à trituração, faz-se uma limpeza dos grânulos, como referido anteriormente e de um modo geral efetua-se uma secagem por circulação forçada de ar quente, com o auxílio de secadores rotativos, que possibilita ao granulado obter o grau de humidade pretendido [6].

#### **4.1.2 Principais aplicações dos grânulos de cortiça**

Os grânulos e/ou os regranulados de cortiça têm as mais variadas aplicações no sector da construção civil. Estes podem ser empregues diretamente, isto é, como produto final ou podem ser utilizados como matéria-prima para a obtenção de um determinado aglomerado de cortiça com propriedades e características pretendidas [17].

Utilização direta: os grânulos e/ou regranulados de cortiça podem ser utilizados como isolamento térmico e acústico no preenchimento de espaços vazios, como no caso de paredes duplas ou sobre o teto do último piso.

Utilização como matéria-prima: podem ser utilizados para a fabricação de diversos tipos de aglomerados, na produção de argamassas com betão, conferindo aligeiramento do peso nos elementos de construção e no fabrico de peças/blocos de construção.

É de realçar que os regranulados provenientes do desperdício dos aglomerados puros expandidos, são utilizados principalmente no enchimento de paredes, tarraxos e coberturas, e podem também ser utilizados em misturas com betão [6-p.32].

## **4.2 Aglomerados**

De um modo geral, pode-se dividir os produtos de cortiça em dois grandes grupos: os *produtos de cortiça natural* e os *produtos de cortiça aglomerada*.

Os produtos de cortiça natural são constituídos exclusivamente por cortiça, sem qualquer transformação para além de operações de preparação, corte e acabamento. Incluem principalmente rolhas e discos [1-p.212].

Os produtos de cortiça aglomerada podem-se subdividir em *aglomerados puros* e em *aglomerados compostos*. Para a obtenção destes tipos de produtos é necessário que a matéria-prima, a cortiça, passe por um processo de trituração e dê origem a grânulos com uma granulometria e massa volúmica específica pré-determinada em função do tipo de produto pretendido, tornando-se na matéria-prima para a produção de aglomerados.

### **4.2.1 Aglomerados puros**

Os aglomerados puros, também designados por “aglomerados de cortiça expandida” ou mais habitualmente por “aglomerados negros de cortiça” em virtude da sua cor escura [14], provêm dos granulados resultantes de desperdícios de cortiça que não são geralmente processados nas restantes indústrias granuladoras/aglomeradoras. Também são resultantes da trituração da cortiça virgem, maioritariamente de falca, provenientes das operações de

poda e limpeza dos sobreiros [16-p.7]. A falca, tratando-se de cortiça virgem crua, possui um teor de extrativos superior ao dos restantes tipos de cortiça, funcionando como ligantes naturais, que são por sua vez essenciais para a aglutinação dos granulados [6]. Os desperdícios da cortiça amadia com grande teor de costa também são utilizados para a obtenção deste tipo de aglomerado.

#### **4.2.1.1 Processo de produção/fabricação**

A cortiça, através de um processo de trituração é transformada em grânulos, com granulometrias distintas. A dimensão final dos grânulos, para a constituição de aglomerado negro, vai depender do tipo de características pretendido a dar ao aglomerado, no caso de se pretender um aglomerado acústico os grânulos rondam entre os 3 a 10 mm, para aglomerados térmicos à volta dos 5 a 22 mm.

Depois de se determinar o tipo de granulometria pretendido e efetuar-se a trituração da cortiça, passa-se à limpeza de impurezas desta, eliminando principalmente o lenho e o entrecasco presente, com ajuda de separadores densimétricos (vibratórios), crivos e eventualmente separadores pneumáticos ou mantas rotativas. O granulado resultante da fase de limpeza é ensilado (armazenagem húmida) e seco, para que este possa adquirir o teor de humidade ideal.

Segue-se para a aglomeração dos grânulos por um sistema de autoclave, sendo este atualmente paralelepípedo [1]. O granulado ao ser descarregado para o interior da autoclave que funciona também como molde, depois do fecho do molde, os grânulos de cortiça vão ser comprimidos, tendo em consideração que o grau de compactação vai depender da densidade a que se pretende o produto final. A cortiça é cozida, por insuflação de vapor de água sobreaquecida a cerca de 300-370°C, que ao atravessar a

massa dos grânulos, provoca a sua dilatação e a “transpiração” da resina presente na cortiça (suberina) para a superfície dos grânulos. Deste modo, a suberina vai permitir sem qualquer tipo de aditivos estranhos, a aglutinação dos grânulos, sendo este que processo é bem-sucedido devido ao confinamento dos grânulos na autoclave [1]. Dependendo do teor de humidade inicial do granulado, o tempo de cozedura é de 17 a 30 minutos nos casos mais comuns [6-p.15].

Desta forma obtém-se um bloco de cortiça expandida, cortando-se em placas de diferentes espessuras, seguindo-se do acerto de dimensões e esquadria. Este tipo de aglomerado não permite fazer placas com menos de 1 cm espessura e também não permite a fabricação de formas curvilíneas através de moldes, só sendo possível aplicando a técnica do desgaste das arestas (ex. uma esfera pode ser feita a partir do desgaste das arestas de um cubo).

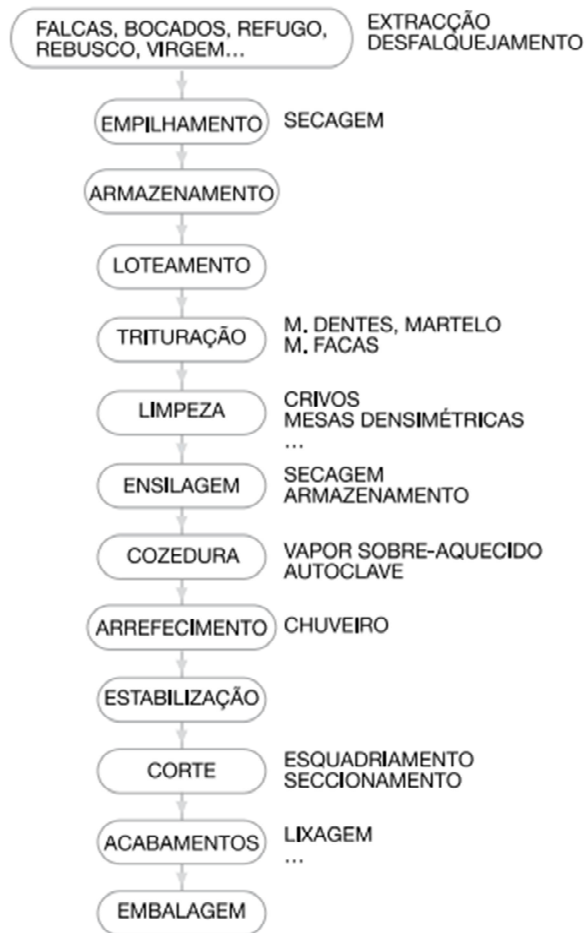


Figura 9 - Esquema simplificado da produção de aglomerado puro de cortiça [6]

#### 4.2.1.2 Produtos provenientes da fabricação dos aglomerados negros de cortiça

O aglomerado negro de cortiça é um produto que pode ser comercializado sob a forma de painéis de diversas dimensões e espessuras, tijolos, coquilhas e granulados, que são empregues principalmente para isolamento térmico, acústico e vibratório.

#### **4.2.1.2.1 Aglomerados expandidos térmicos**

No que diz respeito ao presente aglomerado, para a sua obtenção é utilizado grânulos de cortiça de qualidade inferior, maioritariamente granulados de falca, com granulometria na ordem dos 5-20 mm. A aglutinação dos grânulos faz-se num processo idêntico ao descrito anteriormente, por efeito de pressão e temperatura, em autoclaves, com vapor de água sobreaquecido.

A massa volúmica para este tipo de aglomerado encontra-se no intervalo de 100-140 kg/m<sup>3</sup> e o coeficiente de condutibilidade térmica na ordem dos 0,039-0,045 W/m.°C, pelo que apresenta características muito boas para a aplicação como isolante térmico na construção civil. A sua aplicação num edifício iria colaborar na proteção contra as amplitudes térmicas, reduzindo perdas de energia e condensação superficial de humidade nas paredes e tetos [14].

#### **4.2.1.2.2 Aglomerados expandidos acústicos**

O fabrico deste tipo de aglomerado é realizado de forma semelhante ao anterior, diferenciando na dimensão (granulometria) dos grânulos de cortiça, que para este tipo de aglomerado encontram-se na gama dos 5-10 mm. Os aglomerados expandidos acústicos de cortiça apresentam massa volúmica com valor inferior ou igual a 100 kg/m<sup>3</sup>.

Este tipo de aglomerado apresenta elevada capacidade na correção acústica por absorção acústica, também por redução do tempo de reverberação (“tempo que decorre entre o momento em que cessa uma fonte sonora e aquele em que já não é possível ouvi-la, isto é, até à eliminação dos ecos múltiplos” [1]) e ainda por diminuição ou redução sonora de transmissão de som por impacto.

Por apresentar estas características, o aglomerado negro acústico de cortiça é utilizado no sector da construção civil como material para correções e reduções sonoras, podendo ser aplicado em paredes ou pisos, garantindo a absorção de uma parte da energia total do som incidente e, conseqüentemente, diminuição do som refletido.

A cortiça é constituída por células fechadas sendo que estas não estão interligadas a aberturas exteriores, tornando a cortiça um fraco material de absorção sonora. “No entanto, o aglomerado negro de cortiça apresenta uma porosidade aberta entre os grânulos de cortiça sendo a fração em volume destes poros tanto maior quanto menor for a densidade do aglomerado. Esta característica melhora o coeficiente de absorção de energia sonora e mecânica, devido à dissipação de energia resultante da componente viscosa da deformação da cortiça” [14-p.13].

#### **4.2.1.2.3 Aglomerados expandidos vibratórios**

O seu fabrico é feito num processo idêntico aos anteriores, sendo no entanto sujeito a uma maior pressão no final. Devido a este acréscimo de pressão, a massa volúmica dos aglomerados negros vibratórios é maior, apresentando normalmente valores acima dos 170 kg/m<sup>3</sup>, sendo também a sua resistência mecânica superior. Os aglomerados negros vibratórios são capazes de suportar elasticamente cargas relativamente elevadas.

São utilizados com o objetivo de reduzir a energia transmitida através de um elemento estrutural, como é o caso de um edifício, quando a sua origem é a percussão (passos, queda de objetos, arrastamento de móveis, entre outros), como suporte/base de maquinaria, diminuindo a transmissão de vibrações originadas pelas máquinas à estrutura em que assentam, também podem ser usadas nas fundações de construção e juntas [17].

#### **4.2.1.3 Utilizações dos aglomerados puros de cortiça**

- Paredes exteriores (capoto);
- Paredes duplas;
- Coberturas planas e inclinadas;
- Lajeta flutuante (ruídos de impacto);
- Divisórias;
- Isolamento de portas;
- Casas pré-fabricadas em madeira;
- Painéis de madeira térmicos e acústicos;
- Juntas de expansão/dilatação (densidade adequada);
- Fachadas exteriores à vista.

#### **4.2.1.4 Características dos aglomerados puros de cortiça**

- Matéria-prima renovável e 100% natural;
- Durabilidade ilimitada, sem perda das suas características;
- Totalmente reciclável;
- Excelente estabilidade dimensional (mesmo quando sujeita a elevadas variações térmicas);
- Densidade: 110/120kgs/m<sup>3</sup>;

- Coeficiente de condutividade térmica 0.038/0.40W/mk;
- Baixo consumo energético (93% de cortiça, 7% de eletricidade).

#### **4.2.2 Aglomerados compostos**

Os aglomerados compostos de cortiça, também designados de aglomerados brancos, são produzidos com o objetivo de se assemelhar à cortiça natural, mas procurando a obtenção de formas geométricas de maior complexidade.

##### **4.2.2.1 Processo de produção/fabricação**

Para a fabricação dos aglomerados brancos de cortiça, é utilizado como matéria-prima, granulados provenientes da cortiça virgem de desbóia e aumentos, bocados e refugos da cortiça amadia e grânulos resultantes da trituração de subprodutos da produção de rolhas e discos, num caso geral, trata-se da utilização de granulados de melhor qualidade [1-p.213].

Este tipo de aglomerados resultam de um processo de aglutinação dos grânulos por ação conjunta da pressão, temperatura e um agente de aglutinação. A qualidade e granulometria do grânulo de cortiça, o agente de aglutinação e ainda os processos e condições de fabrico variam consoante o tipo de material pretendido, tendo em consideração as propriedades dos mais variados produtos e as respetivas aplicações [17-p.159].

Após recurso a doseamento automáticos ou manual para a obtenção de um produto específico com as respetivas características, a mistura de grânulos com o(s) aglutinante(s)

é usualmente efetuada a partir de um processo mecânico. Os misturadores mais usuais são tambores com pás em movimento, habitualmente helicoidais, que promovem a homogeneização e mistura dos grânulos com a cola.

Sabendo que existem os mais variados produtos de aglomerados brancos de cortiça, as suas características vão depender dos fins a que se destinam, variando em função da sua massa volúmica, habitualmente entre os 200 e 500 kg/m<sup>3</sup>, e do tipo de ligante utilizado [16]. Tem-se como exemplo, aglomerados compostos utilizados na decoração que apresentam massa volúmica entre 200-350 kg/m<sup>3</sup> e granulados de calibre fino-médio. Os aglomerados com fim ao revestimento de pisos, possuem uma massa volúmica que geralmente é superior a 450 kg/m<sup>3</sup> podendo atingir os 600 kg/m<sup>3</sup>. As juntas de dilatação que resultam de aglomerados compostos de cortiça, apresentam normalmente massa volúmica entre 250-350 kg/m<sup>3</sup> e são fabricadas com grânulos de calibre médio.

Para o fabrico de aglomerados compostos, os agentes de aglutinação de um modo geral são resinas sintéticas de poliuretano, fenólicas (fenol-formaldeído) e melamínicas, podendo por vezes recorrer-se a resinas de origem vegetal, existindo já ligantes à base de enzimas [3-p.668]. Por razões económicas a quantidade de aglutinante utilizado nos processos industriais é baixo, pelo que a fração de área superficial molhada pelo ligante determina a adesão final. A percentagem do volume de porosidade intergranular que é ocupada por adesivo e a força de adesão específica do aglutinante determina a eficiência da junção entre grânulos. A temperatura, o tempo de aquecimento e a viscosidades dos adesivos, são aspetos importantes a ter em conta no controlo da aglutinação dos grânulos de cortiça [17-p.159].

A produção de aglomerados brancos de cortiça é efetuada por prensagem em moldes, normalmente metálicos com forma paralelepípedica (é utilizado moldes com forma cilíndricas para a obtenção de rolos de cortiça). Após obtenção da mistura exata (grânulos com aglutinantes), esta é vazada para o molde de forma uniforme, a fim de garantir a uniformidade dos blocos produzidos, em seguida é submetida a prensagem, prensagem esta, realizada pela tampa do molde contra a mistura, que normalmente ocorre com o auxílio de prensas hidráulicas. Formados os respetivos blocos de aglomerados com as respetivas geometrias, estes serão cortados nas formas pretendidas [17].

A prensagem permite o contacto do adesivo com os grânulos de cortiça de forma mais eficaz, provocado pela diminuição do volume da mistura. O tempo em que se efetua a prensa varia consoante o tipo de densidade do aglomerado pretendido e das características que o aglutinante apresenta, como por exemplo a viscosidade [1].

Os moldes contendo a mistura prensada são aquecidos em estufas para facilitar a cura (polimerização) do adesivo, este processo pode ser realizado através de fornos de aquecimento ou sistemas de alta-frequência contínuos (túneis) ou descontínuos. Para o primeiro caso o processo é efetuado a temperaturas que rondam os 110-150°C, numa duração de 4 a 22 horas. No segundo caso, são utilizados moldes em fibra de vidro, com período de duração que pode chegar aos 3-4 minutos, sendo portanto um processo muito mais rápido. Existem casos em que a cura do adesivo é feita à temperatura ambiente [1-p.237].

Concluída a cura, efetua-se a desmoldagem, seguido do arrefecimento/estabilização ao ar livre ou ambiente climatizado, produzindo-se assim um bloco de aglomerado composto, com repouso até 30 dias [17-p.161]. Após a estabilização do bloco, este é cortado em lâminas e em placas com espessura e medidas convenientes. Em alguns casos, quando os

blocos apresentam grandes densidades, seguem ainda a quente para o corte, com objetivo de facilitar o respetivo processo.

No caso de moldes cilíndricos, o processo de corte/laminação é realizado aplicando rotação aos cilindros, que são “desenrolados” por laminagem contínua, dando origem a uma folha contínua que é ao mesmo tempo enrolada [1].

Um outro processo para a obtenção de folha única de cortiça, consiste também na mistura de grânulos de cortiça com um agente de aglutinação, tendo ambos as características físico-mecânicas pretendidas. A mistura resultante é depois distribuída num tapete rolante que passa por uma prensa de pratos aquecidos a uma temperatura de 120-180°C, dando origem a uma folha única com espessura desejada.

Após o corte, as folhas passam por um processo de lixagem, para acerto da espessura e para a obtenção da rugosidade pretendida. As lâminas já preparadas são cortadas na forma desejada, normalmente em ladrilhos com formato quadrangular ou retangular, submetidos em seguida ao acerto das dimensões e esquadria [6].

Com a obtenção das respetivas folhas é possível obter-se vários tipos de decorativos e revestimentos. A produção destes, pode ser efetuada por via de uma folha simples ou por via de sobreposição de folhas (tipo “sandwich”), folhas estas de aglomerados compostos de cortiça ou laminados de cortiça natural ou, ainda, por composição com outros materiais - madeiras, borrachas, entre outros. Formadas as placas as suas superfícies podem ter como acabamento final vernizes, cera, pintura ou cobertura com partículas, como por exemplo PVC.

No final e de modo a garantir-se a qualidade do produto, este é sujeito a uma inspeção, isto é, seleção manual/visual de possíveis defeitos que podem conter (cantos partidos, mau

envernizamento, entre outros). Passando por este processo segue para embalagem e seguidamente para armazenamento do produto [16-p.5].

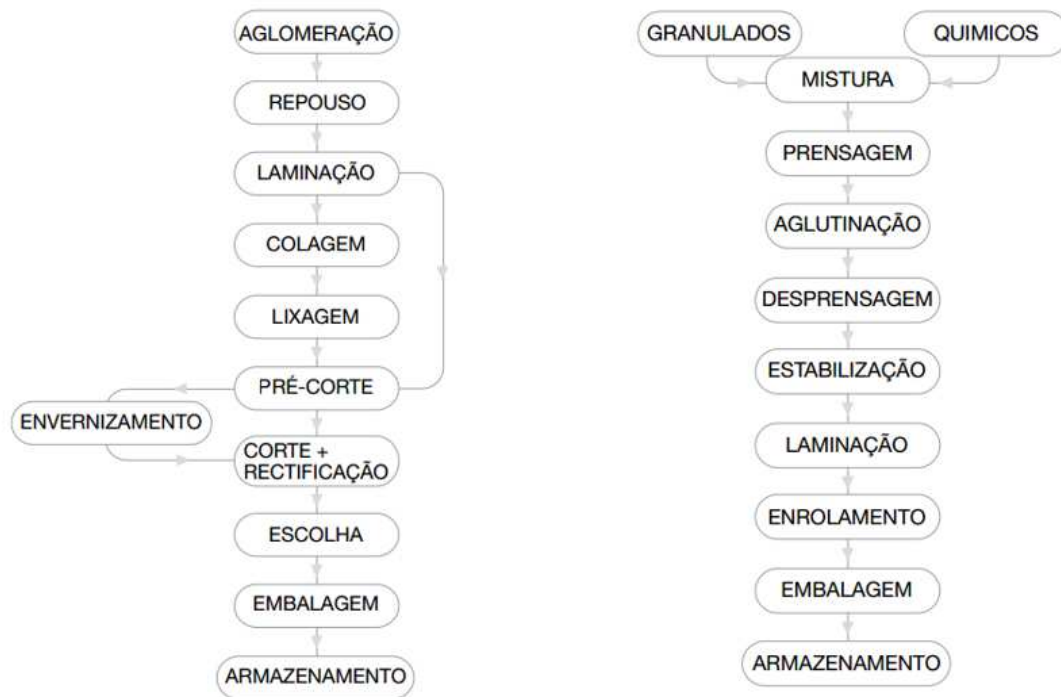


Figura 10 – Esquemas simplificados de produção de aglomerados compostos de cortiça: ladrilhos de cortiça (à esquerda) e rolos de cortiça (à direita) [6]

#### 4.2.2.2 Aplicações dos aglomerados compostos de cortiça

Os aglomerados brancos de cortiça podem ser subdivididos em vários tipos, sendo que as aplicações de maior importância dizem respeito aos revestimentos em pavimentos e paredes [17]:

##### **Revestimentos:**

Pavimentos: Os aglomerados compostos de cortiça para o revestimento de pavimentos apresentam habitualmente massa volúmica na ordem dos 450-600 kg/m<sup>3</sup> e são conhecidos comercialmente por “parquet”. Estes são produzidos

habitualmente sob a forma de ladrilhos de formato quadrangular ou retangular e podem ser revestidos por diversas películas como vernizes, ceras, plásticos, folhas de madeira, entre outros [1].

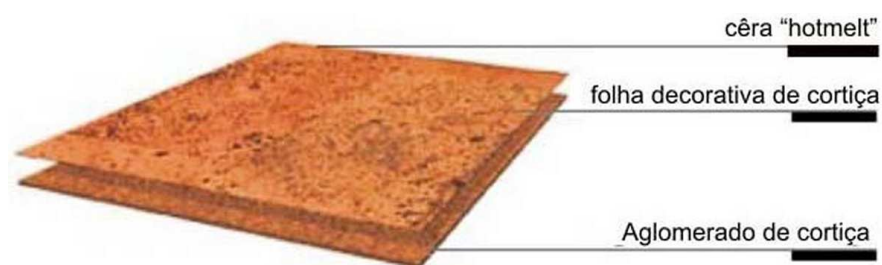


Figura 11 - Composição de um revestimento de aglomerado de cortiça [46]

Paredes: Os aglomerados compostos de cortiça para o revestimento de paredes são semelhantes aos aglomerados descritos anteriormente, mas usualmente produzidos com grânulos finos, possuindo massa volúmica na ordem dos 200-350 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.2.2.3 Outros aglomerados compostos

A cortiça é um material natural, que na combinação de outros materiais origina uma série de produtos devido à sua capacidade de integração. Para além da sua combinação com resina e cola, esta pode ser combinada com borracha, plástico, asfalto, caseína, gesso, betões e argamassas, que resultam em produtos que serão destinados a aplicações específicas, podendo estes, serem destinados à construção civil apontando para uma construção mais económica e ambiental mais sustentável [14].

#### **4.2.2.3.1 Aglomerado composto de cortiça com borracha**

Este tipo de aglomerado é comercialmente designado por “rubber cork” ou “cork rubber”. Resultam da mistura de grânulo de cortiça com borracha natural ou sintética (em pó ou em partículas pequenas), para além destes dois componentes, nas diferentes formulações, são também aplicados agentes de vulcanização que são responsáveis pela ligação da borracha-cortiça, através de uma reação química de vulcanização, antioxidantes, aceleradores de polimerização, corantes, entre outros aditivos [17-p.166].

O modo de produção deste tipo de aglomerado resulta numa homogeneização, compressão e aquecimento da mistura pretendida com o auxílio de misturadores cilíndricos de rotação, de modo a obter-se uma pasta, que é prensada e passada repetidas vezes em calandra, com a finalidade de se formar uma massa homogénea. Esta massa pode ser cortada em placas ou colocadas em moldes, prensada e curada de igual modo que os aglomerados compostos de cortiça com resinas sintéticas ou naturais, resultando em blocos de aglomerados compostos de cortiça-borracha que à posteriori serão cortados/seccionados nas dimensões desejadas.

Os produtos resultantes deste tipo de aglomerado, apresentam massas volúmicas muito distintas que podem variar entre os 250 a 1000 kg/m<sup>3</sup>. Estes tipos de aglomerados combinam as propriedades da cortiça, resistência mecânica e estabilidade dimensional, à resiliência da borracha, resultando num produto flexível, elástico e sólido, com vasta compatibilidade com líquidos, distorção mínima à compressão, redução de vibrações e capacidade de recuperação [11-p.18].

#### **4.2.2.3.1.1 Aplicações dos aglomerados compostos de cortiça com borracha**

Os aglomerados compostos de cortiça com borracha devido às suas elevadas capacidades resistentes são utilizados na indústria em geral (construção civil, indústria automóvel, naval, eletromecânica, entre outras). Estes são aplicados mais concretamente em juntas, revestimentos de pavimentos principalmente para locais com grande intensidade de tráfego (transportes públicos, locais públicos e industriais) e para o isolamento vibratório [17].

#### **4.2.2.3.1.2 Painéis de piso flutuante com aglomerado folheado de cortiça**

Os pavimentos flutuantes são, na sua generalidade, formados na sua camada intermédia por aglomerados de fibras de madeira de média ou alta densidade (MDF ou HDF), que por sua vez é revestida na parte superior e inferior por uma lâmina de aglomerado de cortiça, originando um conjunto tipo “sandwich”. A folha de aglomerado de cortiça, que cobre a parte superior do “núcleo” do painel flutuante, apresenta importantes características decorativas e de resistência, isto é, confere ao piso flutuante um melhor conforto a nível visual e devido à sua maior exposição ao desgaste apresenta propriedades de alta densidade, tornando-a mais resistente.

A união de todas estas camadas é feita através de um processo de colagem, distribuindo um agente de aglutinação nos dois lados da camada intermédia, aplicando os aglomerados de cortiça na sua parte inferior e superior. Para uma melhor união, o painel tipo “sandwich” é prensado, podendo ser com auxílio de prensas de pratos aquecidos ou a frio.

Depois de ser efetuar o corte dos painéis nas dimensões pretendidas, as suas arestas são fresadas com vista a obtenção de um sistema de encaixe, que pode ser do tipo macho-fêmea ou do tipo “clique” encaixe mecânico [6].

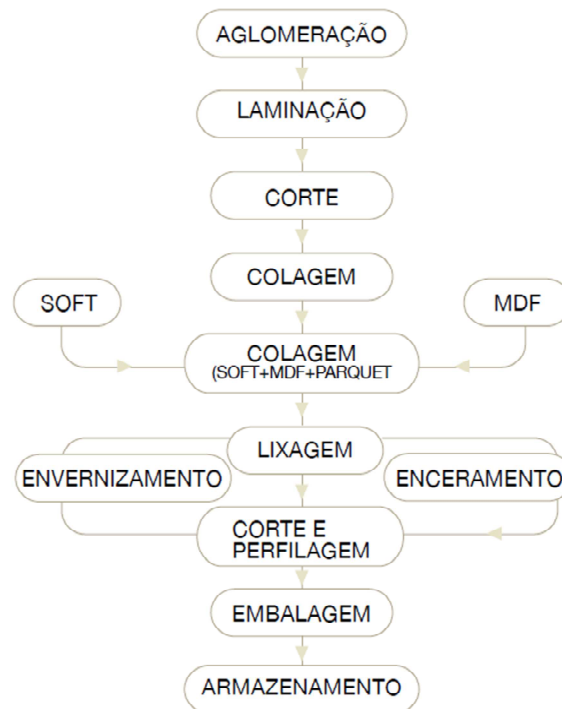


Figura 12 - Esquema simplificado de produção de piso flutuante com folha de aglomerado de cortiça [6]

### **4.3 Produtos de cortiça e respetivas características físico-mecânicas**

A maior parte dos produtos de cortiça existentes no mercado, derivam dos principais tipo de aglomerados:

- Aglomerados puros expandidos (aglomerados negros);
- Aglomerados compostos;

Estes como visto anteriormente, diferem no modo de produção e apresentam distintas funções/aplicações. Podem também em combinação com outros tipos de materiais gerar novos produtos e aplicações, originando soluções mais amigas do ambiente.

Com vista a uma melhor perceção da aplicação da cortiça nos mais variados sectores, são a seguir enumerados alguns desses produtos [17]:

- Vedação - rolhas para bebidas alcoólicas, discos para tampas de bebidas e medicamentos, etc.;
- Artefactos - artigos de artesanato, peças decorativas, etc.;
- Fins industriais - antivibráticos para maquinaria, pisos industriais, queima do pó de cortiça para a produção de energia, etc.;
- Indústria automóvel - juntas de cabeça do motor; pisos de transporte públicos, etc.;
- Desporto - bases para volantes de badmingtons, apitos, alvos para setas, etc.;
- Ambiente - recolha de petróleo derramado;
- Outros - aeronáutica espacial e militar, etc.;
- Construção civil - isolamentos (térmicos, acústicos e vibráticos), tetos falsos, revestimento (paredes, pisos e tetos), rodapés, linóleos, granulados para

enchimento de espaços e misturas com argamassas, juntas isolantes e de dilatação ou compressão.

Visto que, a cortiça é um material que pode ser empregue nos mais variados campos de utilização, vai-se apenas salientar neste ponto, os produtos de cortiça que são mais correntes na construção civil. As descrições que se seguem dizem respeito às propriedades físico-mecânicas presentes nos diferentes produtos de cortiça, tendo em consideração o seu tipo de utilização.

#### **4.3.1 Isolante térmico**

Com o isolamento térmico pretende-se que haja uma redução de trocas de calor entre o ambiente interior e exterior da edificação, aumentando a resistência térmica da envolvente do edifício, por forma a haver uma redução de necessidades de aquecimento e arrefecimento, assim como risco de condensações [19].

Em síntese as trocas de calor podem surgir por:

##### Condução:

“A transmissão de calor por condução de um material dá-se por transferência entre moléculas desse material, sem ocorrência de deslocamentos moleculares. É o modo de transferência característico da matéria sólida, embora também ocorra em líquidos e em gases, e entre diferentes estados (sólido-gasoso; líquido-gasoso, etc.)” [18-p.1].

Convecção:

“ A convecção natural ocorre nos fluidos (gases e líquidos), e traduz-se pelo movimento de massa desse fluido em resultado da ação combinada de diferença da temperatura no seu seio (que provocam variações de densidade do fluido) e da força da gravidade” [18-p.2].

Radiação:

“Todas as matérias (sólidas, líquidas e gasosas) emitem calor por radiação, cuja intensidade depende da temperatura absoluta e características emissivas.

A radiação térmica emitida não necessita de um suporte físico para se transmitir (pode, portanto, transmitir-se no vácuo), mas pode ser parcial ou totalmente absorvida, refletida ou transmitida pelos elementos sobre os quais incide.” [18-p.5].

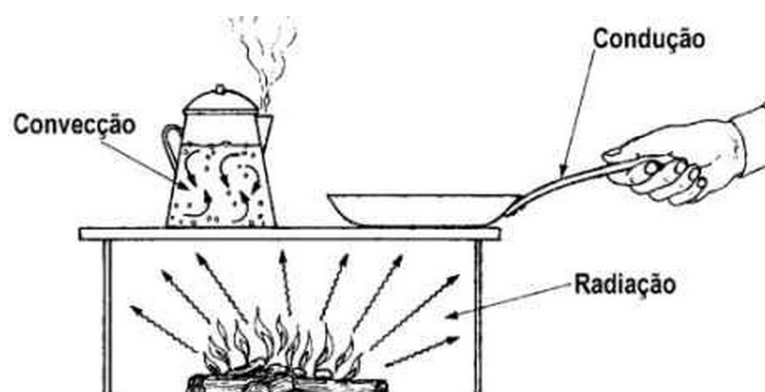


Figura 13 - Mecanismos de propagação de calor [47]

No caso de se verificar a existência de transferência de massa (água) no elemento ou o espaço considerado, podem também registrar-se transferências de calor por: **evaporação, condensação e movimentos da humidade.**

Na construção, as trocas de calor mais comuns nos edifícios são resultantes da transferência de calor por condução, cuja intensidade varia segundo a condutibilidade térmica dos materiais utilizados e da espessura do elemento da envolvente [4-p.30]. A presença de humidade no interior dos materiais de construção, inclusive nos isolantes térmicos, leva a um aumento de transferência de calor por condução, pois a humidade confere maior condutibilidade térmica.

**“Isolante térmico** é um produto em que a relação, resistência térmica/espessura é significativamente superior à que pode ser obtida com os materiais de construção correntes, como por exemplo: o betão, a pedra, o vidro e o material cerâmico” [18-p.24].

Segundo o *ponto ii) do anexo II do Artigo 18º do Decreto-Lei n.º 80/2006*: “*Isolante térmico - é o material de condutibilidade térmica inferior a 0,065 W/m.ºC, e cuja resistência térmica é superior a 0,30 m².ºC/W.*”

Um bom isolante térmico é determinado pelo baixo valor do coeficiente de condutibilidade térmica ( $\lambda$  - W/m.ºC), não absorção de humidade, resistência mecânica adequada à utilização, fácil trabalhabilidade, não ser atacado por roedores, peso específico relativamente baixo, de modo a minimizar o aumento de cargas que possam obrigar ao

reforço de toda a estrutura da edificação. Tem-se em conta ainda, a resistência do isolante térmico à ação de altas temperaturas (boa resistência ao fogo), ausência de odor e o preço.

É de salientar que os isolantes térmicos podem ser classificados quanto à sua natureza, estrutura, modo de produção e apresentação [19]:

- Natureza – mineral, vegetal ou sintética;
- Estrutura – fibrosa, celular ou mista;
- Modo de produção – pré-fabricados ou formados “*in situ*”;
- Apresentação – rígidos, semirrígidos ou granulares.

Na tabela que se segue, expõe alguns isolantes térmicos com a seguinte classificação.

Tabela 2 - Classificação de alguns isolantes térmicos [19-p.40]

<i>Produto</i>	<i>Natureza</i>	<i>Estrutura</i>	<i>Produção</i>
<b><i>Lã rocha</i></b>	Mineral	Fibrosa	Placas; Mantas
<b><i>Lã vidro</i></b>	Mineral	Fibrosa	Placas; Mantas
<b><i>Vidro celular</i></b>	Mineral	Celular	Placas
<b><i>Aglomerado negro de cortiça</i></b>	Vegetal	Celular	Placas; Granel
<b><i>Fibra de coco</i></b>	Vegetal	Celular	Placas; Mantas
<b><i>Poliestireno expandido</i></b>	Sintético	Celular	Placas
<b><i>Poliestireno extrudido</i></b>	Sintético	Celular	Placas
<b><i>Poliuretano</i></b>	Sintético	Celular	“ <i>In situ</i> ”

Segundo a classificação apresentada na tabela anterior é de realçar que o aglomerado negro de cortiça, material em estudo, é identificado como sendo um material vegetal com estrutura celular e que pode ser produzido em placas ou em granulados. Para além desta classificação o aglomerado térmico expandido de cortiça é definido pelas seguintes características médias, expostas na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores médios do aglomerado expandido de cortiça, como isolante térmico [6-pág.23]

<i>Massa Volúmica (<math>\rho</math>)</i>	100-140 kg/m <sup>3</sup>
<i>Coefficiente de condutividade térmica (<math>\theta_m = 23^\circ\text{C}</math>)</i>	0.039-0.045 W/m. $^\circ\text{C}$
<i>Calor específico (a <math>20^\circ\text{C}</math>)</i>	1.7-1.8 kJ/kg. $^\circ\text{C}$
<i>Coefficiente de expansão térmica (<math>20^\circ\text{C}</math>)</i>	$25-50 \times 10^{-6}$
<i>Pressão máxima em condições elásticas</i>	50 kPa
<i>Módulo de elasticidade (compressão)</i>	19-28 daN/cm <sup>2</sup>
<i>Difusidade térmica</i>	$0.18-0.20 \times 10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s
<i>Coefficiente de Poisson</i>	0-0.02
<i>Permeabilidade ao vapor de água</i>	0.002-0.006 g/m.h.mmHg
<i>Tensão de rotura à flexão</i>	1.4-2.0 daN/cm <sup>2</sup>
<i>Tensão de rotura à tração transversal</i>	0.6-0.9 daN/cm <sup>2</sup>
<i>Tensão de rotura à tração longitudinal</i>	0.5-0.8 daN/cm <sup>2</sup>
<i>Variação dimensional <math>23-32^\circ\text{C}</math>, 50-90% HR</i>	0.3%
<i>Oxigénio index</i>	26%
<i>Tensão deformação a 10% (compressão)</i>	1.5-1.8 daN/cm <sup>2</sup>
<i>Deformação sob temperatura (<math>80^\circ\text{C}</math>)</i>	1.4 a 2.4% (espessura)

As temperaturas limites de utilização do aglomerado expandido de cortiça, segundo diversos fabricantes, encontram-se na gama dos -180 °C até aos +140 °C, valores estes que ultrapassam a gama de valores encontrados na aplicação em edifícios (-20 °C a 90 °C) [23-p.136]. A sua aplicação, nas condições extremas referidas anteriormente, pode ser feita sem que haja risco de degradação, deformação ou modificações irreversíveis das suas características, mesmo depois décadas de utilização. Um exemplo deste tipo de acontecimento, aquando de altas temperaturas, é o facto do aglomerado expandido de cortiça conseguir suportar sem danos a aplicação de betumes em fusão (usados na colagem e impermeabilização de coberturas em terraços), sendo isto possível devido à sua constituição [6-p.25].

Num caso de aplicação a frio, temos o caso de câmaras frigoríficas, sendo que a temperatura a manter no interior destas varia consoante a espessura do aglomerado expandido empregue. Habitualmente para estes casos são tidos em conta os valores apresentados na tabela seguinte.

Tabela 4 - Espessura do aglomerado expandido em função da temperatura a manter no interior do sistema isolado [6]

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Espessura (cm)</i>
<b>-40 a -25</b>	25-30
<b>-25 a -18</b>	20
<b>-18 a -10</b>	17,5
<b>-10 a -4</b>	15,0
<b>-4 a +2</b>	12,5
<b>+2 a +16</b>	10,0
<b>+16 a +20</b>	7,5
<b>+20</b>	5,0

#### 4.3.1.1 Comparação térmica entre o aglomerado negro de cortiça e os principais isolantes térmicos existentes no sector da construção

Com o intuito de se fazer uma análise comparativa entre o aglomerado negro de cortiça (térmico) e os isolantes térmicos concorrentes existentes no sector da construção, são expostos no decorrer deste ponto, algumas tabelas com as principais características de um isolante térmico. As tabelas que a seguir se apresentam dizem respeito:

- Condutibilidade Térmica -  $\lambda$  [W/m. °C ]
- Coeficiente de Transmissão Térmica - U [W/m<sup>2</sup>.°C]
- Temperatura máxima de utilização [°C]

- **Condutibilidade Térmica -  $\lambda$  [W/m. °C]**

Segundo o ponto *j*) do *anexo II* do Decreto-Lei n-º 80/2006, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), “ «*Condutibilidade térmica*» é uma propriedade térmica típica de um material homogéneo que é igual à quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma camada de espessura e de área unitária desse material por unidade de diferença de temperatura entre as suas duas faces”.

Na Tabela 5, são apresentados alguns dos materiais utilizados como isolantes térmicos na construção, inclusive o aglomerado negro de cortiça, com as respetivas densidades ( $\rho$ ) e condutibilidades térmicas ( $\lambda$ ).

Tabela 5 - Valores de Densidade e Condutibilidade Térmica ( $\lambda$ ) de alguns materiais de isolamento térmico [18]

<i>Material</i>		Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Condutibilidade Térmica - $\lambda$ (W/m.°C)
<i>Aglomerado negro de cortiça</i>		100-150	0.039
<i>Espuma elastomérica</i>		60	0.034
<i>Lã Rocha</i>	Tipo I	30-50	0.042
	Tipo II	51-70	0.040
	Tipo III	71-90	0.038
	Tipo IV	91-120	0.038
	Tipo V	121-150	0.038
<i>Lã Vidro</i>	Tipo I	10-180	0.044
	Tipo II	19-30	0.037
	Tipo III	31-45	0.034
	Tipo IV	46-65	0.033
	Tipo V	66-90	0.033
	Tipo VI	91	0.036
<i>Perlite expandida</i>		130	0.047
<i>Poliestireno expandido moldado (EPS)</i>	Tipo I	10	0.057
	Tipo II	12	0.044
	Tipo III	15	0.037
	Tipo IV	20	0.034
	Tipo V	25	0.033
<i>Poliestireno expandido extrudado (XPS)</i>		33	0.033
<i>Poliétileno reticulado</i>		30	0.038
<i>Poliuretano, espuma de (moldado)</i>	Tipo I	32	0.023
	Tipo II	35	0.023
	Tipo III	40	0.023
	Tipo IV	80	0.040
<i>Poliuretano, espuma de (projetado)</i>	Tipo I	35	0.023
	Tipo II	40	0.023
<i>Vermiculite expandida</i>		120	0.035
<i>Vidro celular</i>		160	0.044

Analisando a Tabela 5, pode-se à partida concluir que o aglomerado negro de cortiça não é de entre todos os isolantes térmicos expostos o que apresenta melhores características térmicas, visto que, existem isolantes térmicos na presente tabela que possuem condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) com valores mais baixos que os apresentados pelo aglomerado

negro de cortiça. Por exemplo o poliestireno expandido extrudido (XPS) ou do mesmo modo o poliestireno expandido moldado (ESP), comportam-se termicamente melhor a quando da sua aplicação, conduzindo a um coeficiente de transmissão térmica de um elemento da envolvente (U) mais baixo.

No entanto, também se pode observar na Tabela 5 que o aglomerado negro de cortiça não está entre os piores isolantes térmicos, havendo por exemplo o vidro celular, que aquando da sua comparação em termos de condutibilidade térmica, apresenta valores superiores ao do aglomerado negro de cortiça.

- **Coeficiente de Transmissão Térmica - U [W/m<sup>2</sup>.°C]**

Segundo o ponto *h)* do *anexo II* do Decreto-Lei n.º 80/2006, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), “ «Coeficiente *de transmissão térmica de um elemento da envolvente*» é a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa”.

Com o intuito de se verificar analiticamente, a partir de cálculos, as conclusões expostas anteriormente, será de seguida atribuída para uma mesma parede exterior, tipos diferentes de isolamentos térmicos, fazendo-se em seguida, uma análise comparativa dos resultados do cálculo do coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente – U (W/m<sup>2</sup>.°C).

Para a realização do cálculo do coeficiente U (W/m<sup>2</sup>.°C), serão necessários as resistências térmicas superficiais ( $R_{se}$  e  $R_{si}$ ), os valores da condutibilidade térmica dos diferentes materiais ( $\lambda$ ) com as respetivas espessuras, dando origem às resistências térmicas ( $R_t$ ) dos

mesmos, que resultam da razão entre a espessura do material e a respetiva condutibilidade térmica.

Os valores que dizem respeito às condutibilidades térmicas dos materiais e às resistências térmicas superficiais serão retirados a partir da Tabela 5 e do ITE-50.

### Cálculo analítico

Vai-se considerar para a presente análise, parede de separação entre uma habitação e o exterior, em que o isolamento térmico é alterado entre o poliestireno expandido extrudido (XPS) – principal material utilizado como isolamento neste tipo de parede exterior - e o aglomerado negro de cortiça.

#### Solução de alvenaria adotada contendo XPS

- a) Alvenaria tijolo furado de 15cm com reboco de 20 mm;
- b) Poliestireno expandido extrudido (XPS) com 30mm de espessura;
- c) Caixa-de-ar com 20mm;
- d) Alvenaria tijolo furado de 11cm com reboco de 20mm.

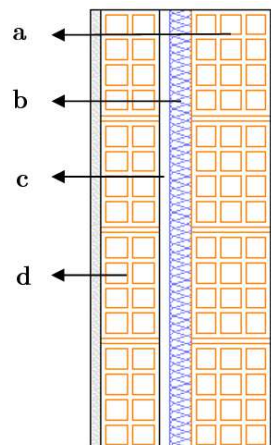


Tabela 6 - Valores de condutibilidade térmica e resistência térmica dos diferentes constituintes de parede exterior em estudo (com XPS)

<i>Constituintes da alvenaria</i>		Condutibilidade Térmica - $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência térmica - $R_t$ (m.°C /W)	Referências
<i>Material</i>	<b>Espessura (cm)</b>			
<i>Reboco em ambos os lados da parede</i>	2	1,3	-	ITE-50 (Quadro I.2), LNEC
<i>Alvenaria tijolo furado de 15</i>	15	-	0,39	ITE-50 (Quadro I.5), LENC
<i>Caixa-de-ar</i>	2	-	0,17	ITE-50 (Quadro I.4), LNEC
<i>Poliestireno expandido extrudido (XPS)</i>	3	0,033	-	Tabela 5
<i>Alvenaria tijolo furado de 11</i>	11	-	0,27	ITE-50 (Quadro I.5), LNEC

Pelo ITE-50 no Quadro I.3, retiram-se os valores da resistência térmica superficial exteriores e interiores para paredes, apresentando os seguintes valores:

- Resistência térmica superficial exterior:  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$
- Resistência térmica superficial interior:  $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$

- Cálculo da resistência térmica ( $R_t$ ) da parede exterior em estudo:

$$R_t = R_{se} + 2 \times \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_t \text{ alvenaria15} + R_t \text{ c. ar} + \frac{e_{XPS}}{\lambda_{XPS}} + R_t \text{ alvenaria11} + R_{si}$$

$$R_t = 0,04 + 2 \times \frac{0,02}{1,3} + 0,39 + 0,17 + \frac{0,03}{0,033} + 0,27 + 0,13 = 1,93986 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

- Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente U.

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{1,93986} = 0,516 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Solução de alvenaria adotada contendo Aglomerado Negro de Cortiça

- a) Alvenaria tijolo furado de 15cm com reboco de 20mm;
- b) Aglomerado negro de cortiça (100-150 kg/m<sup>3</sup>) com 30mm de espessura;
- c) Caixa-de-ar com 20mm;
- d) Alvenaria tijolo furado de 11cm com reboco de 20mm.

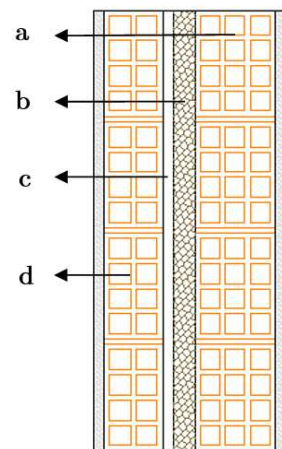


Tabela 7 - Valores de condutibilidade térmica e resistência térmica dos diferentes constituintes de parede exterior em estudo (com Aglomerado Negro de Cortiça)

<i>Constituintes da alvenaria</i>		Condutibilidade Térmica - $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência térmica - $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C /W)	Referências
<i>Material</i>	<b>Espessura (cm)</b>			
<i>Reboco em ambos os lados da parede</i>	2	1,3	-	ITE-50 (Quadro I.2), LNEC
<i>Alvenaria tijolo furado de 15</i>	15	-	0,39	ITE-50 (Quadro I.5), LNEC
<i>Caixa-de-ar</i>	2	-	0,17	ITE-50 (Quadro I.4), LNEC
<i>Aglomerado negro de cortiça (100-150 kg/m<sup>3</sup>)</i>	3	0,039	-	Tabela 5
<i>Alvenaria tijolo furado de 11</i>	11	-	0,27	ITE-50 (Quadro I.5), LNEC

De igual modo:

Resistência térmica superficial exterior:  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$

- Resistência térmica superficial interior:  $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$

- Cálculo da resistência térmica ( $R_t$ ) da parede exterior em estudo:

$$R_t = R_{se} + 2 \times \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_t \text{ alvenaria15} + R_t \text{ c. ar} + \frac{e_{aglomerado negro cortiça}}{\lambda_{XPS}} + R_t \text{ alvenaria11} + R_{si}$$

$$R_t = 0,04 + 2 \times \frac{0,02}{1,3} + 0,39 + 0,17 + \frac{0,03}{0,039} + 0,27 + 0,13 = 1,80000 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

- Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente U.

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{1,80000} = 0,556 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Com vista a uma melhor perceção dos resultados obtidos na presente análise, na Tabela 8, estão expostos de forma resumida, os respetivos resultados que cada material isolante apresenta para uma mesma constituição de parede.

Tabela 8 - Tabela resumo da análise realizada com os respetivos valores dos coeficientes de transmissão térmica

<i>Solução de alvenaria adotada contendo</i>	<b>Coeficiente de transmissão térmica (U)</b>
<i>Poliestireno expandido extrudido (XPS)</i>	U = 0,516 W/m <sup>2</sup> .°C
<i>Aglomerado Negro de Cortiça</i>	U = 0,556 W/m <sup>2</sup> .°C

Observando os resultados obtidos através da Tabela 8, pode-se verificar o que se constatou anteriormente, isto é, que o aglomerado negro de cortiça, quando em comparação com o poliestireno expandido extrudido (XPS) - concorrente direto neste tipo de isolamento de parede exterior - não apresenta melhor comportamento térmico, levando o coeficiente de transmissão térmica (U) da parede com cortiça em estudo, a atingir um nível ligeiramente mais alto do que o apresentado pelo XPS.

### **4.3.2 Isolante acústico**

De forma sucinta, o isolamento acústico é caracterizado por três tipos de isolamento distintos, sendo eles: a correção acústica; o isolamento de ruídos aéreos e o isolamento de ruídos de percussão [40].

A propagação de ruídos aéreos e a transmissão de ruídos de percussão, são dois tipos de ruídos que requerem redução acústica para a obtenção de um ambiente mais agradável e cumpridor da regulamentação aplicável.

- Correção acústica

A correção acústica consiste num tratamento de um espaço fechado, com vista à obtenção de características acústicas ideais, reduzindo o nível sonoro, em dB (decibéis), de um determinado ambiente, reduzindo ainda o seu tempo de reverberação, para uma melhor definição, clareza e inteligibilidade do som (palavras) [40].

- Isolamento de Ruídos aéreos

Entende-se como ruídos aéreos, os sons transmitidos fundamentalmente através do ar (música, vozes, televisão, circulação rodoviária, entre outros). Com o isolamento de ruídos aéreos, pretende-se que haja redução de transmissão deste tipo de ruídos que podem ser provenientes do exterior ou do interior do edifício/habitação, propagando-se pela estrutura deste (paredes, pavimentos, coberturas, portas e janelas) [40].

- Isolamento de ruídos de percussão

Os ruídos de percussão têm origem numa ação de choque (passos, queda de objetos, entre outros) exercida diretamente sobre um elemento construtivo ou de compartimentação, que se podem propagar a distâncias consideravelmente grandes ao longo da extensão do

edifício. A propagação dos sons de percussão ao longo do edifício (transmissões marginais), no decorrer de toda a sua malha definidora de espaços de utilização, resulta da rigidez das ligações existentes na constituição deste (vigas-pilares; pavimentos-paredes; entre outros). Uma vez que se está perante um ruído que se poderá propagar a grandes distâncias da sua origem, o ruído de percussão, torna-se mais incómodo quando em comparação com os ruídos aéreos.

Para os isolantes acústicos são requeridas as seguintes propriedades: coeficiente de absorção adequado, durabilidade, boa resistência ao fogo, peso, aparência, método de aplicação e o custo. O aglomerado expandido de cortiça (acústico) é um material que consegue corresponder à generalidade destes requisitos, sendo deste modo considerado um bom isolante acústico [6].

#### **4.3.2.1 Cortiça como isolamento acústico**

No campo da acústica, a cortiça pode ser utilizada nos três tipos de isolamento acústicos, isto é, pode ser empregue como isolante na correção acústica, no isolamento de ruídos aéreos e no isolamento de ruídos de percussão.

A principal área da acústica, onde a cortiça ganha vantagem significativa face a outros materiais é no isolamento de ruídos de percussão, uma vez que, é um material resiliente, torna-se num material ideal para separar elementos de construção (elementos construtivos ou de compartimentação), a fim de evitar ligações rígidas, havendo um “corte” efetivo da transmissão de vibrações (transmissões marginais).

A nível do isolamento de ruídos aéreos, a utilização da cortiça destaca-se no caso de ser utilizada como revestimento de parede interior ou exterior, com face à vista. Uma vez que se trata de um material nobre pode ser utilizado como decoração (revestimento de paredes), garantindo ao mesmo tempo o isolamento acústico a sons aéreos. O aglomerado expandido de cortiça (acústico) conduz a uma melhoria as condições acústicas a sons aéreos, devido, em grande parte, à presença na sua superfície de muitos orifícios resultantes da aglutinação dos grânulos de cortiça na obtenção deste.

A Tabela 9 apresenta algumas das características médias que um aglomerado expandido acústico de cortiça pode apresentar.

Tabela 9 - Características médias do aglomerado expandido de cortiça (acústico) [6]

<i>Massa Volúmica</i>	$\leq 100\text{kg/m}^3$
<i>Coefficiente de absorção acústica (500-1500 c/s)</i>	0.33-0.8
<i>Coefficiente de condutividade térmica (<math>\theta_m = 23^\circ\text{C}</math>)</i>	0.037-0.042 W/m. $^\circ\text{C}$
<i>Tensão de rotura à flexão</i>	1.4-1.6 daN/cm $^2$
<i>Permeabilidade ao vapor de água</i>	0.004-0.010 g/m.h.mmHg
<i>Tensão de rotura à tração longitudinal</i>	0.3 daN/cm $^2$
<i>Absorção de água (imersão)</i>	9.2 %
<i>(capilaridade)</i>	1.9 %
<i>Varição dimensional 32-66°C, 90-0% HR</i>	0.4%

Analisando a Tabela 9, verifica-se que para além deste tipo de aglomerado de cortiça ser produzido para melhorias acústicas, apresenta também boas características térmicas, incrementando, na área onde este é aplicado, um acréscimo na sua qualidade térmica.

Embora existam modelos de cálculos para a obtenção de uma estimativa de valor de projeto, tanto para o isolamento sonoro a sons aéreos ( $D_{nT}$ ), como para o isolamento sonoro a sons de percussão ( $L'_{nT}$ ), estes modelos requerem informação relativa ao índice de redução sonora ( $R_w$ ), que corresponde ao índice do som transportado pelo ar (sons aéreos).

$$D_{nT} = R + 10 \times \log\left(\frac{0,16 \times V}{T_0 \times S}\right) - TM$$

$$L'_{nT,w} = L_{n,w} - 10 \times \log\left(\frac{0,16 \times V}{A_0 \times T_0}\right) + TM$$

O índice  $R_w$ , expresso em débeis (dB), é determinado pela Lei das Massas, método este que consiste na obtenção do índice de redução sonora de elementos de compartimentação homogénea, simples, em função da sua massa superficial. No entanto, ao  $R_w$  do elemento constituinte, é incrementado um valor de redução acústica (em dB), que não é de um modo geral divulgada pelos fornecedores, pelo que a análise, por métodos de cálculo, do comportamento acústico do aglomerado negro de cortiça face a outros materiais convencionais, torna-se muito difícil ou até mesmo impossível.

Para esta análise comparativa, o ideal seria a medição em laboratório, da redução acústica de um mesmo elemento, de parede e/ou pavimento, alterando apenas o isolante acústico deste, de forma a garantir as mesmas condições, para cada elemento em estudo.

### **4.3.3 Comportamento Termo Higrométrico da cortiça face a outros materiais**

Como referido no ponto 4.3.1, a presença de humidade no interior dos materiais de construção diminui as suas propriedades de isolamento, à medida que aumenta o respetivo teor de humidade no interior destes. Os isolantes térmicos são os mais prejudicados, aquando da existência de humidade no seu interior, pois a presença de humidade confere maior condutibilidade térmica, levando a um aumento de transferência de calor por condução. É de referir que a condutibilidade térmica do ar é de  $0,023 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$  (a  $0\text{°C}$ ) e a da água é de  $0,50 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$  (a  $0\text{°C}$ ), com estes valores pode-se ter uma melhor perceção do quanto fica prejudicado um isolante térmico, quando retém uma percentagem de humidade elevada.

“A absorção da água em cada material depende da constituição química e da natureza alveolar ou celular da estrutura do material. Para além disso, além da absorção e transmissibilidade da humidade interessa também o facto de não ficar armazenada no interior do material. A cortiça contém na sua composição vários constituintes hidrófobos que não facilitam a retenção de humidade” [6-p.28].

As tabelas que a seguir se apresentam correspondem a características de permeabilidade ao vapor de alvenarias (Tabela 10), de isolamentos (Tabela 11) e de materiais de revestimento (Tabela 12) respetivamente.

Tabela 10 - Características de permeabilidade ao vapor de alvenarias [38]

MATERIAL	Factor de Resistência difusão de vapor - $\mu$	Permeabilidade ao vapor - $\alpha$	
		(Kg/m.s.Pa)	(g/m.h.mmHg)
Ar em repouso (lamina de ar não ventilada)	1	$2,16 \times 10^{-10}$	$10400 \times 10^{-5}$
Betão maciço (2300 Kg/m <sup>3</sup> )	30	$6,24 \times 10^{-12}$	$300 \times 10^{-5}$
Betão maciço (2112 Kg/m <sup>3</sup> )	111	$1,67 \times 10^{-12}$	$80 \times 10^{-5}$
Betão celular (600 Kg/m <sup>3</sup> )	4	$4,16 \times 10^{-11}$	$2000 \times 10^{-5}$
Betão cavernoso (1600 a 2100 Kg/m <sup>3</sup> )	11 a 6	$1,66$ a $3,12 \times 10^{-11}$	$800$ a $1500 \times 10^{-5}$
Betão de rocha vulcânica ligeira (pedra pomes)	4 a 12	$4,16$ a $1,50 \times 10^{-11}$	$2000$ a $720 \times 10^{-5}$
Betão de argila expandida	4 a 12	$4,16$ a $1,50 \times 10^{-11}$	$2000$ a $720 \times 10^{-5}$
Madeira	14 a 8	$1,33$ a $2,22 \times 10^{-11}$	$640$ a $1070 \times 10^{-5}$
Madeira resinosa (450 a 500 Kg/m <sup>3</sup> )	14 a 9	$1,33$ a $2,08 \times 10^{-11}$	$640$ a $1000 \times 10^{-5}$
Gesso (peças pré-fabricadas)	9	$2,08 \times 10^{-11}$	$1000 \times 10^{-5}$
Vidro	0	0	0
Barro vermelho maciço	77	$2,39 \times 10^{-12}$	$115 \times 10^{-5}$
Alvenaria de tijolo furado (0,20 m) <sup>(c)</sup>	18	$1,04 \times 10^{-11}$	$500 \times 10^{-5}$
Alvenaria de tijolo furado (0,15 m) <sup>(c)</sup>	20	$9,36 \times 10^{-12}$	$450 \times 10^{-5}$
Alvenaria de tijolo furado (0,11 m) <sup>(c)</sup>	22	$8,32 \times 10^{-12}$	$400 \times 10^{-5}$
Alvenaria de tijolo furado (0,07 m) <sup>(c)</sup>	30	$6,24 \times 10^{-12}$	$300 \times 10^{-5}$
Alvenaria de tijolo maciço (0,20 m) <sup>(c)</sup>	10	$1,87 \times 10^{-11}$	$900 \times 10^{-5}$
Alvenaria de blocos furados (0,20 m) <sup>(c)</sup>	14	$1,35 \times 10^{-11}$	$650 \times 10^{-5}$
Alvenaria de pedra calcária (2000 Kg/m <sup>3</sup> )	20	$9,36 \times 10^{-12}$	$450 \times 10^{-5}$
(2500 Kg/m <sup>3</sup> )	89	$2,08 \times 10^{-12}$	$100 \times 10^{-5}$
Alvenaria de granito <sup>(c)</sup>	28	$6,66 \times 10^{-12}$	$320 \times 10^{-5}$
Alvenaria de tijolo vazado de terra cozida	59	$3,12 \times 10^{-12}$	$150 \times 10^{-5}$

Tabela 11 - Características de permeabilidade ao vapor de materiais de isolamento [38]

MATERIAL	Factor de Resistência difusão de vapor - $\mu$	Permeabilidade ao vapor - $\pi$	
		(Kg/m.s.Pa)	(g/m.h.mmHg)
Lãs minerais	1,5 a 1	1,25 a 1,66x10 <sup>-10</sup>	6000 a 8000x10 <sup>-5</sup>
Poliestireno expandido: - moldado em blocos por via húmida: 9 a 12 Kg/m <sup>3</sup> 13 a 16 Kg/m <sup>3</sup> - moldado em contínuo por via húmida: 13 a 16 Kg/m <sup>3</sup> 17 a 20 Kg/m <sup>3</sup> - termo comprimido em contínuo por via seca: 18 Kg/m <sup>3</sup> 23 Kg/m <sup>3</sup>	22 30 37 59 64 112	8,32x10 <sup>-12</sup> 6,24x10 <sup>-12</sup> 4,99x10 <sup>-12</sup> 3,12x10 <sup>-12</sup> 2,91x10 <sup>-12</sup> 1,66x10 <sup>-12</sup>	400x10 <sup>-5</sup> 300x10 <sup>-5</sup> 240x10 <sup>-5</sup> 150x10 <sup>-5</sup> 140x10 <sup>-5</sup> 80x10 <sup>-5</sup>
Poliestireno expandido extrudido 30 Kg/m <sup>3</sup> 35 a 40 Kg/m <sup>3</sup>	99 198	1,87x10 <sup>-12</sup> 0,94x10 <sup>-12</sup>	90x10 <sup>-5</sup> 45x10 <sup>-5</sup>
Malha rígida de poliuretano de células fechadas (placas pré- fabricadas expandidas em contínuo) - (30 a 35 Kg/m <sup>3</sup> )	44	4,16x10 <sup>-10</sup>	200x10 <sup>-5</sup>
Malha fenólica 30 a 100 Kg/m <sup>3</sup>	89 a 30	2,08 a 6,24x10 <sup>-12</sup>	100 a 300x10 <sup>-5</sup>
Cortiça expandida pura 100 a 150 Kg/m <sup>3</sup>	18	1,04x10 <sup>-11</sup>	500x10 <sup>-5</sup>
Cortiça aglomerada 100 a 150 Kg/m <sup>3</sup>	30 a 6	0,624 a 3,33x10 <sup>-11</sup>	300 a 1600x10 <sup>-5</sup>
Vidro celular 140 Kg/m <sup>3</sup>	0	0	0
Asfalto (2100 Kg/m <sup>3</sup> )	198	0,96x10 <sup>-12</sup>	45x10 <sup>-5</sup>
PVC celular	257	0,73x10 <sup>-12</sup>	3,5x10 <sup>-4</sup>
Mousse de vidro	0	0	0

Tabela 12 – Características de permeabilidade ao vapor de materiais de revestimento [38]

MATERIAL	$\mu$ ou $S_D$ (-)	Permeabilidade ao vapor - $\pi$		Permeância $\frac{\pi}{e}$	
		(Kg/m.s.Pa)	(g/m.h.mmHg)	(Kg/m <sup>2</sup> .s.Pa)	(g/m <sup>2</sup> .h.mmHg)
Reboco a base de ligantes hidráulicos	128	$1,46 \times 10^{-12}$	$70 \times 10^{-5}$		
Reboco a base de gesso	28	$6,66 \times 10^{-12}$	$320 \times 10^{-5}$		
Placas de gesso cartonado - 10 mm	9			$20,8 \times 10^{-10}$	1
Contraplacado - 8 mm	112			$2,08 \times 10^{-10}$	0,1
Placas de partículas de madeira 15 e 22 mm	50 e 51			$2,50$ e $1,66 \times 10^{-10}$	0,12 e 0,08
Fibrocimento 3,5 a 6 mm	0,8 - 0,9			$1,04$ a $2,08 \times 10^{-10}$	0,05 a 0,1
6 a 10 mm	0,9 - 0,45			$2,08$ a $4,16 \times 10^{-10}$	0,1 a 0,2
Placa de PVC rígida	> 90			$< 2,08 \times 10^{-12}$	$< 0,001$
Revestimento de argamassa - 15 mm	200			$6,24 \times 10^{-11}$	0,03
Metal	0			0	0
Placas de gesso sobre rede de cartão (10+30+10)	0,20			$1,04 \times 10^{-9}$	0,5
Quadrados de gesso de 0,05m	0,40			$5,20 \times 10^{-10}$	0,25
Revestimento de impermeabilização - 12 mm	8			$1,89 \times 10^{-9}$	0,91
Revestimento de gesso - 15 mm	8			$1,46 \times 10^{-9}$	0,7
Gesso sobre quadro metálico	0,20			$1,12 \times 10^{-9}$	0,54
Pintura asfáltica sobre contraplacado 2 demãos	8			$2,29 \times 10^{-11}$	0,011
Verniz de alumínio sobre madeira	11			$1,66 \times 10^{-11}$	0,008
Laca de PVC (1 mm)	36			$5,20 \times 10^{-9}$	2,5
Laca de Poliuretano (1 mm)	12			$0,016 \times 10^{-6}$	7,5
Laca de óleo (1 mm)	22			$8,32 \times 10^{-9}$	4
Pintura de óleo (1 mm)	14			$1,35 \times 10^{-8}$	6,5
Placas de PRV com gel	> 90			$< 2,08 \times 10^{-12}$	$< 0,001$
Feltros de superfície betuminosa com EAC	> 90			$< 2,08 \times 10^{-12}$	$< 0,001$

Analisando os isolantes e os respetivos valores de coeficientes de permeabilidade ao vapor de água, presentes na Tabela 11, pode-se observar que as lãs minerais como a lã de rocha, são os isolantes que apresentam maior permeabilidade, seguindo-se do aglomerado expandido de cortiça. Ambos os isolantes, apresentam valores de permeabilidade ao vapor superiores ao poliestireno expandido moldado (EPS) e ao poliestireno expandido extrudido (XPS), materiais estes, que em Portugal são os mais utilizados no isolamento de paredes

exteriores, mais concretamente em fachadas em “sistemas ETICS” e no isolamento entre paredes duplas respetivamente. É de referir, no entanto, que o EPS e o XPS segundo estes valores, não são os isolantes que apresentam melhores características em termos de permeabilidade ao vapor de água, podendo dar origem a condensações internas.

#### **4.3.3.1 Análise do desempenho da cortiça no comportamento termo higrométrico face a outros isolamentos concorrentes**

Para a seguinte análise vai-se recorrer ao método simplificado de Glaser, que é correntemente utilizado para a estimativa de condensações internas, uma vez que a modelização completa da transferência de humidade em materiais porosos (generalidade dos materiais de construção) é de extrema complexidade e de difícil aplicação em Engenharia Civil.

O método de Glaser admite apenas o transporte de humidade em fase de vapor, pelo que o teor de humidade dos materiais terá de ser inferior à humidade crítica. Entende-se que o teor de humidade crítica “define o limite abaixo do qual o transporte de água por capilaridade é praticamente impossível e corresponde ao teor de humidade que o material apresenta quando em contacto com uma ambiência saturada” [38-p.43].

Para aplicação do Método de Glaser será necessário recorrer à **Lei de Fick** e da **Lei de Fourie**.

A **Lei de Fick** permite quantificar o fluxo de vapor de água que atravessa um elemento de construção, constituído por materiais homogéneos, em camadas de faces planas e paralelas, sendo dada pela expressão matemática seguinte:

$$g = \sum_m \frac{\pi_m}{e_m} \times (P_i - P_e)$$

em que:

$g$  = fluxo de difusão de vapor de água por unidade de superfície (kg/m<sup>2</sup>.s ou g/m<sup>2</sup>.h)

$\pi_m$  = coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do material  $m$  (kg/m.s.Pa ou g/m.h.mm Hg)

$P_i, P_e$  = pressão parcial de vapor de água no interior e exterior, respetivamente (Pa ou mm de Hg)

$e_m$  = espessura do material  $m$  (m)

Quanto ao fluxo de calor, este obedece à **Lei de Fourier**:

$$Q = \sum_m \frac{\lambda_m}{e_m} \times (\theta_i - \theta_e)$$

em que:

$Q$  = fluxo de calor por unidade de superfície (W/m<sup>2</sup>)

$\lambda_m$  = coeficiente de condutibilidade térmica do material  $m$  (W/m.°C)

$\theta_i, \theta_e$  = temperatura no interior e exterior, respetivamente (°C)  
=

$e_m$  = espessura do material  $m$  (m)

Na presente análise, vai-se considerar que se está na presença de um edifício multifamiliar situado na região norte de Portugal, mais precisamente na cidade do Porto.

São adotadas duas soluções no isolamento intermédio de paredes exteriores, uma contendo como isolamento aglomerado expandido de cortiça correspondente à parede PA e outra contendo poliestireno expandido extrudido (XPS) correspondente à parede PB.

Para o presente estudo, considera-se que se está perante a estação de aquecimento, com temperatura exterior de 0°C e temperatura interior de 20°C (temperatura de conforto de referência segundo o ponto *a*) do *Artigo 14.º do Capítulo V do DL - n.º80/2006- RCCTE*). Considera-se também, que para ambos os casos, a humidade relativa exterior é de 85% e que a habitação apresenta ventilação deficiente com parâmetro de higrometria na ordem dos  $5W/(n.V)$ .

## Parede PA

Solução contendo Aglomerado Expandido de Cortiça

- a) Reboco de argamassa hidrofugada com 40mm  
( $\rho = 2000\text{kg/m}^3$ );
- b) Alvenaria tijolo furado de  $15 \times 20 \times 30\text{cm}$ ;
- c) Aglomerado Expandido de Cortiça com 40mm de espessura ( $\rho = 100\text{kg/m}^3$ );
- d) Alvenaria tijolo furado de  $11 \times 20 \times 30\text{cm}$ ;
- e) Estuque projetado com 20mm ( $\rho = 1100\text{kg/m}^3$ ).

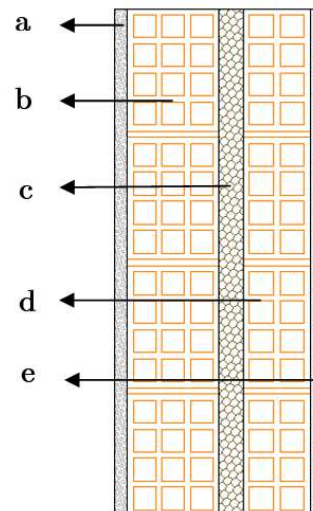


Tabela 13 -Valores de condutibilidade térmica e resistência térmica dos diferentes constituintes da parede, contendo Aglomerado Expandido de Cortiça como isolante (parede PA)

<i>Constituintes da alvenaria</i>		Condutibilidade Térmica - $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência térmica - R,(m.°C /W)	Referências
<i>Material</i>	<b>Espessura (cm)</b>			
<b><i>Reboco de argamassa hidrofugada</i></b> ( $\rho = 2000\text{kg/m}^3$ )	4	1,3	-	ITE-50 (Quadro I.2), LNEC
<b><i>Alvenaria tijolo furado de 15x20x30cm</i></b>	15	-	0,39	ITE-50 (Quadro I.5), LNEC
<b><i>Agglomerado expandido de cortiça</i></b> ( $\rho = 100\text{kg/m}^3$ )	4	0,045	-	ITE-50 (Quadro I.1), LNEC
<b><i>Alvenaria tijolo furado de 11x20x30cm</i></b>	11	-	0,27	ITE-50 (Quadro I.5), LNEC
<b><i>Estuque projetado</i></b> ( $\rho = 1100\text{kg/m}^3$ )	2	0,43	-	ITE-50 (Quadro I.2), LNEC

**Parede PB**Solução contendo Poliestireno Expandido Extrudido (XPS)

- a) Reboco de argamassa hidrofugada com 40mm  
( $\rho = 2000\text{kg/m}^3$ );
- b) Alvenaria tijolo furado de  $15 \times 20 \times 30\text{cm}$ ;
- c) Poliestireno Expandido Extrudido com 40mm de espessura  
( $\rho = 40\text{kg/m}^3$ );
- d) Alvenaria tijolo furado de  $11 \times 20 \times 30\text{cm}$ ;
- e) Estuque projetado com 20mm ( $\rho = 1100\text{kg/m}^3$ ).

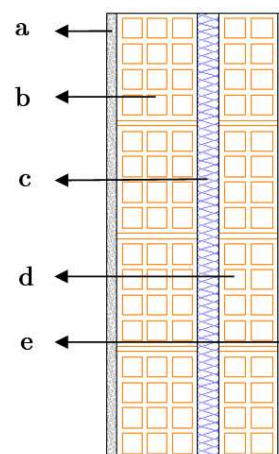


Tabela 14 - Valores de condutibilidade térmica e resistência térmica dos diferentes constituintes da parede, contendo Poliestireno Expandido Extrudido como isolante (parede PB)

<i>Constituintes da alvenaria</i>		Condutibilidade Térmica - $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência térmica - R(m.°C /W)	Referências
<i>Material</i>	Espessura (cm)			
<i>Reboco de argamassa hidrofugada</i> ( $\rho = 2000\text{kg/m}^3$ )	4	1,3	-	ITE-50 (Quadro I.2), LNEC
<i>Alvenaria tijolo furado de 15x20x30cm</i>	15	-	0,39	ITE-50 (Quadro I.5), LNEC
<i>Poliestireno expandido extrudido (XPS)</i>	4	0,037	-	ITE-50 (Quadro I.1), LNEC
<i>Alvenaria tijolo furado de 11x20x30cm</i>	11	-	0,27	ITE-50 (Quadro I.5), LNEC
<i>Estuque projetado</i> ( $\rho = 1100\text{kg/m}^3$ )	2	0,43	-	ITE-50 (Quadro I.2), LNEC

- Cálculo da resistência térmica ( $R_t$ ) e do coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ) de ambas as paredes exteriores em estudo:

**Parede PA**

$$R_t = R_{se} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_t \text{ alvenaria15} + \frac{e_{aglomerado negro cortiça}}{\lambda_{aglomerado negro cortiça}} + R_t \text{ alvenaria11} + \frac{e_{estruque}}{\lambda_{estruque}} + R_{si}$$

$$R_t = 0,04 + \frac{0,04}{1,3} + 0,39 + \frac{0,04}{0,045} + 0,27 + \frac{0,02}{0,43} + 0,13 = 1,796 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{1,796} = 0,557 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

**Parede PB**

$$R_t = R_{se} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_t \text{ alvenaria15} + \frac{e_{XPS}}{\lambda_{XPS}} + R_t \text{ alvenaria11} + \frac{e_{estruque}}{\lambda_{estruque}} + R_{si}$$

$$R_t = 0,04 + \frac{0,04}{1,3} + 0,39 + \frac{0,04}{0,037} + 0,27 + \frac{0,02}{0,43} + 0,13 = 1,988 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{1,988} = 0,503 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

- Cálculo da humidade absoluta do ar interior ( $W_i$ ), a partir da fórmula fundamental de higrometria:

$$W_i = W_e + \frac{W}{n \times v} \times 0,825$$

em que:

$W_i$  = humidade absoluta interior (kg/kg)

$W_e$  = humidade absoluta do ar exterior (atmosférico) (kg/kg)

$W$  = produção de vapor (kg/h)

$n$  = número de renovações de ar interior por hora ( $h^{-1}$ )

$v$  = volume do espaço interior ( $m^3$ )

$\frac{W}{n \times v}$  = parâmetro de higrometria ( $g/m^3$ )

Sabendo que as condições higrotérmicas no presente caso são:

$$- \theta_i = 20 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \theta_e = 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad HR_e = 85\%$$

$$- \text{Parâmetro de higrometria } \frac{W}{n \times v} = 5 \text{ g/m}^3$$

Consultando o diagrama psicrométrico, em g/kg

$$W_i = 3,25 \times 10^{-3} + 5 \times 10^{-3} \times 0,825 = 7,375 \times 10^{-3} \text{ kg/kg}$$

É nestas condições higrotérmicas que se estudará as paredes de habitação para ambas as paredes em estudo.

- Cálculo do fluxo de calor por unidade de superfície ( $Q$ ) nas duas paredes em análise, utilizando a Lei de Fourier:

$$\theta_i = 20 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \theta_e = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta = \theta_i - \theta_e = 20 - 0 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{PA} = U_{PA} \times \Delta\theta = 0,557 \times 20 = 11,14 \text{ w/m}^2$$

$$Q_{PB} = U_{PB} \times \Delta\theta = 0,503 \times 20 = 10,06 \text{ w/m}^2$$

- Cálculo da temperatura superficial interior ( $\theta_{si}$ ) das paredes:

#### Parede PA

$$\theta_{si} = \theta_i - Q_{PA} \times R_{si} = 20 - 11,14 \times 0,13 = 18,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### Parede PB

$$\theta_{si} = \theta_i - Q_{PB} \times R_{si} = 20 - 10,06 \times 0,13 = 18,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Análise da existência de condensações superficiais:

Sabendo que:  $\theta_i = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$        $W_i = 7,375 \times 10^{-3} \text{ kg/kg}$

No diagrama psicrométrico retira-se, com o auxílio de temperatura interior ( $\theta_i$ ) e da humidade absoluta interior ( $W_i$ ), a temperatura superficial de saturação ( $\theta_s$ )

correspondente ao limite mínimo de temperatura que a superfície das paredes PA e PB podem apresentar sem que ocorra condensações superficiais.

Pelo diagrama psicrométrico:  $\theta_s = 9,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Verifica-se quem em ambas as paredes  $\theta_{si} \gg \theta_s = 9,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Logo não existem condensações superficiais.

- Cálculo da evolução das temperaturas internas das paredes em análise:

#### Parede PA

$$\theta_1 = 20 - \left[ 11,14 \times \left( 0,13 + \frac{0,02}{0,43} \right) \right] = 18,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta_2 = 20 - \left[ 11,14 \times \left( 0,13 + \frac{0,02}{0,43} + 0,27 \right) \right] = 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta_3 = 20 - \left[ 11,14 \times \left( 0,13 + \frac{0,02}{0,43} + 0,27 + \frac{0,04}{0,045} \right) \right] = 5,12 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta_4 = 20 - \left[ 11,14 \times \left( 0,13 + \frac{0,02}{0,43} + 0,27 + \frac{0,04}{0,045} + 0,39 \right) \right] = 0,799 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta_{se} = 20 - \left[ 11,14 \times \left( 0,13 + \frac{0,02}{0,43} + 0,27 + \frac{0,04}{0,045} + 0,39 + \frac{0,04}{1,3} \right) \right] = 0,436 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta_e = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

#### Parede PB

$$\theta_1 = 20 - \left[ 10,06 \times \left( 0,13 + \frac{0,02}{0,43} \right) \right] = 18,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta_2 = 20 - \left[ 10,06 \times \left( 0,13 + \frac{0,02}{0,43} + 0,27 \right) \right] = 15,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta_3 = 20 - \left[ 10,06 \times \left( 0,13 + \frac{0,02}{0,43} + 0,27 + \frac{0,04}{0,037} \right) \right] = 4,63 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta_4 = 20 - \left[ 10,06 \times \left( 0,13 + \frac{0,02}{0,43} + 0,27 + \frac{0,04}{0,037} + 0,39 \right) \right] = 0,709 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{se} = 20 - \left[ 10,06 \times \left( 0,13 + \frac{0,02}{0,43} + 0,27 + \frac{0,04}{0,037} + 0,39 + \frac{0,04}{1,3} \right) \right] = 0,499 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_e = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Verificação de condensações internas em ambas as paredes de habitação:

Como auxílio do diagrama psicrométrico vai-se determinar as pressões de saturação de vapor de água ( $P_s$ ), nas superfícies fronteiras internas das paredes PA e PB.

#### Parede PA

$$\theta_{si} = 18,6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad P_{si} = 21,3 \text{ mbar} = P_{si} = 15,98 \text{ mmHg}$$

$$\theta_1 = 18,0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad P_{s1} = 20,5 \text{ mbar} = P_{s1} = 15,38 \text{ mmHg}$$

$$\theta_2 = 15,0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad P_{s2} = 17,0 \text{ mbar} = P_{s2} = 12,75 \text{ mmHg}$$

$$\theta_3 = 5,12 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad P_{s3} = 8,90 \text{ mbar} = P_{s3} = 6,58 \text{ mmHg}$$

$$\theta_4 = 0,779 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad P_{s4} = 6,30 \text{ mbar} = P_{s4} = 4,73 \text{ mmHg}$$

$$\theta_{se} = 0,436 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad P_{sse} = 6,20 \text{ mbar} = P_{sse} = 4,65 \text{ mmHg}$$

$$\theta_e = 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad P_{se} = 6,00 \text{ mbar} = P_{se} = 4,50 \text{ mmHg}$$

#### Parede PB

$$\theta_{si} = 18,7 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad P_{si} = 21,6 \text{ mbar} = P_{si} = 16,20 \text{ mmHg}$$

$$\theta_1 = 18,2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad P_{s1} = 20,9 \text{ mbar} = P_{s1} = 15,68 \text{ mmHg}$$

$$\theta_2 = 15,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad P_{s2} = 17,7 \text{ mbar} = P_{s2} = 13,28 \text{ mmHg}$$

$$\theta_3 = 4,63 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad P_{s3} = 8,7 \text{ mbar} = P_{s3} = 6,53 \text{ mmHg}$$

$$\theta_4 = 0,709 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad P_{s4} = 6,28 \text{ mbar} = P_{s4} = 4,71 \text{ mmHg}$$

$$\theta_{se} = 0,399 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad P_{sse} = 6,18 \text{ mbar} = P_{sse} = 4,64 \text{ mmHg}$$

$$\theta_e = 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad P_{se} = 6,00 \text{ mbar} = P_{se} = 4,50 \text{ mmHg}$$

- Determinação das pressões efetivas nas diversas camadas interiores que constituem as paredes PA e PB, entre o ambiente interior e o exterior:

$$P_i (\theta_i = 20 \text{ } ^\circ\text{C}; HR_i = 51,5 \%) = 11,8 \text{ mbar} \quad \Rightarrow \quad P_i = 8,85 \text{ mmHg}$$

$$P_e (\theta_e = 0 \text{ } ^\circ\text{C}; HR_e = 85 \%) = 5,25 \text{ mbar} \quad \Rightarrow \quad P_e = 3,94 \text{ mmHg}$$

$$\Delta P = P_i - P_e = 8,85 - 3,94 = 4,91 \text{ mmHg}$$

### Parede PA

Resistência à difusão do vapor $Rd_m = \frac{e_m}{\pi_m}$ [m.h.mmHg]	Pressões instaladas (efetivas) Pela Lei de Fick [mmHg]	Pressões de saturação ( $P_s$ ) [mmHg]
$Rd_1 = \frac{0,02}{1200 \times 10^{-5}} = 1,67$	$P_1 = 8,85 - \frac{1,67}{90,5} \times 4,91 = 8,76$	$P_{s1} = 15,38$
$Rd_2 = \frac{0,11}{400 \times 10^{-5}} = 27,5$	$P_2 = 8,85 - \frac{1,67+27,5}{90,5} \times 4,91 = 7,27$	$P_{s2} = 12,75$
$Rd_3 = \frac{0,04}{500 \times 10^{-5}} = 8,00$	$P_3 = 8,85 - \frac{1,67+27,5+8,00}{90,5} \times 4,91 = 6,83$	$P_{s3} = 6,58$
$Rd_4 = \frac{0,15}{450 \times 10^{-5}} = 33,3$	$P_4 = 8,85 - \frac{1,67+27,5+8,00+33,3}{90,5} \times 4,91 = 5,03$	$P_{s4} = 4,73$
$Rd_{se} = \frac{0,04}{200 \times 10^{-5}} = 20,0$	$P_{se} = 8,85 - \frac{1,67+27,5+8,00+33,3+20}{90,5} \times 4,91 = 3,94$	$P_{sse} = 4,65$
$Rd_{total} = \sum \frac{e_m}{\pi_m} = 90,5$		

Fazendo uma comparação entre as pressões instaladas (efetivas) e as pressões de saturação em cada camada interior da parede PA, pode-se concluir que logo a seguir à camada 3, correspondente à camada de isolamento de aglomerado expandido de cortiça, há a ocorrência de condensações internas, uma vez que, as pressões instaladas na camada 3 e 4 são superiores às pressões de saturação nessas mesmas camadas:

$$P_3 = 6,83 > P_{s3} = 6,58 \quad \text{e} \quad P_4 = 5,03 > P_{s4} = 4,73$$

### Parede PB

Resistência à difusão do vapor $Rd_m = \frac{e_m}{\pi_m}$ [m.h.mmHg]	Pressões instaladas (efetivas) Pela Lei de Fick [mmHg]	Pressões de saturação ( $P_s$ ) [mmHg]
$Rd_1 = \frac{0,02}{1200 \times 10^{-5}} = 1,67$	$P_1 = 8,85 - \frac{1,67}{126,9} \times 4,91 = 8,79$	$P_{s1} = 15,68$
$Rd_2 = \frac{0,11}{400 \times 10^{-5}} = 27,5$	$P_2 = 8,85 - \frac{1,67+27,5}{126,9} \times 4,91 = 7,72$	$P_{s2} = 13,28$
$Rd_3 = \frac{0,04}{90 \times 10^{-5}} = 44,4$	$P_3 = 8,85 - \frac{1,67+27,5+44,4}{126,9} \times 4,91 = 6,00$	$P_{s3} = 6,53$
$Rd_4 = \frac{0,15}{450 \times 10^{-5}} = 33,3$	$P_4 = 8,85 - \frac{1,67+27,5+44,4+33,3}{126,9} \times 4,91 = 4,71$	$P_{s4} = 4,71$
$Rd_{se} = \frac{0,04}{200 \times 10^{-5}} = 20,0$	$P_{se} = 8,85 - \frac{1,67+27,5+44,4+33,3+20}{126,9} \times 4,91 = 3,94$	$P_{sse} = 4,64$
$Rd_{total} = \sum_m \frac{e_m}{\pi_m} = 126,9$		

Fazendo uma comparação entre as pressões instaladas (efetivas) e as pressões de saturação em cada camada interior da parede PB, pode-se concluir que não existem condensações internas pois as pressões de vapor instaladas são inferiores às pressões de saturação em toda a espessura da parede.

Com a presente análise pode-se observar que apesar do aglomerado expandido de cortiça ser um material mais permeável quando em comparação com o poliestireno expandido extrudido - material concorrente mais utilizado em Portugal neste tipo de revestimento - não acarreta vantagens em termos higrotérmicos, uma vez que no final da análise efetuada para ambas as paredes, verificaram-se pelo Método de Glaser condensações internas na parede PA, contendo aglomerado expandido de cortiça, e na parede PB, contendo poliestireno expandido extrudido (XPS) como isolante, essas mesmas condensações internas não se verificaram, em parte devido às suas melhores características térmicas, que fizeram com que o as pressões de saturação na parede PB fossem maiores.

#### **4.3.4 Comportamento da cortiça face ao fogo**

Para a segurança contra incêndios, os materiais aplicados na construção são classificados pelas seguintes características fundamentais:

- Reação a fogo: comportamento de um produto ou material relativamente a uma maior ou menor contribuição deste para a deflagração de um incêndio ou para o seu desenvolvimento e ainda o seu comportamento na libertação de fumos ou gases tóxicos durante a sua deflagração.
- Resistência ao fogo: capacidade que um elemento de construção apresenta na conservação das suas características (por exemplo: resistência mecânica, isolamento térmico, estanquidade, entre outros), durante um período de tempo em que está sujeito a um aquecimento proveniente de um incêndio.

Relativamente ao comportamento face ao fogo dos diversos materiais utilizados na construção, estes são classificados pela Euroclasse de reação ao fogo como A1, A2, B, C, D, E e F, substituindo a classificação portuguesa de reação ao fogo de materiais de construção (M0, M1, M2, M3 e M4) [33].

Segundo o *anexo VI* do Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro, as equivalências entre as especificações do LNEC e as do sistema europeu são as constantes dos quadros seguintes:

Tabela 15 - Reação ao fogo de produtos de construção, com exceção de revestimentos de piso

Classificação de acordo com as especificações LNEC	Classificação segundo o sistema europeu		
	Classes	Classificação complementar	
		Produção de fumo	Queda de gotas/ partículas inflamadas
M0 .....	A1 A2	— S1 .....	— d0
M1 .....	A2 B	Não exigível. . . . Não exigível. . . .	d0 d0
M2 .....	A2 B	Não exigível. . . .	d1
	C	Não exigível. . . .	d0 d1
M3 .....	D	Não exigível. . . .	d0 d1
M4 .....	A2 B C D	Não exigível. . . .	d2
	E	—	Ausência de classificação. d2
Sem classificação. . . . .	F	—	—

Tabela 16 - Reação ao fogo de produtos de construção destinados a revestimentos de piso

Classificação de acordo com as especificações LNEC	Classificação segundo o sistema europeu	
	Classes	Classificação complementar
		Produção de fumo
M0 .....	A1 <sub>FL</sub> A2 <sub>FL</sub>	— s1
M1 .....	A2 <sub>FL</sub> B <sub>FL</sub>	Não exigível Não exigível
M2 .....	C <sub>FL</sub>	Não exigível
M3 .....	D <sub>FL</sub>	Não exigível
M4 .....	E <sub>FL</sub>	—
Sem classificação .....	F <sub>FL</sub>	—

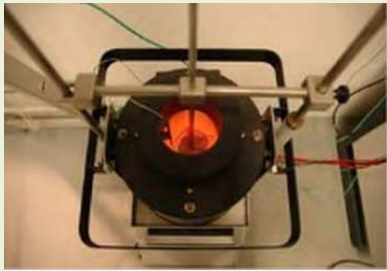
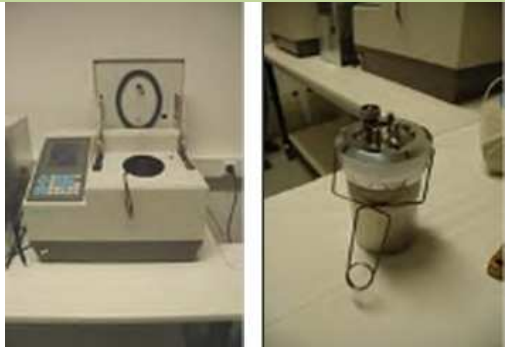

Na presente classificação encontram-se nos seus extremos:



- Por um lado, os produtos à fraca ou muito fraca fração orgânica, que são pouco ou muito pouco combustíveis (Classe: A1, A2 e ainda A1<sub>FL</sub> e A2<sub>FL</sub> para os pavimentos) [33];
- Por outro lado, os produtos combustíveis que contribuem de maneira importante à conflagração generalizada (Classe E - produtos com critério mínimo para a sua aplicação no mercado alemão; Classe F ou produtos não classificados - produtos que reprovaram no teste menos severo) [33].

Os produtos que se encontram num nível intermédio correspondem a produtos combustíveis mas cuja contribuição à conflagração generalizada diferencia-se (Classe B – conflagração muito limitada; Classe C – conflagração limitada; Classe D – conflagração significativa).

A Tabela 17 faz referência aos principais ensaios de caracterização da reação ao fogo dos materiais de construção.

Tabela 17 – Ensaios de caracterização da reação ao fogo [34]

<i>Ensaio</i>	<b>Ensaio relevante para as classes</b>	<b>Ilustração de ensaio</b>
<i>Ensaio de não-combustibilidade (forno ISO) – EN ISSO 1182</i>	A1, A1 <sub>n</sub> , A1 <sub>i</sub> , A2, A2 <sub>n</sub> e A2 <sub>i</sub>	
<i>Ensaio do calorímetro (bomba calorimétrica) - EN ISSO 1716</i>	A1, A1 <sub>n</sub> , A1 <sub>i</sub> , A2, A2 <sub>n</sub> e A2 <sub>i</sub>	
<i>Ensaio SBI – EN 13823</i>	A2, A2 <sub>i</sub> , B, B <sub>i</sub> , C, C <sub>i</sub> , D e D <sub>i</sub>	

<p><b>Ensaio do painel radiante – EN ISO 9239-1</b></p>	<p>A2<sub>n</sub>, B<sub>n</sub>, C<sub>n</sub> e D<sub>n</sub></p>	
<p><b>Ensaio de ignitabilidade – EN ISO 11925-2</b></p>	<p>B, B<sub>n</sub>, B<sub>s</sub>, C, C<sub>n</sub>, C<sub>s</sub>, D, D<sub>n</sub>, D<sub>s</sub>, E, E<sub>n</sub>, E<sub>s</sub>, F, F<sub>n</sub>, F<sub>s</sub></p>	

Relativamente ao comportamento da cortiça face ao fogo, esta é classificada pelo sistema europeu com Classe E e E<sub>FL</sub> (no revestimento de pisos para pavimentos).

Em termos de reação ao fogo, a cortiça é considerada como um retardador de fogo natural, por ser um material que arde lentamente, forma uma barreira contra o fogo. Os fumos libertados pela cortiça quando sujeita a uma combustão são considerados não tóxicos, uma vez que não apresentam cloretos nem cianetos, sendo as percentagens de monóxido de carbono e de dióxido de carbono libertados na sua combustão cerca de 0,1% a 0,6% e 0,1% a 2,3% respetivamente, segundo dados de fabricantes [16].

Relativamente à resistência ao fogo, o aglomerado expandido de cortiça quando em comparação com outros materiais orgânicos com a mesma classificação europeia (classe E), como o poliestireno expandido moldado (EPS) ou poliestireno expandido extrudido (XPS), apresenta melhor capacidade de conservação das suas propriedades aquando da

deflagração de um incêndio. A cortiça comparativamente ao ESP e ao XPS não funde tão facilmente, com perda total de resistência e de forma, podendo ainda ser protegida com pintura antifogo numa medida de atenuação dos efeitos do incêndio [6].

#### **4.3.5 Compressão e elasticidade da cortiça**

Em muitas das aplicações de cortiça, como por exemplo a aplicação de aglomerados de cortiça no revestimento de pavimentos, estão muitas vezes sujeitos a esforços de compressão, provocados por cargas pontuais ou por exemplo quando se pisa um chão de cortiça.

A cortiça é um material que apresenta um bom comportamento quando sujeito à compressão, sendo que a sua capacidade de compressibilidade aliada à sua flexibilidade e elasticidade das membranas que a constituem, permitem a rápida recuperação da sua forma inicial [9].

Esta propriedade da cortiça resulta do facto de esta ser constituída estruturalmente por inúmeras células, altamente flexíveis que encurvam e dobram, não conferindo praticamente qualquer expansão lateral, sendo de seguida dada a sua recuperação (forma inicial), quando livre de cargas, devido às quantidades de gás comprimido existentes no interior das células que a constituem [6].

A compressibilidade e recuperação da cortiça confere a este material a possibilidade de ser aplicado em juntas de dilatação entre elementos rígidos, nomeadamente em betões. Os aglomerados de cortiça quando aplicados em juntas, podem apresentar uma redução de 50% (da sua espessura inicial) quando sujeitas a cargas de 0,35 a 10,5 MPa, tendo como recuperação cerca de 90% da espessura original [6].

#### **4.3.6 Impermeabilidade da cortiça**

Relativamente à impermeabilização, a cortiça como a grande maioria dos materiais porosos não são 100% impermeáveis, no entanto devido à presença de suberina (principal componente da cortiça) nas paredes das células que a constituem, confere à cortiça um elevado grau de impermeabilidade tanto a líquidos como gases. Como resultado não apodrece, o que torna num dos melhores isolantes disponíveis [16].

#### **4.3.7 Outras propriedades da cortiça:**

##### **4.3.7.1 Leveza e flutuabilidade**

A cortiça é um material relativamente leve e que flutua na água, devido em grande parte à sua constituição estrutural, isto é, à presença de grandes quantidades de gás comprimido existentes no interior das células que a constituem. Esta característica da cortiça foi a que teve maior evidência e mais reconhecimento durante milhares de anos, uma vez que era em tempo antigos, muito utilizada em equipamentos de pesca [16].

##### **4.3.7.2 Propriedades hipoalérgicas**

Na saúde, a cortiça destaca-se pelas suas propriedades hipoalérgicas, que resultam do facto de a cortiça não absorver o pó, contribuindo para a proteção de alergias. “É um material aconselhado para pessoas que sofrem de alergia e de asma, visto que não é propenso a eletricidade estática, não atraindo poeiras, pólen ou fibras pequenas” [14-p.13].

#### 4.3.7.3 Compatibilidade com outros materiais

Segundo fabricantes, a cortiça “não apresenta problemas de compatibilidade com outros materiais com os quais possa a vir estar em contacto, não havendo relatos de problemas de maior interação com solventes, resinas, ligantes hidráulicos, colas, betumes, etc.” [6-p.29].

#### 4.3.7.4 Durabilidade

Em termos de durabilidade e vida útil, a cortiça é um material muito resistente e de elevada durabilidade, nomeadamente em comparação com materiais concorrentes, tendo portanto maior vida útil e consequentemente menor impacto ambiental. Possui grande capacidade de conservação mantendo as suas propriedades iniciais ao longo do seu tempo de vida útil.

Para uma melhor perceção da sua durabilidade, em seguida são apresentados alguns casos reais que aludem a esta sua propriedade.

- *“em 1959, em Monza, foram reconstruídos um pavimento e uma parede isolados em 1922. O isolante estava ainda em condições tão perfeitas que poderia ser comercializado” ;*
- *em 1996 foi divulgado um trabalho em que se estudou a condutividade térmica do aglomerado expandido obtido de demolições de edifícios com 50 (câmara frigorífica) e com cerca de 30 anos (edifício, laboratório) de existência, obtendo-se valores idênticos aos do aglomerado novo, para além de um aspeto semelhante ao acabado de produzir [6-p.29];*

- *“em 2007 foram obtidas amostras de aglomerado expandido de cortiça de isolamentos de paredes e de tubos de refrigeração dos antigos Armazéns do Bacalhau em Alcântara, inaugurado em 1942 (atualmente o edifício do Museu do Oriente), que estavam em boas condições após várias décadas de uso”;*
- *“No maior hospital de Amesterdão o linóleo natural aplicado em 100 000 m<sup>2</sup> esteve ao serviço durante mais de 20 anos com excelentes condições” [23-p.136].*

#### **4.3.7.5 Cortiça material ecológico**

Neste campo, os produtos de cortiça no sector da construção podem ser 100% naturais e ecológicos, aspeto que muito dificilmente é igualdo pelos materiais concorrentes. Temos como exemplo, os granulados de cortiça ou os aglomerados puros expandidos de cortiça, cuja produção/fabricação é realizada exclusivamente por cortiça, sem qualquer transformação para além de operações de preparação, corte e acabamento. Relativamente aos aglomerados compostos de cortiça, como são na sua generalidade sujeitos a uma aglutinação com recurso a resinas sintéticas, não são por isso 100% naturais, no entanto, o seu processo de aglutinação pode ser efetuado com a resinas naturais.

No que diz respeito ao impacto associado no processo de fabricação dos aglomerados de cortiça, este é mitigado com a utilização do pó de cortiça, que resulta de resíduos na indústria da cortiça, proveniente da granulação e trituração, bem como de operações de corte, lixagem e acabamentos [14]. O pó de cortiça é aproveitado em grande parte para a produção de energia que a própria fábrica necessita (por exemplos: os geradores de vapor podem ser alimentados com pó de cortiça).

A Figura 14 mostra um gráfico elucidativo da energia gasta na obtenção dos produtos de cortiça e de outros produtos concorrentes, utilizados no sector da construção como isolantes.

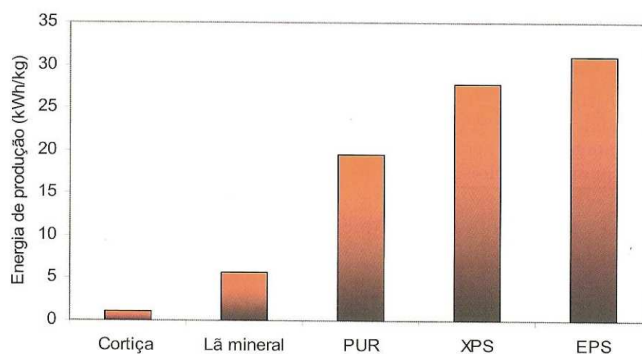


Figura 14 - Energia utilizada na produção de vários isolantes térmicos [58]

É de notar, com base na Figura 14, que os produtos de cortiça são os que apresentam menor impacto ambiental, aquando da sua produção, ganhando assim vantagens neste campo para os restantes materiais em análise, muito por causa do aproveitamento do pó de cortiça na produção de energia.

A reutilização e a reciclagem são outros aspetos importantes a considerar quando se trata de produtos de cortiça, nomeadamente dos aglomerados expandidos de cortiça, visto que estes, após o seu período de utilização, que muitas vezes é imposto pelo fim de vida útil do próprio edifício ou obra, podem ser novamente utilizadas em aplicações idênticas, sem que haja, no entanto, perdas significativas das suas características iniciais. A sua reutilização só se torna exequível, no caso de ser possível a recolher das placas de aglomerado de cortiça de forma integral [6].

Caso não seja praticável a reutilização de placas de aglomerado expandido de cortiça, por estarem danificadas ou contaminadas com outros produtos, pode-se proceder à sua reciclagem. A reciclagem passa por um processo de trituração, para a obtenção de regranulados de cortiça, que podem ser utilizados no fabrico de novos produtos térmicos e

acústicos de cortiça, podendo ainda serem utilizados como inertes para a produção de betões e argamassas [6].

É de referir ainda que os aglomerados compostos de cortiça utilizados no sector da construção, podem ser produzidos com recursos a cortiça de outros produtos corticeiros (rolhas usadas, restos de aglomerados, entre outros), havendo com isto uma maior reciclabilidade, com conseqüente valorização e mitigação de resíduos, contribuindo deste modo para uma construção mais sustentável [6].

#### 4.4 Campos de aplicação de isolamento de cortiça na construção civil

O campo de utilização de isolamento de cortiça nos edifícios abrange as mais diversas áreas, podendo ser utilizada como isolamento térmico, acústico, e vibratório em coberturas, paredes simples ou duplas e ainda em pavimentos. Na Figura 15 pode-se observar casos possíveis de aplicação de isolamento à base de cortiça numa habitação nas mais variadas compartimentações desta.

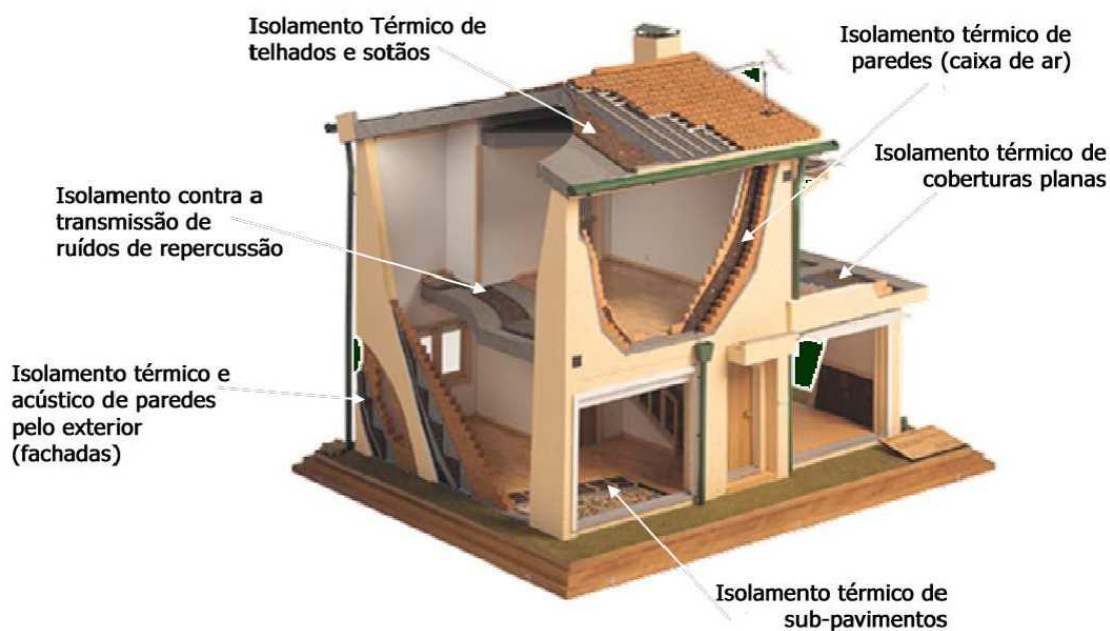


Figura 15 - Aplicações possíveis da cortiça numa edificação [25]

##### 4.4.1 Isolamento e/ou revestimento de coberturas/terraços

A cortiça pode ser aplicada tanto em coberturas inclinadas como em coberturas planas, tendo como principal função o isolamento térmico e acústico da edificação. No campo do isolamento térmico de coberturas/terraços, o isolante tem como função a protecção das

coberturas contra amplitudes térmicas, redução de transferência de calor diminuindo as perdas de energia e ainda limitar as condensações.

A cortiça no isolamento térmico de coberturas é utilizada como aglomerado expandido com massa volumica na ordem dos 100-140 kg/m<sup>3</sup> e com um coeficiente de condutividade térmica a rondar o intervalo dos 0,039-0,045 W/m.°C.

Apesar do aglomerado expandido de cortiça não ser totalmente impermeável, fator importante a ter em conta quando se trata de coberturas, é um material compatível com a generalidade dos materiais usados na construção civil, permitindo desta forma o emprego de sistemas de impermeabilização, tais como telas asfálticas, argamassas de impermeabilização, membranas, entre outros. O aglomerado expandido de cortiça torna-se assim num material a ter em conta, principalmente aquando da sua utilização na reabilitação de edifícios, nomeadamente nas coberturas de acessibilidade limitada, pois devido à sua particularidade de compatibilidade com outros materiais, evita a realização de betonilhas que iriam conferir um maior aumento de cargas sobre a estrutura de suporte (cobertura) [24].

Relativamente ao suporte (cobertura), o aglomerado expandido de cortiça pode ser aplicado em coberturas de betão, madeira e ainda metálicas, não apresentando qualquer compatibilidade com estes materiais.

#### 4.4.1.1 Exemplos de aplicação

##### 4.4.1.1.1 Coberturas inclinadas

Nas coberturas inclinadas, o revestimento térmico e acústico de cortiça, pode ser aplicado pelo lado exterior (Figura 16) ou pelo interior da laje de cobertura, sendo que por este lado, o isolante de cortiça pode ser empregue em contacto directo com a laje de cobertura (Figura 17) ou entre o vigamento desta (Figura 18).

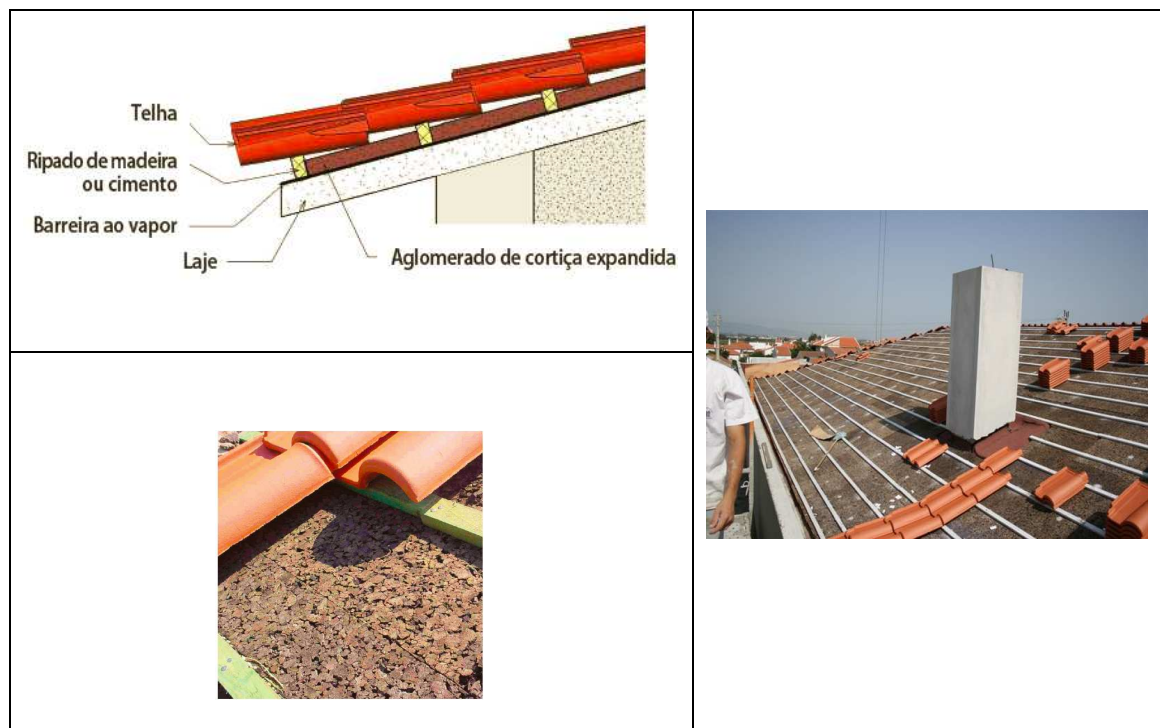


Figura 16 - Exemplo de aplicação do isolamento térmico e acústico de cortiça pelo lado exterior da laje de cobertura [26; 48]

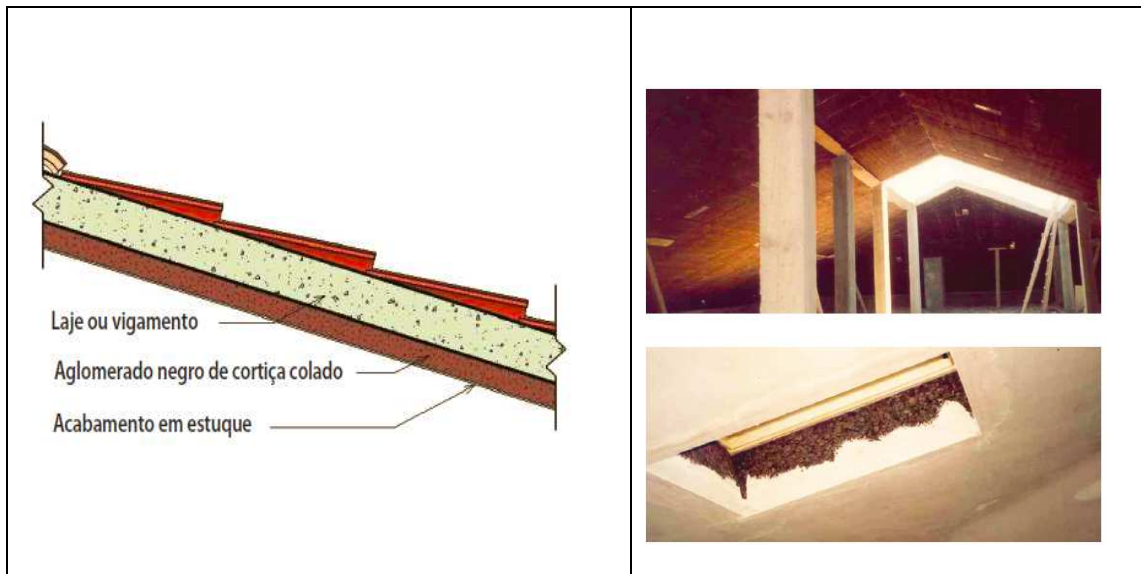


Figura 17 - Exemplo de aplicação do isolamento térmico e acústico de cortiça pelo interior da laje de cobertura [26]

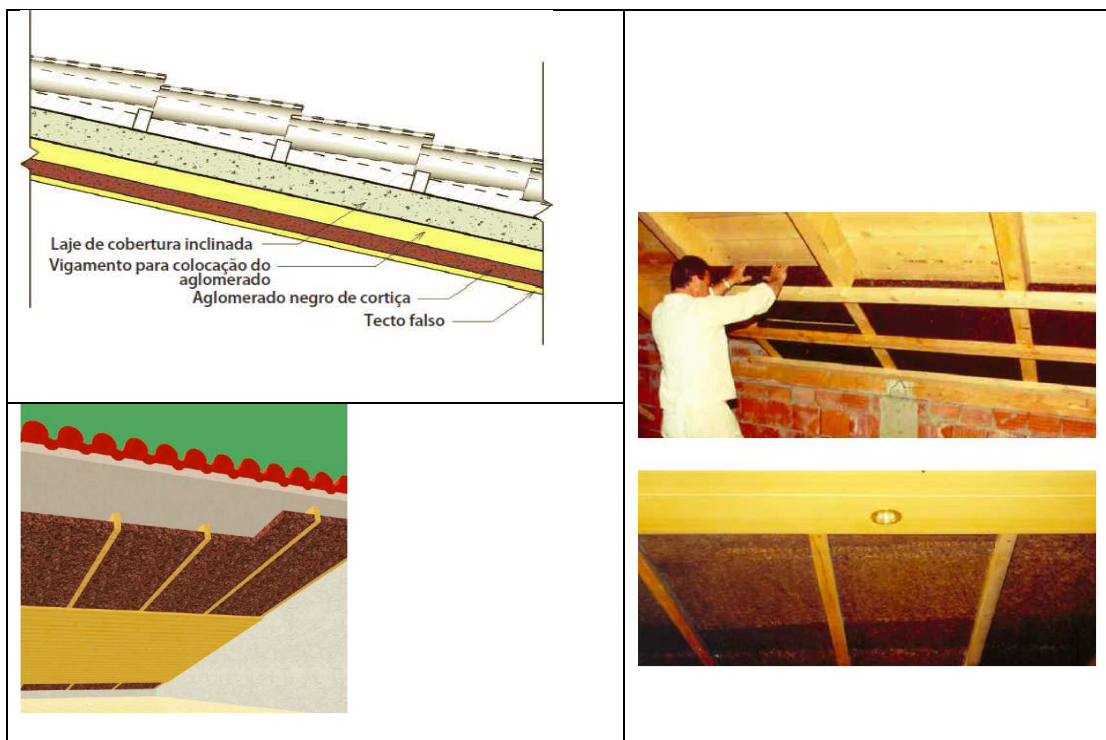


Figura 18- Exemplo de aplicação do isolamento térmico e acústico de cortiça entre o vigamento [26]

Em termos de fixação do isolamento de cortiça à cobertura, é usualmente realizado por um sistema de fixação mecânica, que pode ser executado com o recurso a buchas em PVC ou *nylon* (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**<sup>7</sup>, pode-se observar um exemplo de aplicação de isolamento de cortiça pelo exterior numa cobertura inclinada, utilizando buchas como fixação.



Figura 19 - Buchas utilizadas como fixação mecânica [48]

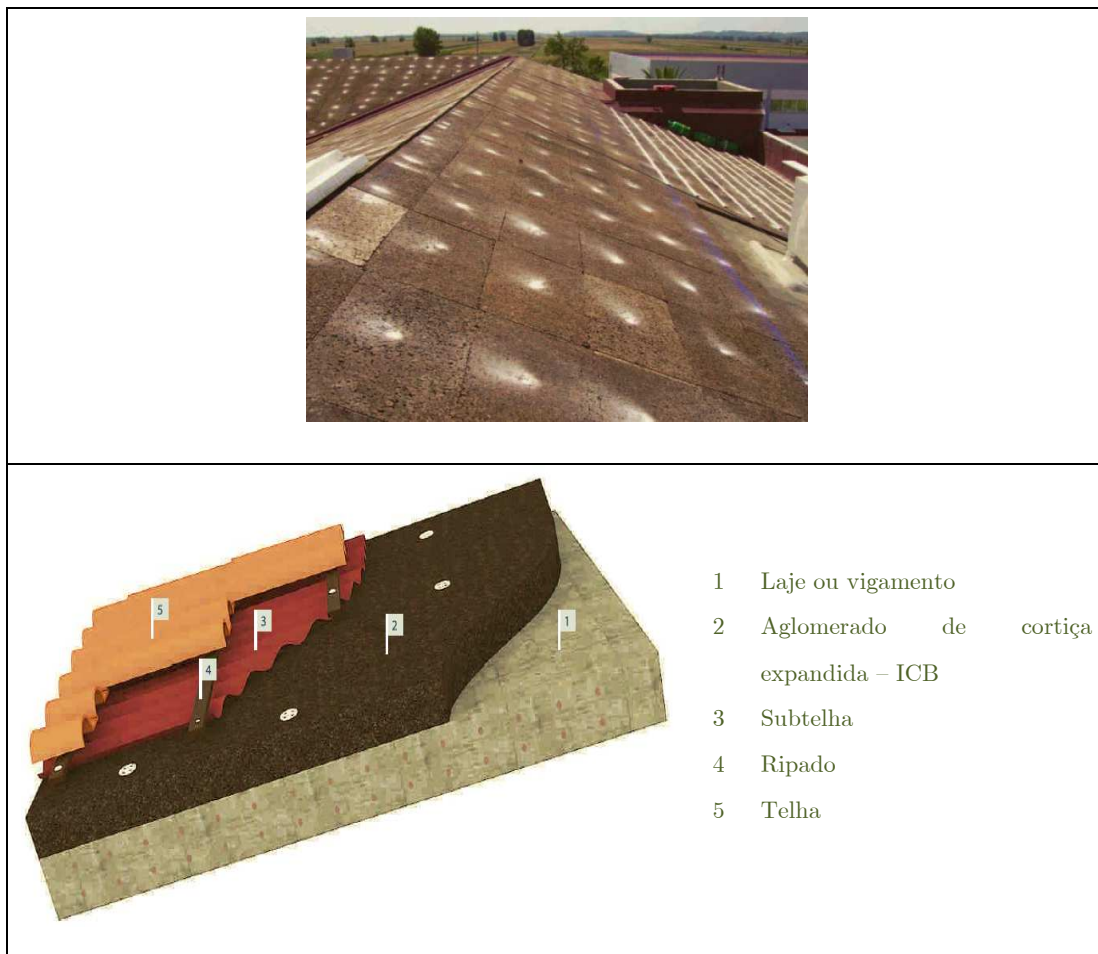


Figura 20 - Exemplo de isolamento térmico e acústico de cortiça diretamente na laje de betão recorrendo fixação a mecânica (buchas) [24]

Uma vez que a cortiça é um bom isolante térmico e acústico, é muitas vezes aplicada no revestimento de tetos. Pode ser utilizado como revestimento, aglomerado expandido ou ainda aglomerado composto de cortiça. Quando aplicado como revestimento pelo lado interior da cobertura (por exemplo em sótãos acessíveis), a colocação do aglomerado de cortiça pode ser efetuada diretamente sobre o teto, podendo ser pregada, colada ou aplicada com argamassa de cimento ou gesso [39].

No acabamento final, o isolamento e/ou revestimento de cortiça permite vários tipos de acabamentos, podendo este ser com face à vista (Figura 21), dissimulado por um teto falso

(Figura 18) e ainda pintado. No caso de se optar pela pintura como acabamento, esta deverá ser realizada de preferência com recurso a tintas de base aquosas ou outras tintas sintéticas que não façam diminuir a qualidade acústica do isolamento de cortiça, isto é, tintas que não preencham/tapem os “buracos” naturais existentes na placa de isolamento de cortiça.



Figura 21 - Revestimento de teto com face à vista de aglomerado composto de cortiça

#### **4.4.1.1.2 Laje de esteiras horizontais**

Para além da utilização do isolamento térmico e acústico de cortiça nas lajes de coberturas inclinadas, este pode ser empregue sobre lajes de esteiras horizontais (pavimento) de desvão de coberturas inclinadas, tanto em sótãos não acessíveis (Figura 22) como em sótãos acessíveis. A utilização do aglomerado de cortiça em sótãos acessíveis destinados a arrumos, é viável devido à sua resistência mecânica e deformabilidade, no entanto, neste tipo de pavimento as placas de cortiça deverão ser protegidas devido ao desgaste provocado pela circulação e pelas cargas pontuais [25].

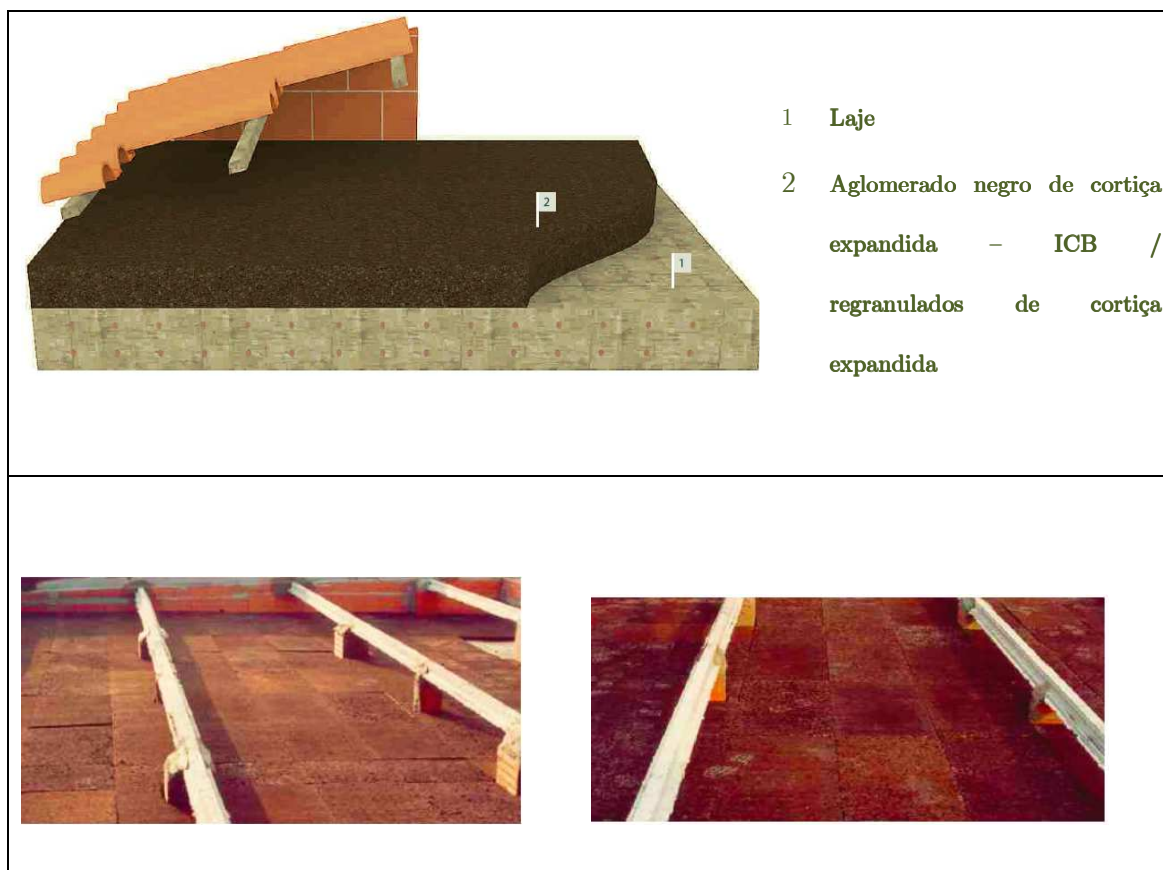


Figura 22 - Exemplo de isolamento térmico e acústico utilizando cortiça em lajes de esteiras horizontais (sótãos não visitáveis) [24; 26]

#### 4.4.1.1.3 Coberturas Planas

As coberturas planas podem ser classificadas, segundo diversos aspetos [27]:

- Quanto à sua acessibilidade – estas podem ser não acessíveis (à exceção de trabalhos de reparação e de manutenção); acessíveis a pessoas; acessíveis a veículos (ligeiros ou pesados) e especiais como por exemplo coberturas ajardinadas, equipamentos industriais, entre outros;
- Quanto ao tipo de revestimento de impermeabilização – estas podem ser executadas com revestimento tradicional ou não tradicional, ambas podem ser aplicadas “in situ” ou pré-fabricadas;

- Quanto à localização da camada de isolamento térmico – estas podem ser executas com o isolamento térmico aplicado sobre a estrutura resistente e sobrepostas por impermeabilização (cobertura tradicional) ou com isolamento térmico sobre a impermeabilização (cobertura “invertida”) e ainda com isolamento térmico sob a estrutura resistente (tecos falsos ou aderentes à camada resistente);
- Entre outros aspetos tais como – quanto à camada de proteção da impermeabilização; quanto à pendente e quanto à estrutura resistente.

No que diz respeito ao isolamento térmico e acústico para este tipo de cobertura, também ela poderá ser efetuada com recurso a aglomerado expandido de cortiça, com funções expostas no ponto 4.4.1. Algumas das vantagens que a cortiça apresenta quando aplicada neste tipo de cobertura são respetivamente a estabilidade à impermeabilização, minimização da função sobre a impermeabilização, proporciona sistemas de instalação e impermeabilização seguros e resistentes à força do vento. É também capaz de suportar cargas, permite o tráfego durante a fase de construção/aplicação e consegue ainda aguentar pressões permanentes sem a ocorrência de danos na sua superfície [28].

As camadas que constituem uma cobertura plana são na sua generalidade as apresentadas na Tabela 18, pelo que os seus elementos podem apresentar uma ordem diferente da exposta como também podem não existir na sua totalidade.

Tabela 18 - Camadas que constituem cobertura plana e respetiva função [27]

<b>Camada</b>	<b>Função</b>
<i>Suporte resistente (contínuo ou pontual)</i>	Elemento de suporte de coberturas (laje contínua ou um conjunto de elementos pontuais).
<i>Camada de forma</i>	Camada que irá garantir a pendente da cobertura.
<i>Camada de difusão</i>	Usada na distribuição da pressão de vapor em zonas de forte higrometria (muita produção de vapor de água).
<i>Barreira para-vapor</i>	Impede a passagem de vapor de água.
<i>Isolamento térmico</i>	Material com grande resistência térmica, que reduz as trocas térmicas entre interior e exterior.
<i>Camada de independência</i>	Elemento que separa o isolante térmico da impermeabilização (por exemplo geotêxtil).
<i>Revestimento de impermeabilização</i>	Material impermeável (por exemplo: tela asfáltica, tela de PVC entre outros).
<i>Camada de dessolirização</i>	Permite o funcionamento independente da impermeabilização e da camada de proteção, ajudando à preservação da impermeabilização.
<i>Camada de proteção</i>	Tem como principal função a proteção da camada de impermeabilização contra os agentes atmosféricos, bem como o acabamento final da cobertura.

A Figura 23 e a Figura 24 ilustram dois exemplos de constituição de uma cobertura plana tradicional contendo aglomerado expandido de cortiça como isolante térmico e acústico numa cobertura plana acessível e numa cobertura plana de acessibilidade limitada respetivamente.

Nas coberturas planas acessíveis (Figura 23) com a utilização de aglomerado expandido de cortiça, para além de esta apresentar propriedades de isolamento térmico possui ainda

características favoráveis de isolamento acústico, principalmente a sons de percussão, nomeadamente queda de objetos, circulação de pessoas, entre outros.

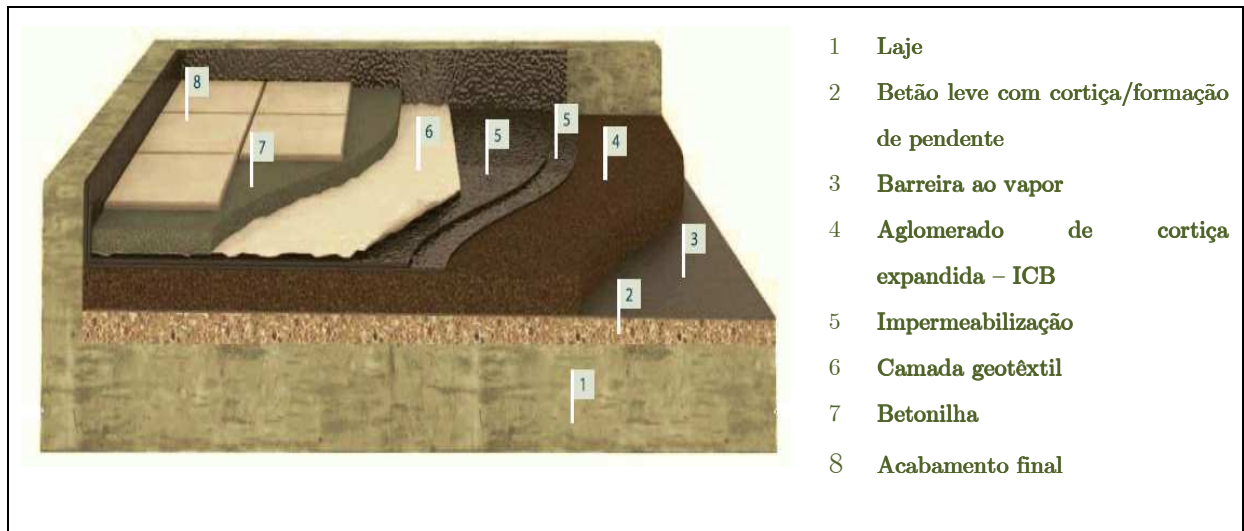


Figura 23 - Exemplo de cobertura acessível com isolamento térmico e acústico de cortiça [24]

Nas coberturas planas de acessibilidade limitada (Figura 24) a utilização de aglomerado expandido de cortiça permite, devido à sua resistência mecânica, a circulação de pessoas para trabalhos de reparação e de manutenção sem que haja danos na sua superfície (Figura 25).

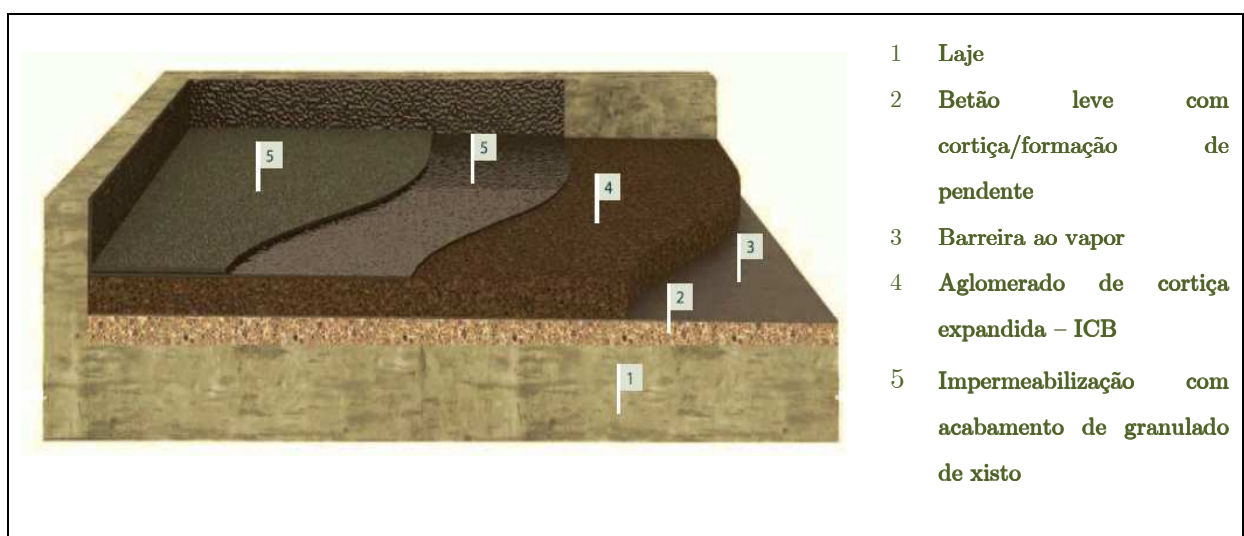


Figura 24 - Exemplo de cobertura de acessibilidade limitada com isolamento térmico e acústico de cortiça [24]



Figura 25 – Circulação de pessoas sobre o isolamento térmico e acústico de cortiça, em fase de obra para aplicação da impermeabilização [41]

No que diz respeito a coberturas de acessibilidade especial, mais concretamente a coberturas planas ajardinadas, a utilização de cortiça também é viável. A Tabela 19 expõe as camadas que na sua generalidade constituem este tipo de cobertura, dando exemplo de materiais que poderão ser utilizados bem como medidas que se devem adotar para cada elemento.

Tabela 19 - Cobertura plana ajardinada com elementos de construção e respectivas medidas a adotar para cada elemento [27]

<i>Camada</i>	<i>Exemplo</i>	<i>Funções</i>
<i>Suporte</i>	- Laje de betão armado - Laje pré-fabrica	O suporte pode eventualmente ser executado com pendente para não ser necessário a camada de forma.
<i>Camada de forma</i>	- Betão leve - Betão leve com cortiça	Em ambos os casos deverá efetuar-se uma regularização superficial com recurso a argamassa. A camada de forma deverá garantir uma pendente entre 1% e 2%.
<i>Sistema de impermeabilização</i>	- Tela de PVC - Sistema de telas asfálticas - Argamassas com aditivos	O sistema de impermeabilização deverá garantir a estanquidade da cobertura, não deixando passar água para o interior. Deverá ter-se em especial atenção o remate dos pontos singulares (ligação a platibandas, chaminés, tubos de queda, entre outros). Aquando da aplicação de telas asfálticas, deverá ser interposto um geotêxtil entre as mesmas e o isolante térmico. Uma vez que se trata de cobertura ajardinadas, o sistema de impermeabilização deverá possuir um repelente de raízes.
<i>Isolante térmico</i>	- Poliestireno extrudido - Poliuretano - Aglomerado expandido de cortiça	O isolamento térmico, pelas suas características deve reduzir as transferências térmicas com o interior. A resistência à passagem de calor é definida por dois fatores, coeficiente de condutibilidade térmica do material e espessura do mesmo.
<i>Feltro geotêxtil</i>		A utilização do geotêxtil nas coberturas ajardinadas garante para além da proteção do isolamento térmico a filtragem das águas pluviais, de modo a que os lixos não sejam conduzidos para as caleiras e tubos de quedas.

<i>Camada drenante</i>	- Gravilha - Leca - Esteira drenante	A utilização de uma esteira drenante tem como vantagens o facto de requerer menor espessura e de funcionar também como retentora de água permitindo uma periodicidade menor na rega das zonas ajardinadas.
<i>Feltro geotêxtil</i>		O feltro geotêxtil é utilizado com o intuito de impedir a penetração da terra vegetal no sistema de drenagem.
<i>Terra vegetal</i>		Para aligeiramento de cargas pode ser utilizada terra vegetal com Leca misturada ou com casca de pinheiro. Para um crescimento saudável das plantas (herbáceas) é necessário um mínimo de 30cm de terra vegetal. Para arbustos e árvores essa altura deverá ser aumentada, tomando como referência a altura da planta fora do solo.

A Figura 26 mostra um exemplo de aplicação de aglomerado expandido de cortiça como isolante térmico e acústico numa cobertura plana ajardinada.

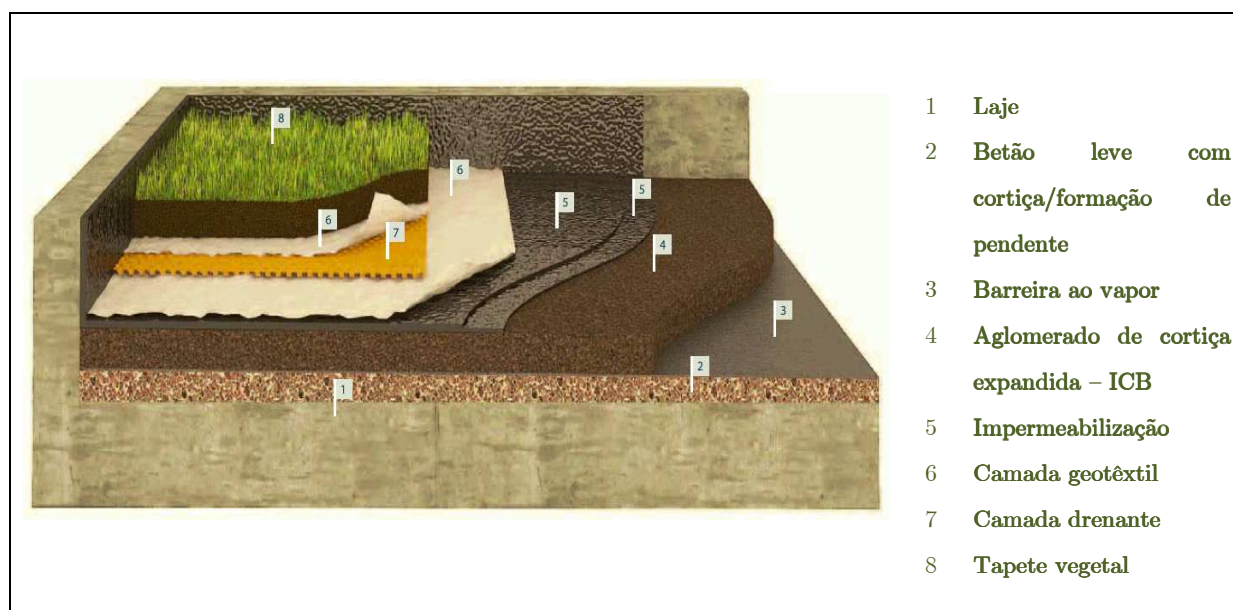


Figura 26- Exemplo de cobertura ajardinada com isolamento térmico e acústico de cortiça [24]

Para além da aplicação de aglomerado expandido de cortiça em coberturas planas de estruturas resistente rígida (lajes maciças e aligeiradas em betão armado), também é exequível a aplicação da cortiça em coberturas planas de estrutura resistente flexível, isto é, constituída estruturalmente com chapas metálicas nervuradas.

Para o isolamento de coberturas planas metálicas deverá ter-se em consideração, o seu isolamento térmico, redução da passagem de calor, proteção contra infiltrações de água e humidade. A utilização de aglomerado negro de cortiça como isolante térmico para este tipo de coberturas revela uma boa opção, devido à sua resistência mas também ao facto de permitir métodos de instalação seguros e resistentes à força do vento, bem como cargas de tráfego particularmente durante a fase de construção. Pode-se ainda com o uso de aglomerado expandido de cortiça tirar partido das suas características favoráveis de isolamento acústico a sons de percussão (circulação de pessoas queda de objetos, entre outros) [14-p.21].

As coberturas planas metálicas, são coberturas em que a minimização do peso constitui uma imposição pelo que deverão ser privilegiadas soluções leves, tais como elementos de constituição que possuam um peso relativamente baixo. O aglomerado expandido de cortiça torna-se assim numa possível solução, não só pelo seu baixo peso mas também por possibilitar o suporte do sistema de impermeabilização garantindo a estabilidade desta.

A Figura 27 ilustra um exemplo de aplicação de aglomerado expandido de cortiça como isolamento térmico e acústico numa cobertura plana de estrutura resistente metálica com os restantes constituintes.

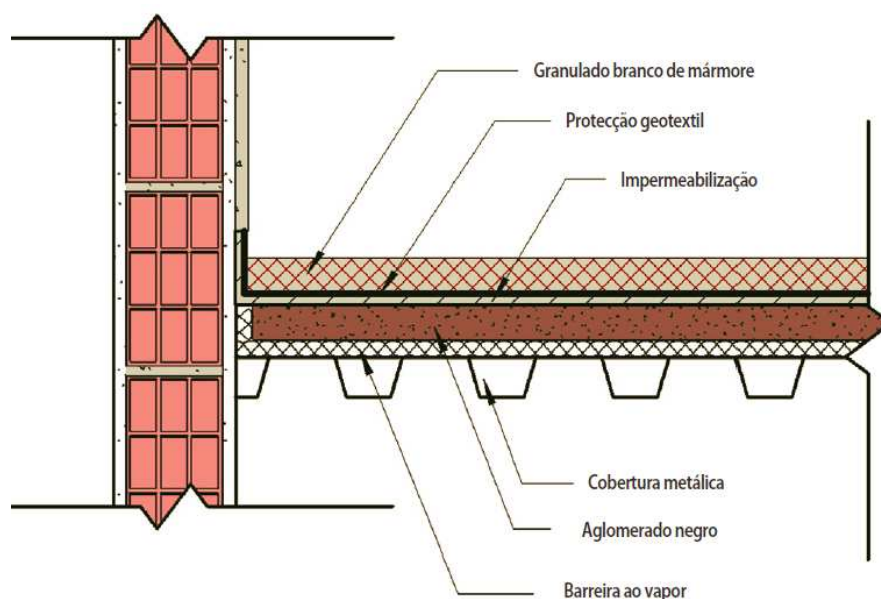


Figura 27 - Pormenor de cobertura com estrutura resistente metálica isolada termicamente e acusticamente com aglomerado expandido de cortiça [29]

#### 4.4.2 Isolamentos de Fachadas e Paredes Exteriores

Nas fachadas, com o intuito de minimizar os problemas de isolamento térmico das edificações, foram desenvolvidos sistemas de isolamento aplicados pelo lado exterior destas. Uma das possíveis soluções é a aplicação de isolamento térmico pelo lado exterior de paredes simples, que fazem parte da constituição da fachada, com revestimento aderido, designadamente sistema “ETICS” (External Thermal Insulation Composite System – Sistema de Isolamento Térmico pelo Exterior), outra solução é a aplicação de isolamento térmico em fachadas ventiladas e ainda aplicação de isolamento no interior de paredes duplas com o isolante a preencher parcialmente a caixa-de-ar formada pelos dois paramentos.

Para todas as soluções é exequível a aplicação de aglomerado expandido de cortiça como isolamento térmico, podendo este inclusive oferecer benefícios acústicos para a edificação, visto que, a cortiça para além de ser um bom isolante térmico é também um bom isolante

acústico, o que não acontece com outros tipos de isolamentos térmicos (por exemplo: poliestireno expandido, poliestireno extrudido, entre outros) que apesar de serem bons isolantes térmicos em termos de isolamento acústico apresentam fraca eficácia.

A utilização de aglomerado expandido de cortiça como revestimento térmico pelo lado exterior das fachadas é uma solução mais eficaz e menos dispendiosa comparativamente à aplicação de isolamento entre paramentos de paredes duplas, uma vez que é aproveitada apenas parte da inércia térmica das paredes, levando à correção de pontes térmicas, isto é, elementos não isolados, cujas propriedades promovem uma rápida dispersão ou transferência de calor de um material para outro, como por exemplo pilares, vigas, peitoris, entre outros. Com isto, existe a necessidade de se aumentar as espessuras das paredes, levando ao aumento do peso na estrutura e nas fundações, tornando-se por estas razões uma solução menos económica [14]

#### **4.4.2.1 Fachada em sistema “ETICS”**

O sistema de isolamento térmico pelo exterior, “ETICS”, é uma solução caracterizada pelos seguintes pontos [30].

- Economia de energia – pelo facto de haver uma diminuição das necessidades de aquecimento e arrefecimento do ambiente interior da edificação, resultado da redução do gradiente de temperatura a que ficam sujeitas as camadas interiores das paredes;
- Redução de pontes térmicas – isto é, de elementos não isolados, cujas características fazem com que haja uma rápida dispersão ou transferência de calor, causando desperdícios energéticos e fenómenos de condensações devido a uma

rápida variação das temperaturas (exemplos: juntas, pilares, vigas, varandas, peitoris, entre outros);

- Diminuição dos riscos de condensações;
- Aumento da inércia térmica – no interior dos edifícios, visto que, a maior parte da massa das paredes, localiza-se na parte interior do isolamento térmico;
- Diminuição da espessura das paredes – podendo conferir uma maior área habitável;
- Redução das cargas permanentes sobre a estrutura – isto é devido à diminuição do peso das paredes;
- Melhoria da impermeabilidade das paredes;
- Aumento da durabilidade das fachadas – protegendo o tosco das paredes de agressões atmosféricas (radiação solar, água das chuvas, choques térmicos, entre outros);
- Permite a colocação ou uma possível reabilitação das fachadas em obra sem perturbação dos ocupantes dos edifícios;
- O acabamento final pode ser efetuado com as mais variadas soluções.

A Figura 28 ilustra um exemplo de aplicação de aglomerado expandido de cortiça num sistema “ETICS”.

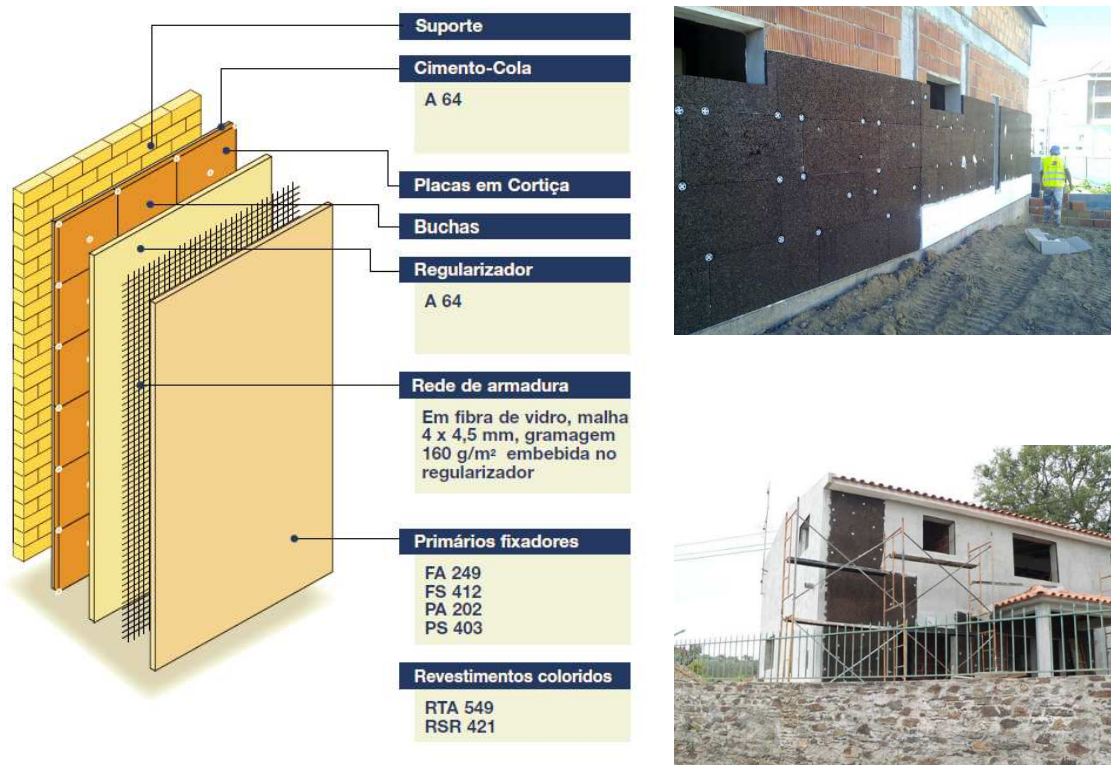


Figura 28 - Exemplo de fachada com sistema ETICS utilizando cortiça como isolante térmico [30; 49; 50]

Para além deste tipo de acabamento exterior, a aplicação de isolamento de cortiça pelo lado exterior da fachada em sistema “ETICS” pode ser realizada de forma contrária, isto é, de modo a que a cortiça possa ficar exposta (à vista) na fachada, com possibilidade, num futuro, de se poder finalizar o seu acabamento, caso assim o cliente pretenda, com as restantes camadas do sistema “ETICS” (rede de armadura – camada de primário – revestimento final).

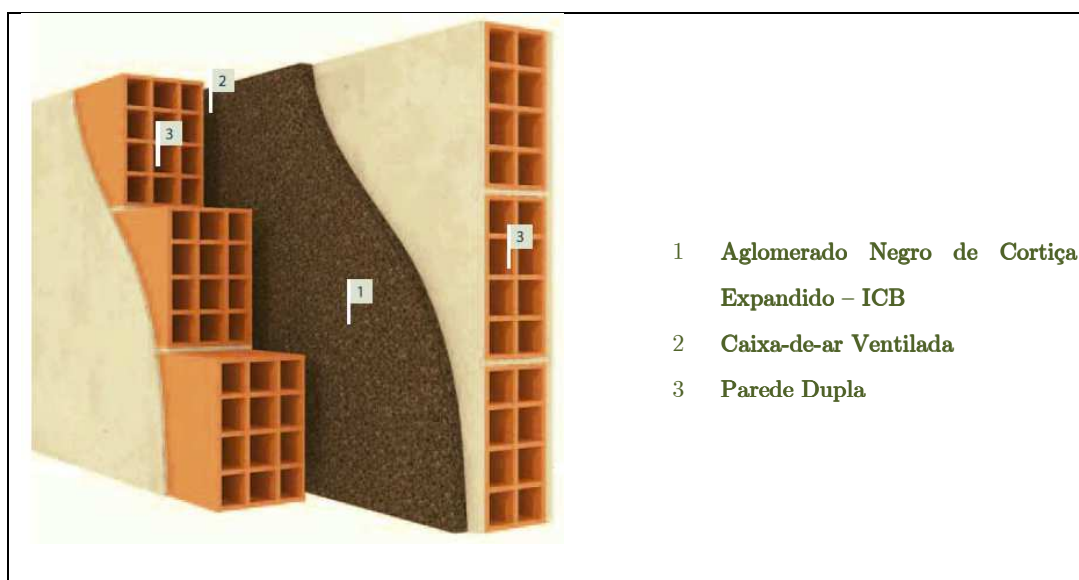
O pavilhão de Portugal na Expo Xangai 2010 (Figura 29) é um grande exemplo da utilização de cortiça em fachadas com face à vista, sendo que este edifício é constituído por aglomerado puro expandido como material de revestimento em todas as fachadas que constituem o edifício.



Figura 29 - Pavilhão de Portugal na Expo Xangai 2010 [51]

#### 4.4.2.2 Isolamento de paredes exteriores (caixa-de-ar)

Como referido em 4.3.2, a cortiça pode ser aplicada também como isolamento térmico no interior de paredes duplas com o isolante a preencher parcialmente a caixa-de-ar formada pelos dois paramentos. A Figura 30 expõe a constituição deste tipo de revestimento.



- 1 Aglomerado Negro de Cortiça Expandido – ICB
- 2 Caixa-de-ar Ventilada
- 3 Parede Dupla

Figura 30 - Exemplo de parede dupla (exterior) com isolante de cortiça [24]

Este tipo de isolamento pode acarretar sérios inconvenientes, devido a possíveis infiltrações que possam surgir para o interior da caixa-de-ar. Uma forma de combater este possível problema é a execução, sobre a laje, de uma caleira (Figura 31) - geralmente em quarto de círculo - na parte inferior da caixa-de-ar, tendo esta como função a recolha e o encaminhamento para o exterior de eventuais águas que possam surgir por infiltração, através de orifícios de drenagem, como nos mostra a Figura 32.



Figura 31 -Pormenor de caleira em quarto de círculo [31]



Figura 32 – Pormenor de caleira com tubo de drenagem numa parede exterior dupla [31]

Apesar de haver uma anulação ou redução de infiltrações de água para interior da habitação, continuará a verificar-se no interior a caixa-de-ar uma percentagem de humidade relativamente elevada que poderá ser transmitida ao interior da habitação provocando danos. Para este tipo de problema, a ventilação da caixa-de-ar proporcionada

pelos orifícios de drenagem acrescida da barreira originada pelo aglomerado expandido de cortiça permite a eliminação destes inconvenientes [28].

Na Figura 33, observa-se um pormenor construtivo do isolamento térmico e acústico em paredes exteriores duplas com recurso a aglomerado negro de cortiça.

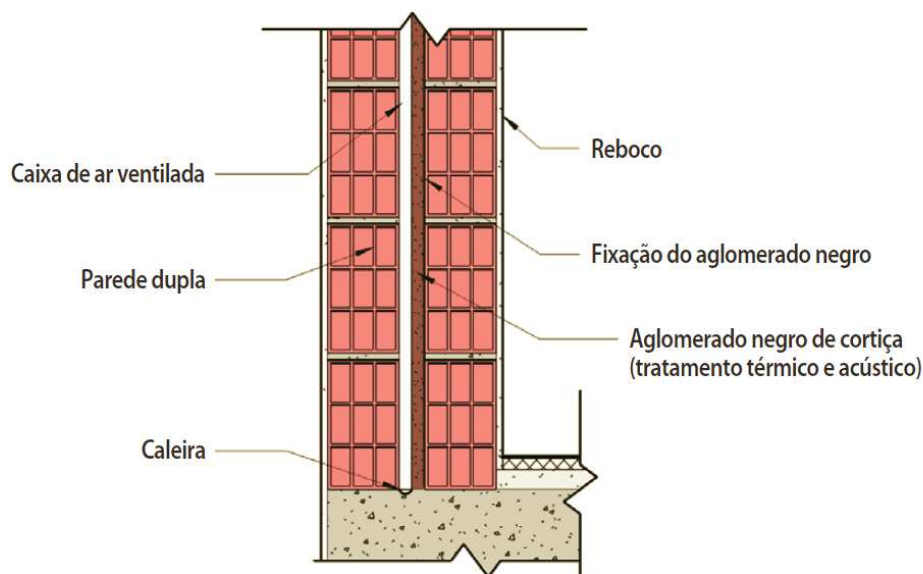


Figura 33 - Pormenor de parede exterior dupla com recurso a cortiça no isolamento térmico e acústico [32]

#### 4.4.3 Isolamento de paredes interiores

No isolamento de paredes interiores, mais concretamente na separação entre habitações, de modo a conferir um maior conforto tanto térmico como acústico entre as habitações, é usual executar-se alvenaria dupla em que a caixa-de-ar é de um modo geral totalmente preenchida com isolamento térmico e acústico, visto que a ocorrência de infiltrações entre habitações é mínima ou mesmo nula.

Na Figura 34 tem-se a representação de uma parede interior dupla, em alvenaria, com recurso a aglomerado negro de cortiça como isolamento térmico e acústico, tendo esta como acabamento final o reboco e pintura.

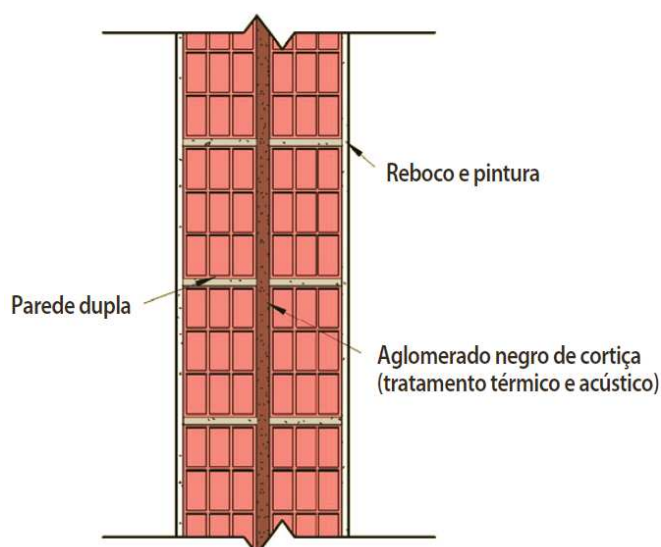


Figura 34 - Pormenor de parede interior dupla, em alvenaria, com aglomerado negro de cortiça como isolante térmico e acústico [32]

Em paredes interiores constituídas apenas por um pano de alvenaria, o isolamento térmico e acústico é aplicado na superfície exterior do paramento, podendo este ser empregue numa das faces ou se assim o entenderem também pode ser aplicado em ambas as faces do paramento. No acabamento deste tipo de aplicação opta-se usualmente por ocultar o isolamento através de placas de gesso cartonado, por forma a garantir um melhor conforto a nível visual do paramento em que este é aplicado.

Para este tipo de revestimento, pode ser empregue como isolante térmico e acústico aglomerado negro de cortiça, pelo que poderá ser dissimulado através de placas de gesso cartonado, como se pode ver pela Figura 35.

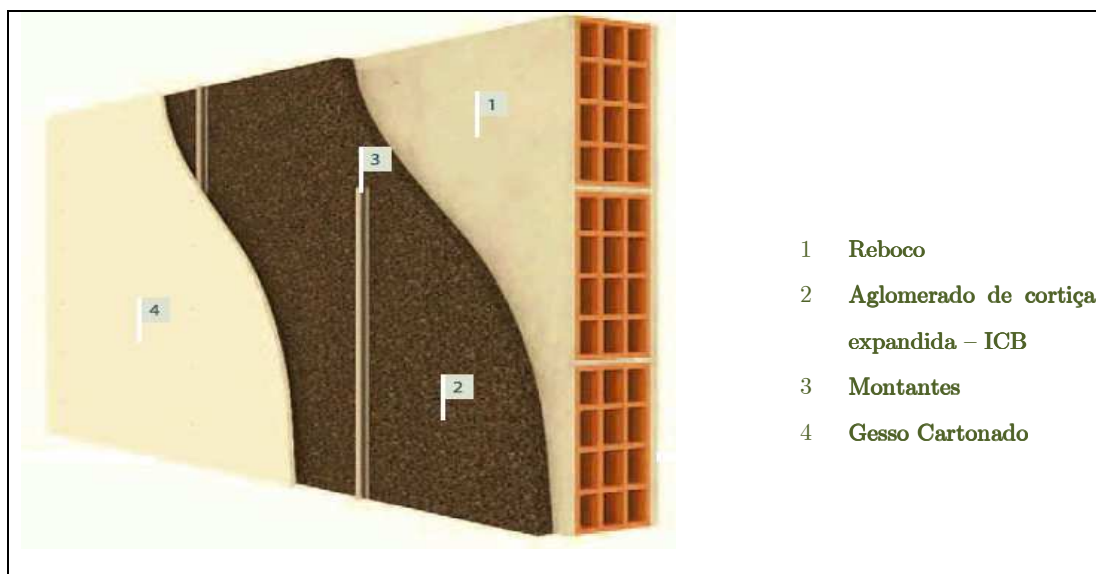


Figura 35 - Exemplo de parede interior isolada com aglomerado expandido de cortiça, dissimulada com recurso a placas de gesso cartonado [24]

Ou uma vez que se está na presença de um material nobre sendo nos dias de hoje uma opção de decoração, como se pode visualizar na Figura 36, o isolamento e/ou revestimento pode ser realizado em aglomerado negro de cortiça ou em aglomerado composto de cortiça, podendo ser executado com face à vista conduzindo a uma melhoria das condições de conforto térmico e principalmente acústico do espaço em que este é aplicado.

Este terá como principal funcionalidade a correção acústica de um espaço fechado e que em associação acaba também por isolar termicamente. É usualmente aplicado com vista à obtenção de características acústicas ideais principalmente ao nível da absorção e diminuição do tempo de reverberação (diminuição do eco) melhorando a definição, a clareza e inteligibilidade de sons aéreos como por exemplo palavras.



Figura 36 – Espaço com aplicação à vista de aglomerado negro de cortiça no paramento vertical interior, conferindo conforto quer a nível acústico quer a nível visual [53]

#### **4.4.4 Isolamento e/ou revestimento de pavimentos**

A cortiça em pavimentos pode ser empregue como isolamento ou como material de decoração (revestimento).

Quando aplicada como revestimento, esta para além de questões estéticas (decoração), confere ao pavimento uma melhoria na sua qualidade a acústica, principalmente a nível da absorção de ruídos de impacto (queda de objetos, passos, entre outros), por ser um material resiliente é capaz de absorver os choques do andamento conferindo um melhor conforto ao andar [14].

“A resiliência da cortiça faz com que os revestimentos com este material aliviem as tensões nas articulações e coluna, sendo agradável ao toque, mesmo com os pés descalços, facto importante em determinadas culturas e, para além disso, estes não retêm facilmente a sujidade e reduzem os ruídos de impacto ao caminhar” [6-p.21].

Para o isolamento e/ou revestimento de pavimentos, como referido em 4.2.2.2, são utilizados aglomerados compostos de cortiça, com massa volúmica na ordem dos 450-600

kg/m<sup>3</sup>, sendo comercialmente conhecidos por “parquet” [1;7]. Os produtos provenientes deste tipo de revestimentos apresentam uma vasta gama de soluções (**Figura 37**)



Figura 37 - Vários tipos de revestimento na aplicação de pavimentos [14]

#### **4.4.5 Isolamento com regranulado de cortiça**

Os grânulos e/ou os regranulados de cortiça têm as mais variadas aplicações no sector da construção civil. Estes podem ser empregues diretamente, isto é, como produto final ou podem ser utilizados como matéria-prima para a obtenção de um determinado aglomerado de cortiça com propriedades e características pretendidas [17].

Utilização direta: os grânulos e/ou regranulados de cortiça podem ser utilizados como isolamento térmico e acústico no preenchimento de espaços vazios, como no caso de paredes duplas ou sobre o teto do último piso [6].

É de realçar que os regranulados provenientes do desperdício dos aglomerados puros expandidos, são utilizados principalmente no enchimento de paredes, tarraxos e coberturas, e podem também ser utilizados em misturas com betão [6].

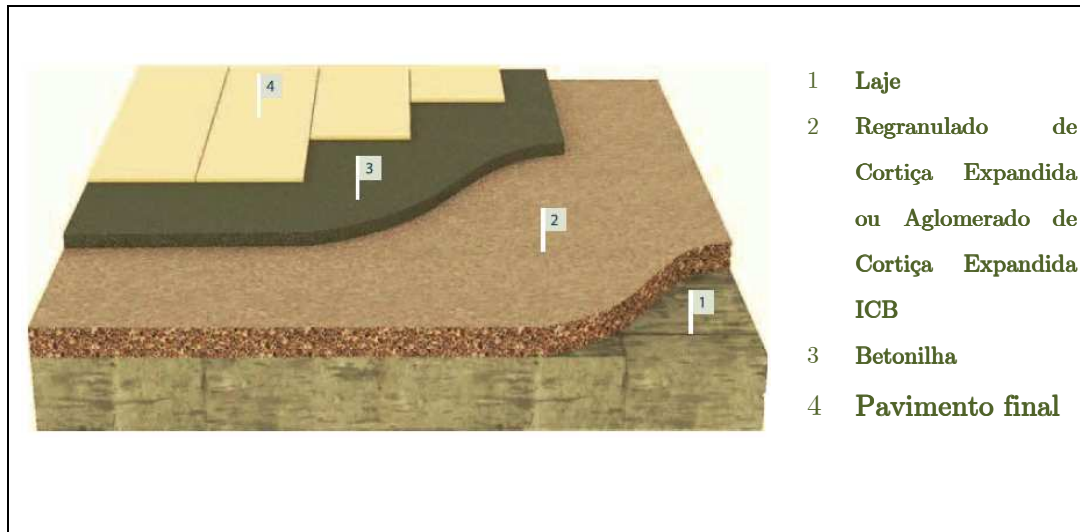


Figura 38 - Exemplo de incorporação direta no betão (betão leve) [24]

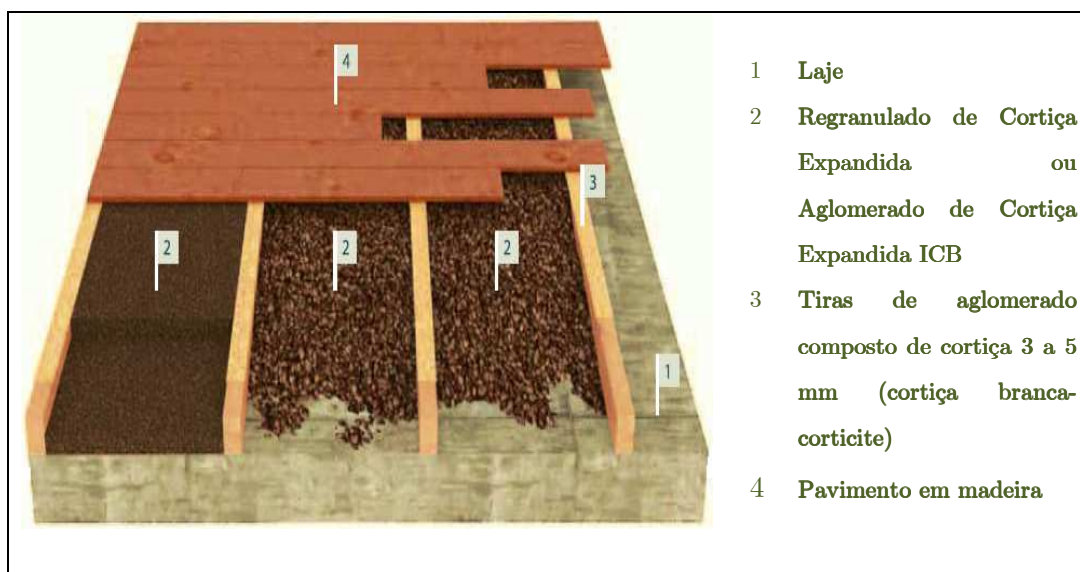


Figura 39 - Exemplos de enchimento da caixa-de-ar em soalhos [24]

#### **4.4.6 Isolamento Acústico**

A cortiça para além de ser aplicada como isolamento térmico, garantindo ao mesmo tempo boas características acústicas, é também capaz de ser empregue, contendo como principal função o isolamento acústico garantindo melhorias no isolamento térmico dos espaços.

Os aglomerados expandidos acústicos de cortiça, como referido no ponto 4.2.1.2.2, são obtidos a partir de grânulos de cortiça com dimensões (granulometria) numa gama de valores mais baixos que os aglomerados expandidos térmicos de cortiça. A massa volúmica para este tipo de aglomerado é normalmente menor ou igual a 100 kg/m<sup>3</sup>.

Em síntese o isolamento acústico é caracterizado por três tipos de isolamentos distintos, a correção acústica, o isolamento de ruídos aéreos e o isolamento de ruídos de percussão [40].

##### **4.4.6.1 Correção acústica**

O aglomerado expandido de cortiça, através de efeito de absorção permite a diminuição de tempo de reverberação (eco), podendo ser utilizado para a correção acústica dos mais diversos ambientes, tais como salas de espetáculo, auditórios, salas de aulas, entre outros [40]. Afigura Figura 40 ilustra um exemplo de aplicação de aglomerado de expandido acústico de cortiça, num paramento vertical.

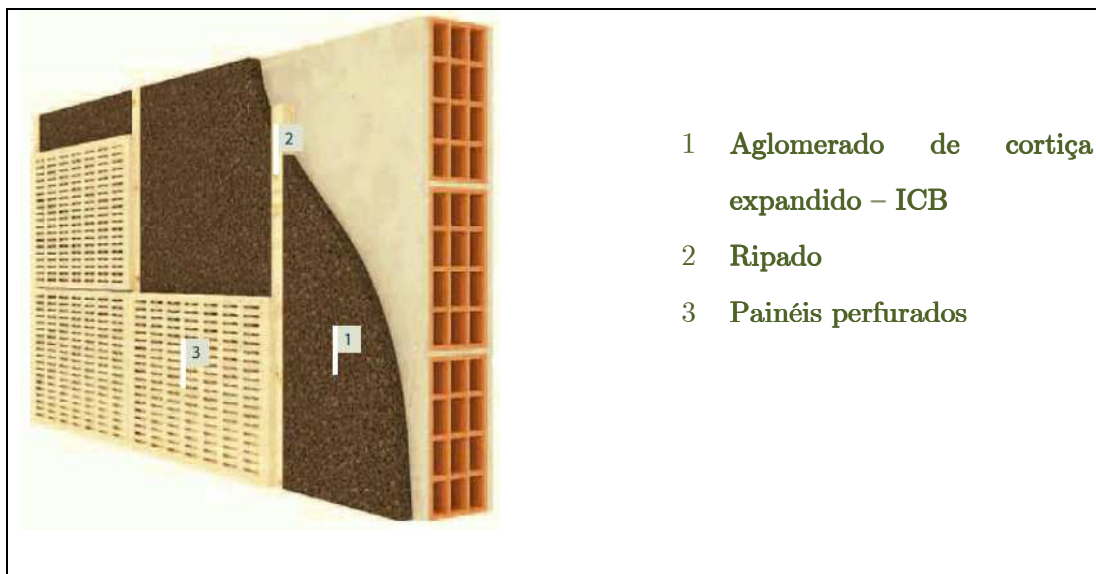


Figura 40 - Exemplo de isolamento acústico (correção acústica) [24]

#### 4.4.6.2 Isolamento de Ruídos aéreos

Este tipo de isolamento é assegurado tanto pelos elementos construtivos constituintes das fachadas, como pela compartimentação horizontal e vertical interior, sendo o principal redutor de transmissão de ruído aéreo o isolante acústico.

O aglomerado expandido acústico de cortiça pode ser utilizado no sector da construção como isolante acústico nas reduções de transmissão de ruído aéreo, podendo ser empregue em pisos ou paredes. Na Figura 41, pode-se visualizar um exemplo de aplicação deste tipo de isolante na absorção acústica de ruídos aéreos num elemento horizontal (pisso).

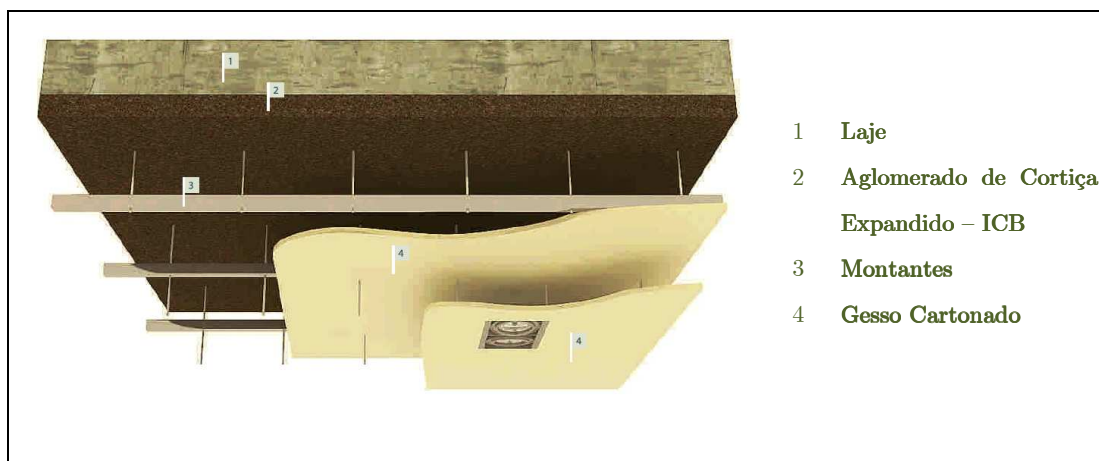


Figura 41 – Exemplo de isolamento de ruídos aéreos utilizando cortiça [24]

#### 4.4.6.3 Isolamento de ruídos de percussão

Com o isolamento dos ruídos de percussão, pretende-se reduzir o nível sonoro dos ruídos resultantes do impacto nos elementos construtivos ou de compartimentação. Para uma obtenção de máxima eficácia neste tipo de isolamento, seria ideal separar, dentro do construtivamente possível, os elementos de construção por materiais resilientes, com o intuito de se evitar ligações rígidas, havendo um “corte” efetivo da transmissão de vibrações (transmissões marginais).

O aglomerado expandido de cortiça pode ser utilizado como isolamento de ruídos de percussão, podendo ser aplicado entre o pavimento final e a laje, reduzindo deste modo os ruídos de impacto provenientes de queda de objetos, passos entre outros. Pode ainda ser utilizado como material de separação, por ser um material resiliente, conferindo descontinuidade entre a betonilha de piso e as paredes circundantes (Figura 42), eliminando desta forma as transmissões marginais [40].



Figura 42 – Descontinuidade entre paredes e pavimento utilizando aglomerado expandido de cortiça, para a eliminação de transmissões marginais [52]

Na Figura 43, pode-se observar uma possível utilização de aglomerado expandido de cortiça no isolamento de ruídos de percussão, com respectiva aplicação no pavimento e como descontinuidade entre paredes e pavimento.

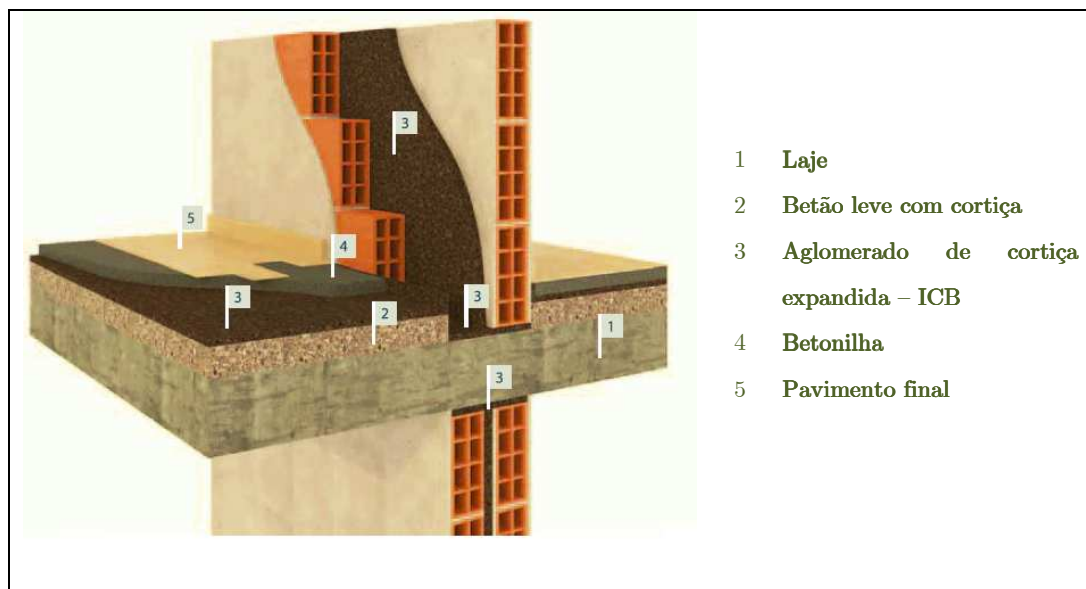


Figura 43 - Exemplo de isolamento a ruídos de percussão num edifício utilizando cortiça como isolante [24]

#### 4.4.7 Isolamento antivibrático

Neste campo de aplicação, a cortiça pode ser empregue no suporte/base de máquinas, diminuindo as vibrações originadas por estas às estruturas em que assentam, podendo ser também utilizada nas fundações de construção e juntas [17]. Para este tipo de aplicação utilizam-se normalmente aglomerados expandidos vibratórios, que apresentam valores de massa volúmica acima dos  $170 \text{ kg/m}^3$ , tendo como principal característica a sua resistência mecânica e a sua grande capacidade de suporte a cargas relativamente elevadas [17].

Os aglomerados compostos de cortiça com borracha, também podem ser utilizados como isolantes na redução de vibrações mais concretamente em juntas de dilatação e também como sub-pavimentos, nomeadamente para pisos flutuantes.



Figura 44 – Exemplo de juntas de dilatação contendo aglomerado de cortiça [24]

#### 4.4.8 Cortiça em argamassas e betões

Como referido no ponto 4.1.2, para a produção de argamassas e betões podem ser utilizados grânulos de cortiça como matéria-prima, sendo possível a sua fabricação com substituição total ou parcial dos agregados convencionais (areias e britas), conferindo deste modo aligeiramento do peso nos elementos de construção. É também de realçar, que para

este tipo de produto, podem ser também utilizados regranulados provenientes do desperdício dos aglomerados puros expandidos [6].

Na Figura 45 ilustra um exemplo de distribuição no interior de betão com grânulos de cortiça natural (a) e com grânulos de cortiça expandida (b).

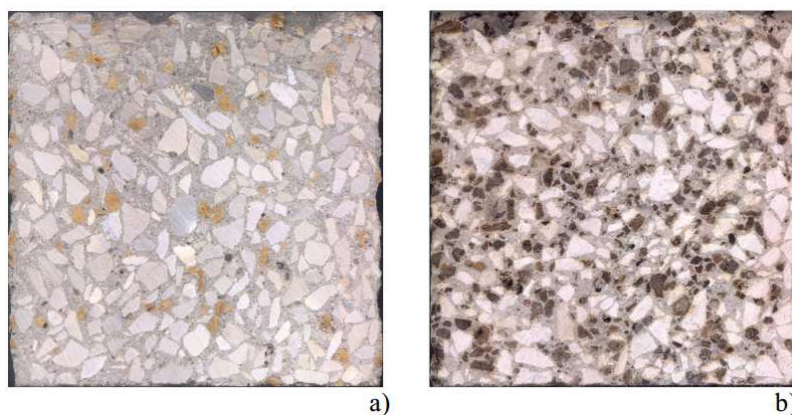


Figura 45 - Betão com grânulos de cortiça natural (a) e betão com grânulos de cortiça expandida (b) [57]

Segundo dados de um fabricante, algumas das vantagens que a cortiça oferece quando aplicada em argamassas e betões, para além do aligeiramento do peso nos elementos de construção, confere melhorias no isolamento térmico e acústico, reduz os ruídos de percussão e contribui para uma construção sustentável, uma vez que pode ser fabricada com a utilização de regranulados de cortiça provenientes da reciclagem de aglomerados puros expandidos [56].

A cortiça em argamassas e betões apresenta as mais diversas aplicações, tais como no aligeiramento de lajes, na correção acústica de pavimentos e paredes, no isolamento térmico e acústico de lajes de esteira, no enchimento de paredes, nos enchimentos leves com betonilhas, entre outras [56]. Na **Figura 43 - Exemplo de isolamento a ruídos de percussão num edifício utilizando cortiça como isolante** [24] Figura 43 pode-se visualizar um exemplo de

utilização deste tipo de produto em pavimentos, como camada de enchimento e regularização (betão leve com cortiça).

## **5 Para concluir**

Com a crescente procura de materiais de construção mais amigos do ambiente, tem surgido nos dias de hoje, principalmente no sector da construção (um dos maiores responsáveis no que diz respeito às agressões ambientais), diversas soluções de produtos, cuja obtenção e produção é realizada de forma mais consciencializada. A indústria da construção tem por isto procurado soluções mais amigas do ambiente, a nível da produção, passando pela mitigação de possíveis excedentes da energia gasta na obtenção de produtos e ainda na procura de materiais com menor impacto ambiental.

Em virtude desta procura de materiais mais amigos do ambiente, surge a cortiça como possível substituo de diversos produtos existentes, podendo ser aplicada com as mais diversas finalidades, como por exemplo nos isolamentos térmicos, acústicos, antivibráticos, bem como na obtenção de inertes para o fabrico de betões e argamassas. No entanto, para que a cortiça possa substituir os materiais já existentes, tem que ser capaz de passar com satisfação as mais diversas regulamentações/imposições.

Com a presente dissertação pude observar que a cortiça é uma material que apresenta grande versatilidade, com boas características técnicas nas mais diversas áreas de aplicação. Quando analisadas e comparadas as suas características técnicas com outros materiais concorrentes, apesar de a cortiça obter características similares, não é na generalidade, a melhor opção em termos de características técnicas. Nos dois principais campos do sector da construção, isto é, no isolamento térmico e acústico, a cortiça perde em termos de características técnicas para outros materiais, no entanto ganha vantagens em outros aspetos, nomeadamente quando é sujeito a cargas.

Na térmica, a cortiça em termos técnicos não é o material que apresenta a melhor solução de isolamento térmico, pois existem materiais com coeficiente de condutibilidade térmica inferior ao apresentado pela cortiça. No entanto, se se tratar da aplicação de isolamento térmico em coberturas acessíveis ou de acessibilidade limitada, a cortiça apresenta vantagens relativamente a outros materiais, devido à capacidade que esta apresenta em suportar cargas, permitindo o tráfego durante a fase de construção bem como a sua capacidade no suportar cargas permanentes sem ocorrência de danos na sua superfície. Uma outra vantagem que a cortiça apresenta em relação a outros materiais térmicos concorrentes, é que a cortiça pode ser aplicada com face à vista, podendo ser utilizado no revestimento de fachadas e no revestimento de paredes interiores (por exemplo numa reabilitação de uma habitação). Por ser um material nobre, é também nos dias de hoje utilizado como opção de decoração, garantindo ao mesmo tempo melhorias nas condições térmicas e acústicas do compartimento.

No campo da acústica a cortiça apesar de ser um material que pode ser aplicado nos três campos isolamento acústico (correção acústica, ruídos aéreos e de ruídos de percussão) destaca-se entre estes três campos, no isolamento de sons de precursão, visto ser um material resiliente torna-se num material ideal para separar elementos de construção (elementos construtivos ou de compartimentação), a fim de evitar ligações rígidas, havendo um “corte” efetivo das transmissões marginais.

Em termos de custos a cortiça é um material bastante dispendioso, pela **Tabela 20** pode-se constatar, que em relação a outros materiais utilizados como isolamento, a cortiça é o material mais caro.

Tabela 20 - Custos de materiais isolantes. [18]

Isolante Espessura = 5cm		Custo económico [€/m <sup>2</sup> ]
Lã Rocha	20-35 kg/m <sup>3</sup>	2.60
	35-180 kg/m <sup>3</sup>	3.65
Lã Vidro	8-12 kg/m <sup>3</sup>	2.20
	12-80 kg/m <sup>3</sup>	3.40
Aglomerado negro de cortiça		7.70
Poliestireno expandido (EPS)		5.50
Poliestireno expandido extrudido (XPS)		7.30
Espuma de poliuretano		5.50
Fibra de côco		7.50

Em termos ambientais a cortiça, por ser um material 100% natural e ecológico ganha vantagem face a outros materiais concorrentes no sector da construção. A cortiça para além de ser um material natural é capaz de ser reutilizável e reciclável, com conseqüente valorização e mitigação de resíduos, contribuindo deste modo, para uma construção mais sustentável. Um outro aspeto a ter em conta, é que a produção de cortiça pode ser efetuada com gastos energéticos mínimos, que leva por sua vez à criação de produtos com energia incorporada bastante reduzidos, contribuindo deste modo para a diminuição do impacto ambiental face a outros materiais.

Um outro aspeto muito importante diz respeito à contribuição da cortiça, a nível económico e social para Portugal, na medida em que são garantidos inúmeros postos de trabalhos diretos e indiretos na indústria corticeira. Uma vez que Portugal é maior produtor e exportador de cortiça a nível mundial, será importante garantir viabilidade económica na indústria corticeira, apostando na aplicação de produtos de cortiça no sector construção e na criação de novos produtos, garantindo a preservação da biodiversidade da natureza e do combate às alterações climáticas.



## 6 Bibliografia:

- [1] – Fortes, Manuel Amaral; Rosa, Maria Emília; Pereira, Helena (2006), *A Cortiça*, Lisboa, IST Press.
- [2] – Pereira, João Santos; Bugalho, Miguel Nuno; Caldeira, Maria da Conceição (2008), *Do sobreiro à cortiça - Um sistema sustentável*, St<sup>a</sup> M<sup>a</sup> de Lamas, Ed. APCOR.
- [3] – Gil, Luís (2012), “Cortiça”, in Gonçalves, M. Clara; Margarido, Fernanda (Ed.), *Ciência e Engenharia de Materiais de Construção*, Lisboa, IST Press, 664 - 715.
- [4] – Chiebao, Fernanda (2011), *Cortiça e Arquitetura*, Lisboa, Euronatura.
- [5] – Evangelista, Mafalda (2011), *Cortiça. Cultura, Natureza, Futuro - Estudo de Caracterização Sectorial*, St<sup>a</sup> M<sup>a</sup> de Lamas, Ed. APCOR.
- [6] – Gil, Luís (2007), *A Cortiça - como material de construção. Manual Técnico*, St<sup>a</sup> M<sup>a</sup> de Lamas, Ed. APCOR.
- [7] – Costa, M. Lurdes Belgas; Branco, Fernando G. (2010), “Valorização dos resíduos da indústria da cortiça (granulados) como agregados no fabrico de argamassas e betões”, in Ferreira, Victor M.; Bragança, Luís; Dias, António Baio; Afonso, Armando Silva; Brito, Jorge de (Coord. Ed.), *Inovação na Construção Sustentável*, Curia, 113 – 124.
- [8] – Parreira, José Joaquim A., *A Industrialização da Cortiça no Norte de Portugal – O caso das fábricas Menéres*, in: <http://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/5287.pdf>.
- [9] – *Cortiça: Os factos*, APCOR, in: [http://www.apcor.pt/userfiles/File/CorticaFactos\\_CIB\\_Port.pdf](http://www.apcor.pt/userfiles/File/CorticaFactos_CIB_Port.pdf).

- [10] – *Cortiça*, Amorim Holding II, SGPS S.A., in:  
[http://www.grupoamericoamorim.com/xms/files/Areas\\_de\\_Actividade/Cortica\\_2011.pdf](http://www.grupoamericoamorim.com/xms/files/Areas_de_Actividade/Cortica_2011.pdf)  
.
- [11] – Mestre, Ana; Campelo, M<sup>a</sup> da Graça; Silva, Marta; Velhinho, Ricardo (2006),  
*Dossier Info Cortiça - Sector e Materiais de Cortiça*, Alentejo, Ed. SUSDESIGN.
- [12] – Decreto-Lei n.º 169/2001 de 25 de maio
- [13] – Silva, Maria Emília Calvão Moreira da (2010), *A cortiça - Suas Características e Propriedades - Apontamentos de tecnologia dos produtos florestais*, UTAD.
- [14] – Chiebao, Fernanda (2011), *Manual Materiais de Construção e Decoração*, St<sup>a</sup> M<sup>a</sup> de Lamas, Ed. APCOR.
- [15] – *Cortiça História*, APCOR, <http://apcor.pt/userfiles/File/Cortica.pdf>.
- [16] – Materiais de Construção e Decoração, APCOR, in:  
[http://apcor.pt/userfiles/File/Materiais\\_de\\_construcao\\_PT.pdf](http://apcor.pt/userfiles/File/Materiais_de_construcao_PT.pdf).
- [17] – Gil, Luís (1998), *Cortiça. Produção, Tecnologia e Aplicação*, Lisboa, INETI.
- [18] – Labrincha, João (2006), *Casa do Futuro – Sub-Projecto de Térmica*, Universidade de Aveiro.
- [19] – Silva, Pedro Correia Pereira da (2006), *Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VISUAIDOE*, EE - UM (Tese de Mestrado).

- [20]- Mendonça, Paulo Jorge Figueira de Almeida Urbano de (2005), *HABITAR SOB UMA SEGUNDA PELE – Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construção Solares Passivas e Climas Temperados*, EC - UM (Tese de Doutoramento).
- [21] - RCCTE
- [22] – Coeficiente de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, LNEC (2006)
- [23] – Marreiros, Noélia; Gil, Luís; Cortiço (2010), “Vantagens da cortiça na construção sustentável”, in Ferreira, Victor M.; Bragança, Luís; Dias, António Baio; Afonso, Armando Silva; Brito, Jorge de (Coord. Ed.), *Inovação na Construção Sustentável*, Curia, 135 – 138.
- [24] – *Isolamento Perfeito – Em qualquer ambiente*, in: <http://www.isocor.pt/wp-content/uploads/2012/02/catalogo.pdf> (consultado em 2 de Setembro de 2013).
- [25] – Santos, Tânia, *Isolamento Térmico com Cortiça*, Edição Construlink.com, in: [http://www.construlink.com/Homepage/2003\\_GuiaoTecnico/Ficheiros/dt\\_35\\_isolamento\\_termico\\_2010\\_11\\_16.pdf](http://www.construlink.com/Homepage/2003_GuiaoTecnico/Ficheiros/dt_35_isolamento_termico_2010_11_16.pdf) (consultado em 19 de Agosto de 2013).
- [26]- *Ficha técnica - Isolamento de Coberturas Inclinadas*, in: <http://www.projectista.pt/wp-content/uploads/2010/06/CoberturasInclinadas1.pdf> (consultado em 19 de Agosto de 2013).
- [27] – Coberturas Planas – Classificação das coberturas em Terraço, in: [http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1136\\_\\_\\_CoberturasPlanas.pdf](http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1136___CoberturasPlanas.pdf) (consultado em 19 de Agosto de 2013).

- [28] – [http://www.tccsa.pt/joomla/images/stories/isolaacust\\_termicos/amorim](http://www.tccsa.pt/joomla/images/stories/isolaacust_termicos/amorim) (consultado em 19 de Agosto de 2013).
- [29] – *Ficha Técnica - Isolamento de Coberturas Planas* *Ficha técnica de coberturas planas sistema tradicional*, in: <http://www.projectista.pt/wp-content/uploads/2010/06/CobPlanas1.pdf> (consultado em 19 de Agosto de 2013).
- [30] – *Sistema “Capote” Isolamento Térmico*, in: <http://www.fassabortolo.pt/detalhe/pressarea/10-sistemacappottopt/pressareapo-1/sistema-%27capote%27-isolamento-t%C3%A9rmico.html> (consultado em 20 de Agosto de 2013).
- [31] - Prof. Inês Flores-Colen; Prof. João Ramôa Correia; ...Processos construtivo de paredes de alvenaria(IST)
- [32] – Ficha técnica Isolamento de paredes ISOCOR
- [33] – *Euroclasses de Reacção ao Fogo*, in: <http://www.serc-europe.com/serc/portugues/ppci/SERC%20DOC.009.R0-Euroclasses%20de%20Reacao%20ao%20Fogo.pdf> (consultado em 4 de Setembro de 2013).
- [34] – *Unidade de Reação ao Fogo*, LNEC, in: <http://www.lnec.pt/Ensaios%20e%20Metrologia/lerf> (consultado em 4 de Setembro de 2013).
- [35] – Reis, Maria de Lurdes Belgas Costa; Moreira, Anabela Mendes (2009), *Propriedades dos Materiais*, Tomar, ESTT.
- [36] – As propriedades da cortiça, in: <http://www.promocork.com/properties-cork.php?l=pt> (consultado em 27 de Junho de 2013).

[37] – *Eco-eficiência dos Materiais de Construção*, in:

[http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/10724/1/Dossier\\_Eco-eficiencia%5B1%5D.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/10724/1/Dossier_Eco-eficiencia%5B1%5D.pdf) (consultado em 4 de Julho de 2013).

[38] – Faustino, Jorge de Jesus Pereira (1997), *Análise de Soluções Construtivas Face à Difusão de Vapor – Importância da Composição e do Clima*, FEUP-UP (Dissertação de Mestrado).

[39] – *Revestimentos Interiores de Tectos*, in:

[http://lftc.civil.uminho.pt/Textos\\_files/construcoes/cp2/Cap.%20XVI%20-%20Revestimento%20Interiores%20de%20Tectos.pdf](http://lftc.civil.uminho.pt/Textos_files/construcoes/cp2/Cap.%20XVI%20-%20Revestimento%20Interiores%20de%20Tectos.pdf) (consultado em 13 de Agosto de 2013).

[40] – *Ficha Técnica - Isolamento Acústico*, in: <http://www.projectista.pt/wp-content/uploads/2010/06/Acustico1.pdf> (consultado em 13 de Agosto de 2013).

[41] – *Aislamientos de corcho natural*, in:

<http://enconstruccionblog.wordpress.com/2013/03/04/aislamientos-de-corcho-natural/> (consultado em 15 de Agosto de 2013).

[42] – <http://omeujardim.com/files/sobreiro2.jpg> (consultado em 4 de Maio de 2013).

[43] – *O Montado*, in: <http://apcor.pt/artigo/271.htm> (consultado em 6 de Maio de 2013).

[44] – *O sobreiro*, in: <http://quadrogiz.blogspot.pt/2012/03/os-sobreiros-sonham-de-armindo.html> (consultado em 6 de Maio de 2013).

[45] – *O Montado*, in:

[http://www.geocaching.com/seek/cache\\_details.aspx?guid=7a96cc42-1315-40c6-9293-146ecd8fa001](http://www.geocaching.com/seek/cache_details.aspx?guid=7a96cc42-1315-40c6-9293-146ecd8fa001) (consultado em 6 de Maio de 2013).

[46] – *Cortiça Portuguesa*, in: <http://www.artdesignbahia.com.br/cortica.htm> (consultado em 6 de Maio de 2013).

[47] – *Mecanismos de Transferências de Calor*, in:  
<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-9.html> (consultado em 19 de Junho de 2013).

[48] – *SOTECNISOL – Materiais*, in:  
<http://www.sotecnisol.pt/materiais/produtos/solucoes-de-impermeabilizacao-isolamentos-e-drenagens/produtos-complementares/buchas-com-prego/buchas-com-prego/> (consultado em 19 de Agosto de 2013).

[49]– *Sofalca – Sociedade Central de Produtos de Cortiça Lda*, in: <http://sofalca.pai.pt/> (consultado em 21 de Agosto de 2013).

[50]– <http://www.isosombra.com/site/obras-realizadas> (consultado em 21 de Agosto de 2013).

[51]– *Um Expresso do Oriente português – Xangai*, in:  
<http://cortesdecima.com/pt/general/a-portuguese-orient-express-shanghai/> (consultado em 21 de Agosto de 2013).

[52]– <http://forumdacasa.com/discussion/19670/5/miniregisto-com-momentos-de-obra/> (consultado em 13 de Agosto de 2013).

[53] – <http://blogs.estadao.com.br/casa/tag/casa-cor-2013/> (consultado em 5 de Setembro de 2013).

[54] – Gil, Luís, *Dimensão social, económica e ambiental da produção de cortiça*, in:  
<http://naturlink.sapo.pt/Natureza-e-Ambiente/Agricultura-e-Floresta/content/Dimensao->

[social-economica-e-ambiental-da-producao-de-cortica?bl=1&viewall=true](http://social-economica-e-ambiental-da-producao-de-cortica?bl=1&viewall=true) (consultado em 14 de Agosto de 2013).

[55] – *Comercialização de Produtos Portugueses de Cortiça*, in:

<http://apcor.pt/artigo/292.htm> (consultado em 30 de Setembro de 2013).

[56] – *Betão Leve - Termo Acústico de Cortiça*, in: <http://www.unibetao.pt/wp-content/uploads/2011/04/unileve-cort.pdf> (consultado em 25 de Setembro de 2013).

[57] – Branco, Fernando G.; Reis, Maria de Lurdes B. C.; Tadeu, António (2006),

*Utilização da Cortiça como Agregado em Betões*, in:

[http://www.dec.uc.pt/~fjbranco/POCI\\_ECM\\_55889/branco\\_et\\_al\\_QIC\\_2006.pdf](http://www.dec.uc.pt/~fjbranco/POCI_ECM_55889/branco_et_al_QIC_2006.pdf)

(consultado em 26 de Setembro de 2013).

[58] – Torgal, F. Pacheco; Jalali, Said, *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*, Coimbra, UM.