



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Exigências e métodos de avaliação de desempenho de sistemas de isolamento térmico pelo exterior. Avaliação de comportamento térmico e acústico de soluções com revestimento cerâmico colado

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Construções

Autor

Tiago Filipe Andias de Melo

Orientador

António José Barreto Tadeu

Nuno Albino Vieira Simões

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Colaboração Institucional



ITeCons

Instituto de Investigação e Desenvolvimento
Tecnológico em Ciências da Construção

Coimbra, Julho, 2013

AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho só foi possível graças a um conjunto de pessoas que, em vários planos da minha vida, apoiaram-me, ajudaram-me e, acima de tudo, tentaram compreender-me. A todas elas, expresso a minha enorme gratidão.

Em primeiro lugar agradeço aos meus orientadores Professor Doutor António José Barreto Tadeu e Professor Doutor Nuno Albino Vieira Simões, pela disponibilidade em esclarecer as minhas dúvidas, pelo incentivo, pela colaboração, pela paciência e pela excelente transmissão de conhecimentos.

Ao Jorge Costa, Inês Simões e Igor Castro do ITeCons, o meu obrigado pela disponibilidade em auxiliar o desenvolvimento desta dissertação, quer por esclarecerem as minhas incertezas quer por, em muitas ocasiões, ajudarem a solucionar problemas.

Ao meu pai e à minha avó um grandioso agradecimento por todo o apoio, todo o carinho, toda a preocupação e desejo do meu sucesso. Graças também a eles chego ao final de uma etapa tão importante na minha vida. Obrigado pela dedicação e, em muitas ocasiões, pelo espírito de sacrifício.

À minha família que sempre esperou o melhor de mim e contribuiu para o meu triunfo, o meu obrigado.

Aos meus amigos - eles sabem quem são - um especial agradecimento pela constante motivação, espírito de ajuda, companheirismo e vontade de ver-me vingar. Farão sempre parte das minhas melhores recordações, daqueles que poderão ser os melhores anos da minha vida. Neste momento de partida, é uma sorte ter-vos para a vida.

À Ana expresso a minha colossal gratidão por ser uma das pessoas mais importantes da minha vida. Nos momentos bons e maus, foi quem mais esteve ao meu lado. Tem e terá sempre um lugar muito especial no meu coração.

Por último, mas não menos importante, a minha sentida homenagem à minha mãe, que já não se encontra entre nós. Um especial obrigado por ter-me transmitido os melhores valores e princípios que fazem de mim a pessoa que sou hoje. Será sempre um exemplo para mim.

A todas as pessoas que fazem parte da minha vida, o meu emocionado obrigado.

RESUMO

As preocupações crescentes da sociedade atual com a poupança energética, sustentabilidade e, simultaneamente a exigência de padrões de conforto cada vez mais elevados, torna imperativo o estudo de soluções construtivas que preencham estes requisitos. A constituição da envolvente dos edifícios poderá ter um grande impacto quer na poupança energética quer no conforto no seu interior. Sendo as paredes de fachada o elemento que ocupa tradicionalmente uma maior área da envolvente opaca, é nele que se poderá atuar.

O isolamento térmico exterior de paredes é uma solução construtiva que apresenta inúmeras vantagens, como por exemplo a manutenção da inércia térmica, a correção das pontes térmicas e a redução das condensações superficiais, tornando-o numa alternativa a ter em consideração para a envolvente de edifícios. Porém, a sua utilização não é isenta de desvantagens e limitações. A principal desvantagem da colocação de isolamento térmico pelo exterior é a sua fragilidade ao impacto e perfuração.

Ora, havendo no nosso país uma tradição muito marcada na aplicação de revestimentos cerâmicos, eles podem ser usados no revestimento de paredes com isolamento térmico exterior, dando resposta às limitações da solução anterior.

Tendo em vista esta hipótese, é fundamental conhecer os requisitos e ensaios de avaliação de desempenho, bem como antever as exigências que se devem impor ao sistema de isolamento térmico exterior com revestimento cerâmico.

Neste trabalho é realizado, adicionalmente, o cálculo do atraso térmico e do isolamento a sons aéreos exibidos pelas soluções convencionais de isolamento térmico colocado pelo exterior e por aquelas mesmas soluções revestidas com ladrilhos cerâmicos. Assim, é possível avaliar as melhorias no desempenho térmico e acústico quando no sistema de isolamento térmico pelo exterior se aplica revestimento cerâmico.

Palavras-chave: sistema isolamento térmico exterior, requisitos, métodos de ensaio, revestimento cerâmico, ladrilho cerâmico, simulação do atraso térmico, simulação do isolamento a sons aéreos.

ABSTRACT

Today's societies concerns with energy saving, sustainability and, simultaneously, the demanding of higher standards of comfort, makes imperative the study of constructive solutions that fulfil all this requirements. The buildings' envelope composition may have a great impact either in energy savings and interior comfort. Being the element that traditionally occupies a larger area of the opaque envelope, is there where we may act.

Exterior thermal insulation of walls is a buildings' constructive solution which presents several advantages, e.g. maintenance of the thermal inertia, correction of the thermal bridges and reduction of superficial condensation, making it an alternative to take into account for the buildings' envelope. However, its use isn't free of disadvantages and limitations. In fact, the main disadvantage of putting the thermal insulation in the outside is its fragility to the impact and perforation.

Now, having our country a great tradition in the application of ceramic coating, it may be used as a coating for walls with exterior thermal insulation, responding to the limitations of the previous system.

Having this hypothesis in mind, it's fundamental to know the performance requirements and evaluation tests, as well as to predict the requirements to impose to the external thermal insulation with ceramic tiling.

In this paper, it is done, additionally, the calculation of the thermal delay and airborne sound insulation of conventional wall solutions with external thermal insulation and for those same solutions coated with ceramic tiling. That way, it is possible to evaluate the improvements in terms of thermal and acoustical performance when it is applied ceramic coating in the external thermal insulation system.

Keywords: external thermal insulation system, requirements, test methods, ceramic coating, ceramic tile, thermal delay simulation, airborne sound insulation simulation.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos	4
1.3	Estrutura do trabalho.....	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1	Introdução	6
2.2	Características gerais do ETICS	6
2.2.1	Constituição do sistema ETICS	8
2.2.2	Vantagens relativamente a outras soluções	8
2.2.3	Desempenho térmico.....	10
2.2.4	Desvantagens e limitações do sistema ETICS	12
2.2.5	Patologias e causas da degradação do sistema ETICS	13
2.3	Guia para Aprovação Técnica Europeia de ETICS	14
2.3.1	Requisitos e métodos de ensaio de ETICS	15
2.3.2	Avaliação e apreciação da adequação ao uso	28
2.3.3	Fluxograma de ensaios	30
2.4	Especificações técnicas harmonizadas de ETICS	31
2.5	Avaliação experimental de ETICS	36
2.6	Manutenção de ETICS.....	37
2.7	Revestimentos cerâmicos colados sobre isolamento térmico exterior	41
2.7.1	Comparação entre requisitos dos revestimentos cerâmicos e do ETICS	41
2.7.2	Adaptação do revestimento cerâmico a paredes com ETICS	43
2.7.3	Patologias e causas de degradação.....	45
2.8	Atraso térmico	48
2.9	Acústica aplicada ao sistema ETICS	50
3	SIMULAÇÃO DO ATRASO TÉRMICO.....	54
4	SIMULAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO.....	59
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Utilização de argamassas por tipo, em Portugal. [17].....	7
Figura 2.2 – Utilização do isolamento térmico em ETICS por tipo, na Europa. [17]	7
Figura 2.3 – Subpressão a aplicar e perfil Pressão/Tempo dos ciclos.	25
Figura 2.4 – Fluxograma de ensaios, segundo o ETAG 004 [9].	30
Figura 2.5 – Mapa de probabilidade de ocorrência geral de defeitos e nível de degradação médio. [59].....	40
Figura 3.1 – Soluções construtivas usadas na simulação.	55
Figura 3.2 – Caso 1.1: atraso térmico e U	55
Figura 3.3 – Caso 1.2: atraso térmico e U	56
Figura 3.4 – Caso 2.1 - atraso térmico e U	56
Figura 3.5 – Caso 2.1: atraso térmico e U	57
Figura 3.6 – Resultados da parede de betão (à esquerda) e da parede de granito (à direita) [75]	58
Figura 4.1 – Diferença entre os índices de redução sonora entre os casos 1.1 e 2.1, na presença de EPS	60
Figura 4.2 – Diferença entre os índices de redução sonora entre os casos 1.2 e 2.2, na presença de EPS	60
Figura 4.3 – Diferença entre os índices de redução sonora entre os casos 1.1 e 2.1, na presença de ICB.....	61
Figura 4.4 – Diferença entre os índices de redução sonora entre os casos 1.2 e 2.2, na presença de ICB.....	61
Figura 4.5 - Diferença entre os índices de redução sonora entre os casos 1.1 e 2.1, na presença de MW	62
Figura 4.6 - Diferença entre os índices de redução sonora entre os casos 1.2 e 2.2, na presença de MW	62
Figura 4.7- Diferença entre os índices de redução sonora entre os casos 1.1 e 2.1, na presença de XPS.....	63
Figura 4.8 - Diferença entre os índices de redução sonora entre os casos 1.2 e 2.2, na presença de XPS.....	63

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Valores de U [28]: solução genérica.....	11
Quadro 2.2 – Patologias de paredes com aplicação de ETICS [18]	13
Quadro 2.3 – Valores de C_s , isolante colado	26
Quadro 2.4 – Valores de C_s , isolante fixado mecanicamente	26
Quadro 2.5 – Quadro síntese ensaios-requisitos de ETICS.	28
Quadro 2.6- Quadro comparativo de ensaios de ETICS pelo ETAG 004 e pelas normas europeias aplicáveis	32
Quadro 2.7 – Comparação entre as exigências de ETICS [9] e revestimentos cerâmicos [61].	42
Quadro 2.8 – Patologias de paredes com revestimento cerâmico	46
Quadro 2.9 – Índices de isolamento sonoro obtidos em laboratório (R_w) [78] e [79].	51
Quadro 2.10 – Índices de isolamento sonoro ponderado (R_w) [80].....	53
Quadro 3.1 – Propriedades térmicas dos materiais [75]	54
Quadro 4.1 – Propriedades dos materiais. (*a resistividade do fluxo é $2000 \text{ kgm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	59
Quadro 4.2 – Diferença entre R_w de soluções construtivas com e sem revestimento cerâmico.	64

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Em Portugal, a produção interna de energia centra-se, fundamentalmente, em fontes renováveis, como a energia hídrica e eólica [1]. Este tem sido o grande investimento do setor energético que viu a produção de energia, a partir de fontes renováveis, quase triplicar desde 1990. No entanto, existe uma forte dependência de energia proveniente do exterior e que constituiu 77% de toda a energia consumida em 2010, segundo a DGEG (Direção Geral de Energia e Geologia). Dos três setores com maiores dispêndios de energia, o setor dos transportes é o que tem um maior peso no consumo energético, com 36,7%, seguido pela indústria, com 29,6%, e pelo setor doméstico, com 16,6%, em 2010.

No setor habitacional, segundo dados do INE (Instituto Nacional de Estatística) e da DGEG [1], o aquecimento e arrefecimento do ambiente constitui mais de 10% do consumo global de energia. Apesar de não ser o uso que mais contribui para a fatura energética é, provavelmente, onde ocorrem mais desperdícios. O deficiente isolamento térmico das habitações, ou mesmo a sua inexistência, é a causa de uma parte significativa das perdas térmicas.

Tendo em vista a melhoria do desempenho energético dos edifícios, foi publicada a Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho [2], que mais tarde viria a ser transposta para o direito interno português, pelo Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de abril [3] – conhecido como o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE); pelo Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de abril [4] – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), e pelo Decreto-Lei nº 78/2006, de 4 de abril [5]. O Decreto-Lei nº 80/2006 substituiu o primeiro regulamento português que impôs requisitos para a salvaguarda das condições de conforto térmico no interior dos edifícios, o Decreto-Lei nº 40/90, de 6 de fevereiro [6]. O Decreto-Lei nº 79/2006 substituiu o Decreto-Lei nº 118/98, de 7 de maio, e procura definir condições de conforto térmico e de higiene nos diferentes espaços dos edifícios, melhorar a eficiência energética global dos edifícios, impor regras de eficiência aos equipamentos de climatização e monitorizar a regularidade de manutenção dos equipamentos. Por último, o Decreto-Lei nº 78/2006 implementa o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos edifícios, designado regularmente por SCE.

Mais recentemente, a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho [7] que alterou a Diretiva 2002/91/CE, foi publicado com o objetivo de promover “a melhoria do desempenho energético dos edifícios da União, tendo em conta as condições climáticas externas

e as condições locais, bem como exigências em matéria de clima interior e de rentabilidade”. Deste modo, são estabelecidas condições para metodologias de cálculo e aplicação de requisitos mínimos do desempenho energético dos edifícios, os planos nacionais para aumentar o número de edifícios de necessidades de energia quase nulas, a certificação energética, a inspeção das instalações de aquecimento e ar condicionado e dos sistemas de controlo independentes dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspeção. Deste modo, é fundamental encontrar soluções construtivas para a envolvente dos edifícios que permitam a satisfação dos requisitos impostos não só pela legislação, mas também pelas crescentes exigências da sociedade.

As paredes de fachada dos edifícios são o elemento heterogéneo de separação entre o ambiente interior e o ambiente exterior, responsáveis pelo cumprimento de um conjunto vasto de exigências funcionais, como por exemplo, a estanquidade, o conforto higrotérmico, o conforto acústico, a adaptação à utilização normal, a durabilidade e a economia. Adicionalmente, existe a necessidade de encontrar soluções mais eficientes, mais sustentáveis e com um desempenho favorável nas diferentes funções que uma parede desempenha.

No último século têm-se observado uma evolução considerável na conceção das paredes exteriores dos edifícios. Por volta dos anos 40, as paredes eram constituídas por um pano de alvenaria espesso de alvenaria de tijolo maciço ou perfurado, ou alvenaria de pedra. Cerca de 10 anos depois, começou a implementar-se um segundo pano de alvenaria de tijolo furado aliado ao pano exterior de alvenaria de pedra e, eventualmente, caixa-de-ar. Na década de 60 começou-se a conceber paredes duplas em tijolo furado e caixa-de-ar, com um dos panos espesso. Mais tarde, por volta de 1970, a espessura dos panos exterior e interior da parede dupla foi reduzida. No entanto, foi por volta dos anos 80 que ocorreu a mudança mais significativa na execução de paredes de fachada, com a colocação do isolamento térmico preenchendo total ou parcialmente a caixa-de-ar. Durante muito tempo foi esta a técnica que mais foi reproduzida, fundamentalmente, em edifícios habitacionais. Mais recentemente, começou-se a conceber paredes com um pano simples com a colocação de isolamento térmico pelo exterior. O pano simples pode ser constituído por alvenaria de tijolo cerâmico furado, alvenaria de blocos de betão ou térmicos ou betão armado. A este sistema compósito de isolamento térmico pelo exterior dá-se o acrónimo ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*) cuja tradução livre é sistema compósito de isolamento térmico pelo exterior.

O sistema ETICS, à semelhança de todos os produtos da construção, deverá cumprir as exigências da legislação, nomeadamente do Decreto-Lei nº 4/2007 de 8 de janeiro [8]. Este decreto-lei enquadra juridicamente o Guia de Aprovação Técnica Europeia, ETAG 004 [9] (*European Technical Approval Guide*), aplicado a ETICS, e que define as referidas exigências essenciais, bem como os métodos de avaliação do sistema, os critérios de avaliação do desempenho para o uso pretendido e contribui para que sejam adequadas as suas condições de

conceção e execução. Embora o acabamento típico do ETICS, contemplado no ETAG 004 [9], seja um reboco pintado, tem-se verificado algumas variantes a este tipo de solução.

No nosso país existe uma elevada tradição na utilização de materiais cerâmicos, designadamente em fachadas. Além disso, e segundo Serra *et al.* [10], existe um elevado número de empresas de produção de ladrilhos cerâmicos – um total de 56 empresas, com uma produção entre os 55 e os 65 milhões de m²/ano. Os distritos com maior produção são o distrito de Aveiro e o distrito de Coimbra com mais de 40 milhões de m²/ano e entre 10 e 40 milhões de m²/ano, respetivamente. No entanto, por não ser considerado como um revestimento convencional do sistema ETICS, não existem exigências essenciais e métodos para a sua avaliação num sistema de isolamento térmico pelo exterior.

Com a evolução tecnológica tem ocorrido um aumento do número de fontes sonoras que provoca, conseqüentemente, um incremento significativo dos níveis de ruído produzidos. Não só é reduzido o conforto acústico nas habitações como há o aparecimento de patologias auditivas (desde a fadiga ao trauma), psíquicas (stress e irritabilidade), fisiológicas (perturbação do sono) e surgem problemas ao nível do trabalho. [11]

A legislação portuguesa, nomeadamente o Decreto-Lei nº 96/2009, de 9 de junho [12] – que alterou o Decreto-Lei nº 129/2002, de 11 de maio [13], decreto este que aprovou o Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios (RRAE) – estabelece padrões de conforto acústico no âmbito do regime de edificação. Em articulação com o Decreto-Lei anterior, o Decreto-Lei nº 9/2007, de 17 de janeiro [14], que alterou o regime jurídico sobre poluição sonora, estabelece o regime de prevenção e controlo da poluição sonora, contribuindo para a melhoria do bem-estar das populações.

Existem 3 formas de minimizar os efeitos negativos do ruído: reduzir os níveis de ruído emitidos, atuar no meio de transmissão e, finalmente, proteger diretamente os recetores. Não podendo atuar, frequentemente, nos níveis de ruído produzidos nem no meio de transmissão, resta atuar no recetor – a envolvente dos edifícios.

Portanto, neste contexto é importante verificar os requisitos quer do sistema ETICS quer dos revestimentos cerâmicos, isoladamente, e avaliar a compatibilidade das duas soluções. Adicionalmente, verifica-se neste trabalho o cumprimento de exigências de caráter térmico e acústico.

1.2 Objetivos

No presente trabalho o objeto de estudo é o sistema ETICS, sendo o objetivo inicial a avaliação das suas exigências e métodos de ensaio. Para melhor compreender o que é o sistema ETICS, faz-se uma breve referência às suas características gerais – desde a sua constituição às suas vantagens, limitações e patologias associadas. Adicionalmente esta dissertação dedica-se também ao estudo de ETICS não convencionais, em que o revestimento adotado são materiais cerâmicos.

Seguidamente, faz-se a análise aos requisitos e métodos de avaliação do desempenho de ETICS convencionais, tendo em vista a sua comparação com as exigências e respetivos métodos de avaliação de ETICS não convencionais.

Tendo por base uma simulação analítica, validada experimentalmente, efetua-se o cálculo do atraso térmico – parâmetro pouco estudado – de algumas soluções construtivas comuns em Portugal. Seguidamente, considerando o atraso térmico como referência do desempenho térmico de uma solução, procura-se comparar o comportamento térmico de ETICS convencionais ao comportamento de ETICS não convencionais, com o objetivo de concluir a melhoria ou não do desempenho térmico.

Adicionalmente, é objetivo desta dissertação comparar o desempenho acústico da solução ETICS à mesma solução com revestimento cerâmico. Para tal será usado um modelo 3D que avalia o isolamento a sons aéreos.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho divide-se em 2 partes principais. Na primeira (Capítulo 2) é feita uma revisão bibliográfica e na segunda parte (Capítulos 3 e 4) efetua-se simulação térmica e acústica do sistema ETICS convencional e não convencional, objeto de estudo.

No Capítulo 2 é dada especial atenção às exigências e métodos de ensaio de ETICS convencionais tendo em vista a sua comparação com as respetivas exigências e métodos de ensaio de revestimentos cerâmicos. Seguidamente, estuda-se o atraso térmico e da acústica, nomeadamente, isolamento a sons de condução aérea, de ETICS.

Nos Capítulos 3 e 4, introduzem-se modelos utilizados no cálculo do atraso térmico e do isolamento acústico, desenvolvidos em trabalhos anteriores. Posteriormente, são apresentados e discutidos os resultados, comparando as configurações com e sem revestimento cerâmico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

Seguidamente serão apresentadas as características gerais do sistema ETICS, nomeadamente a sua constituição, vantagens da sua utilização, desempenho térmico, desvantagens e limitações e, por fim, as patologias e causas de degradação prováveis.

Mais adiante, serão estudadas as exigências e métodos de ensaio do sistema ETICS convencional, por forma a fazer o paralelismo com as exigências e métodos de ensaio de revestimento cerâmico e, assim, prever os requisitos a exigir ao sistema constituído por revestimento cerâmico sobre ETICS.

Adicionalmente, serão introduzidos conceitos fundamentais para a compreensão de simulações efetuadas, de modo a concluir a melhoria do desempenho térmico e acústico da solução em estudo.

2.2 Características gerais do ETICS

ETICS é definido em [9] como um sistema compósito de isolamento térmico exterior de paredes e superfícies não expostas à precipitação (horizontais e inclinadas) em alvenaria (de tijolo cerâmico, de blocos de betão, de pedra, etc.) ou de betão (betonado “in-situ” ou em painéis pré-fabricados). O isolamento térmico é colado e/ou fixado mecanicamente ao suporte (sem caixa-de-ar). A espessura do isolante é variável, normalmente entre 40 e 100 mm, sendo as espessuras mais comuns, em Portugal, entre 40 e 60 mm [15]. Sobre o isolamento térmico é aplicada uma camada de base constituída por uma argamassa de cimento modificada com resinas sintéticas, incorporando armaduras de reforço que melhoram o comportamento mecânico, nomeadamente resistência à fissuração e resistência ao choque, do sistema. Por fim, são aplicadas as camadas decorativas onde se inclui a pintura com tintas, revestimentos plásticos espessos ou revestimentos minerais [15].

A aplicação de ETICS em fachadas é um desenvolvimento relativamente recente em Portugal. Esta técnica tem vindo a ser implementada no nosso país desde há, aproximadamente, 2 décadas, mas a sua utilização teve um crescimento significativo nos últimos anos [16]. Segundo dados da Associação Portuguesa de Fabricantes de Argamassas e ETICS (APFAC) [17], em 2010, o consumo de ETICS no mercado nacional foi cerca de 2,5 milhões de m², ou seja, 0,23 m²/habitante, sendo que o consumo potencial era de 0,50 m²/habitante. Relativamente, à

utilização de argamassas no mesmo ano, vemos na figura seguinte que a sua utilização em ETICS representou 29% do mercado total.

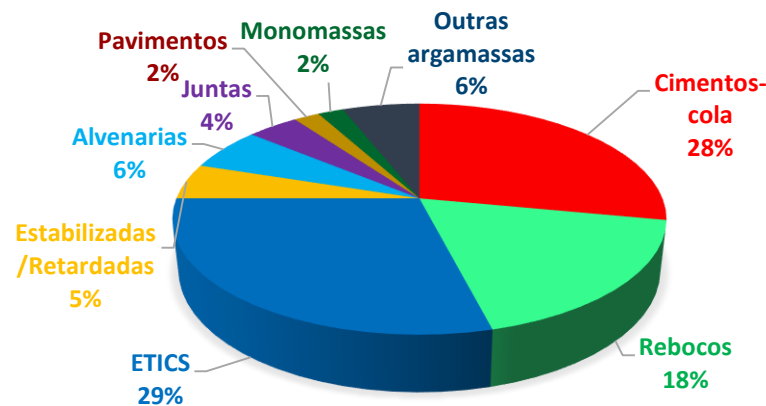


Figura 2.1 – Utilização de argamassas por tipo, em Portugal. [17]

A uma escala europeia, num conjunto de 27 países (Alemanha, Áustria, Bélgica, Holanda, Luxemburgo, Bulgária, Suécia, Finlândia, Noruega, Espanha, Estónia, França, Reino Unido, Hungria, Itália, Letónia, Polónia, Portugal, República Checa, Roménia, Rússia, Suíça, Turquia e Ucrânia) a área total aplicada de ETICS, em 2009, foi de 174 milhões de m², representando 0,24 m²/habitante. Quanto ao seu uso, a construção nova representou apenas 30%, enquanto a reabilitação constituiu 70%. Em termos de materiais de isolamento térmico utilizados, o poliestireno expandido é o mais frequentemente utilizado com uma percentagem de 82%.

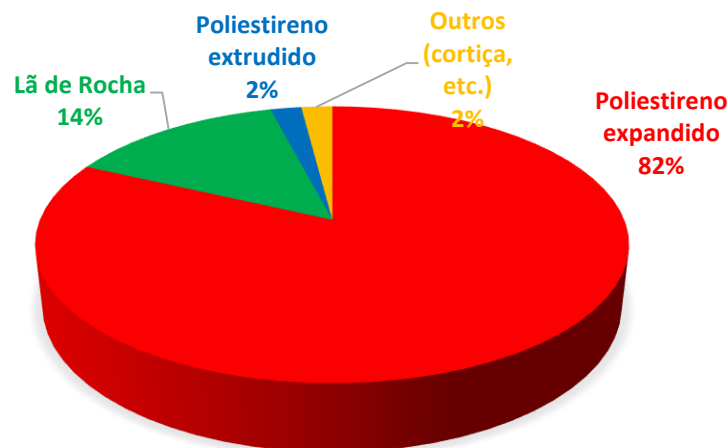


Figura 2.2 – Utilização do isolamento térmico em ETICS por tipo, na Europa. [17]

2.2.1 Constituição do sistema ETICS

Por se tratar de um sistema compósito constituído por camadas de materiais diferentes, para compreender o seu comportamento é fundamental compreender o comportamento de cada uma das suas camadas. O ETAG 004 [9] e Mendes da Silva *et al.* [18] apresentam a seguinte constituição:

- Camada de colagem – produto pré-doseado constituído por uma mistura de resinas sintéticas em dispersão aquosa com cargas minerais (sílica e calcite) e com cimento;
- Placas de isolamento térmico – produto pré-fabricado, com elevada resistência térmica, que pretende conferir ao substrato propriedades isolantes. O isolamento térmico mais comum é o poliestireno expandido com espessura não inferior a 30 mm, massa volúmica compreendida entre 14 kg/m³ e 20 kg/m³ e dimensão máxima de 1,20 m (por placa). Preferencialmente devem apresentar encaixe entre placas do tipo macho-fêmea ou meia madeira, por forma a assegurar a continuidade do sistema;
- Armadura de reforço – rede de fibra de vidro de malha quadrada revestida com PVC ou resina acrílica, malha de propileno com resistência à humidade e aos alcális, ou ainda rede metálica bem como fibras dispersas na camada de base do acabamento, de modo a conferir uma maior resistência mecânica. A abertura da malha está, normalmente, compreendida entre 3 e 5 mm. A sua resistência à tração deverá ser superior a 25 N/mm;
- Camada de base do acabamento – argamassa sintética com, geralmente, 2 a 5 mm de espessura.
- Acabamento final – revestimento delgado de massas plásticas para paredes, pronto-a-aplicar, constituído por resinas em dispersão aquosa, cargas minerais, pigmentos e adjuvantes diversos.

2.2.2 Vantagens relativamente a outras soluções

A escolha da colocação do isolamento térmico pelo exterior apresenta vantagens relativamente às outras soluções, [15] e [19], quer em construção nova quer em soluções de reabilitação:

- Manutenção da inércia térmica;
- Correção das pontes térmicas;
- Estanquidade à água da chuva;
- Protegem a estrutura e a alvenaria de choques térmicos, aumentando assim a sua durabilidade;
- Diminuição da ocorrência de condensações superficiais e internas;
- Possibilidade de aplicação em suportes heterogéneos;
- Absorção de pequenos movimentos do suporte;
- Diminuição da penetração de fungos e bolores;
- Não reduzem a área interior, no caso de reabilitação;
- Reabilitação de zonas com fissuração (não-estrutural).

Jorne [20] confirma algumas destas vantagens com recurso ao estudo do comportamento higrotérmico da solução ETICS em regime variável com recurso ao programa WUFI – programa comercial amplamente utilizado na simulação higrotérmica. O que se pretendia era comparar o comportamento desta solução a outras soluções comuns (isolamento térmico na caixa-de-ar e isolamento térmico pelo interior) no que diz respeito ao risco de ocorrência de condensações internas, ao aparecimento do fenómeno de termoforese (deposição diferencial de poeiras em suspensão) e teor de água/secagem do pano de alvenaria.

Na simulação foram consideradas 3 soluções com uma camada de isolamento térmico em poliestireno extrudido com 4 cm de espessura. As soluções incluíam parede de alvenaria de tijolo cerâmico simples de 22 cm com isolamento térmico pelo interior, parede dupla de alvenaria tijolo cerâmico de 11 cm com isolamento térmico na caixa-de-ar e parede simples de tijolo cerâmico com isolamento térmico pelo exterior, todas com reboco em argamassa de cimento de 1,5 cm. Considerou-se o ficheiro climático de Lisboa com a orientação sudoeste, por ser a que representa maiores cargas higrotérmicas para a fachada, e um período de simulação de 1 ano.

Ao observarem-se os resultados verifica-se que a solução com isolamento térmico exterior é aquela que apresenta uma humidade relativa mais baixa, uma vez que a temperatura média do pano de alvenaria é a mais elevada. No extremo oposto, encontra-se a solução com isolamento térmico pelo interior com a humidade relativa no pano de alvenaria mais elevada. Em termos de flutuações da humidade relativa, é também na configuração com ETICS que estas são menores, visto que o pano de alvenaria está sujeito a um menor gradiente de temperaturas. Com a presença de sais higroscópicos nas paredes, estas flutuações, acima ou abaixo do valor crítico da humidade relativa – valor que faz a passagem da cristalização para a dissolução ou vice-versa – provocam sequências destrutivas de dissolução/cristalização.

A termoforese ocorre devido à existência de heterogeneidades acentuadas pelas distintas espessuras de isolante nas várias zonas (zona estrutural e zona corrente) e que origina um diferencial de temperaturas superficiais. Novamente, a solução com isolamento térmico exterior, por atenuar as diferenças de resistência térmica no paramento exterior, favorecendo uma uniformização da temperatura, elimina o fenómeno da termoforese. Já na solução com isolamento térmico entre panos de alvenaria a probabilidade de ocorrência deste fenómeno é elevada.

Relativamente ao teor de água e capacidade de secagem do pano de alvenaria os resultados demonstram que a colocação de isolamento térmico pelo exterior não só funciona como proteção à chuva incidente como dá origem a valores superiores de temperatura no pano de alvenaria, proporcionando uma maior capacidade de secagem da parede. A secagem é fundamental uma vez que a humificação prolongada da parede diminui a sua resistência térmica e pode levar à sua deterioração. De salientar que capacidade de secagem está

intimamente relacionada com a permeabilidade ao vapor de água do isolante térmico. Desta forma a utilização de, por exemplo, lã mineral, com permeabilidade ao vapor de água superior ao poliestireno extrudido, favorece a capacidade de secagem.

Tendo em conta os resultados deste artigo, poder-se-á concluir que a aplicação de ETICS em paredes de fachada contribui para a sua durabilidade. No entanto, há que ter em consideração que o estudo foca-se numa fachada orientada a sudoeste, com uma maior exposição à radiação solar e, como tal, um tempo de secagem menor do que nas restantes fachadas. Seria portanto importante, estudar o comportamento de paredes com outras orientações.

2.2.3 Desempenho térmico

Apesar da variedade de materiais de isolamento térmico já existentes, amplamente estudados e com um desempenho térmico que permite dar resposta às imposições legislativas, tem-se verificado o surgimento de novos materiais.

Jelle [21] analisou vários materiais e soluções de isolamento térmico, as suas vantagens e desvantagens, bem como o seu desempenho. Estudou materiais tradicionais como a lã mineral, o poliestireno expandido, o poliestireno extrudido, entre outros; materiais inovadores como VIP's (*Vacuum Insulation Panels*), GFP (*Gas-filled Panels*) e os aerogéis; e, finalmente, outros possíveis materiais de isolamento térmico que usam a nanotecnologia aplicada à sua produção, como os VIM's (*Vacuum Insulation Materials*), os GIM's (*Gas-filled Materials*), os NIM's (*Nano Insulation Materials*), os DIM's (*Dynamic Insulation Materials*) e os NanoCon. Noutros trabalhos, nomeadamente de Fricke *et al.* [22], Alam *et al.* [23] e Baetens *et al.* [24], é dada ênfase ao estudo dos VIPs, cuja tradução é painéis de isolamento a vácuo. Estudam-se as suas propriedades, do seu comportamento térmico e acústico, e das suas aplicações em edifícios.

Noutra perspetiva, vários autores têm vindo a estudar a otimização da espessura do isolamento térmico. Ozel [25] usou um método de diferenças finitas para calcular as cargas térmicas transmitidas ao longo do ano sob condições estacionárias periódicas, no clima de uma cidade turca e numa parede orientada a sul com isolamento térmico pelo exterior. Essas cargas térmicas foram posteriormente usadas como dado de entrada num modelo económico que inclui o custo do material de isolamento e o valor do consumo energético de um edifício ao longo de 10 anos para determinar a espessura ótima do isolamento térmico. Os resultados mostram que a espessura ótima do isolamento térmico, em EPS (poliestireno expandido) ou XPS (poliestireno extrudido) varia entre 2 e 8,2 cm, com uma economia de energia entre os 2,78 e os 102,16 \$/m² e um período de retorno entre 1,32 a 10,33 anos, dependendo do material de suporte e do tipo de isolamento. O mesmo autor [26] estudou a influência do coeficiente de absorção de radiação solar nas características térmicas e espessura ótima do isolamento térmico (XPS) sob condições térmicas dinâmicas. O modelo usado foi homólogo ao anterior. Os resultados obtidos mostram

que para uma maior economia de energia e um menor período de retorno, a espessura ótima do isolamento térmico é de 4,8 cm para um coeficiente de absorção de radiação solar de 0,6. Adicionalmente, Mahlia *et al.* [27] aferiram a correlação entre a condutibilidade térmica e a espessura do isolamento térmico a aplicar em paredes de edifícios. Para condições de arrefecimento num clima tropical, da Malásia, chegaram à seguinte expressão $x_{opt} = 0,0818 - 2,973k + 64,6k^2$, que relaciona a condutibilidade térmica k ($W/m \cdot K$) com a espessura ótima x_{opt} (m).

Genericamente, define-se para o sistema ETICS uma resistência térmica mínima de $1 m^2C/W$ [9]. No entanto, o RCCTE, e relativamente aos elementos da envolvente opaca vertical exterior dos edifícios define valores de referência de U de $0,70 W/m^2 \text{ } ^\circ C$, $0,60 W/m^2 \text{ } ^\circ C$ e $0,50 W/m^2 \text{ } ^\circ C$ para as zonas I1, I2 e I3, respetivamente [3]. Se considerarmos a seguinte solução genérica – parede simples de alvenaria de tijolo de 22 cm, com reboco interior de 20 mm, isolamento térmico em EPS e reboco com 8 mm – com 30 mm de isolamento térmico conseguiríamos obter uma resistência térmica de, aproximadamente, $1,5 m^2C/W$.

Por forma a comparar os valores do coeficiente U , obtidos pela aplicação de diferentes espessuras de isolamento térmico na parede genérica, definida anteriormente, com os valores de referência do RCCTE [3] temos o seguinte quadro:

Quadro 2.1 – Valores de U [28]: solução genérica.

Espessura EPS (mm)	U ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)	Zona climática		
		I1	I2	I3
30	0,69	✓	✗	✗
40	0,59	✓	✓	✗
50	0,52	✓	✓	✗
60	0,46	✓	✓	✓
70	0,41	✓	✓	✓
80	0,37	✓	✓	✓
90	0,34	✓	✓	✓

Para a zona climática I1, o valor do coeficiente de transmissão térmica da solução é inferior ao valor de referência, qualquer que seja a espessura do isolante. Quando a espessura é igual ou superior a 40 mm, os valores de U situam-se abaixo do valor de referência apenas na zona climática I2. A partir de espessuras de isolamento de 60 mm, inclusive, é possível obter um coeficiente de transmissão térmica superior ao valor de referência para a envolvente opaca vertical exterior dos edifícios em todas as zonas climáticas, como definido no Decreto-Lei nº80/2006 [3].

2.2.4 Desvantagens e limitações do sistema ETICS

Apesar das inúmeras vantagens da aplicação do sistema às paredes exteriores, o ETICS apresenta algumas limitações. De acordo com Barreira e Freitas [29], existem alguns problemas de colonização biológica causado por um teor de água elevada na superfície, que resulta, fundamentalmente, de condensações superficiais e da água da chuva (associada a vento). Se o processo de secagem não for suficientemente rápido, a superfície mantém-se húmida durante um maior período de tempo aumentando o risco de aparecimento de vegetação que leva a detioração da superfície.

Para avaliar a influência da orientação das fachadas de um edifício no seu teor de humidade foi efetuado o estudo [29] de um edifício revestido com ETICS, no campus da Universidade do Porto com as suas 4 fachadas orientadas a Norte, Sul, Este e Oeste, no período de 1 ano. Foram avaliadas a temperatura, a radiação de ondas longas, a chuva afetada de vento e a humidade relativa da superfície exterior. Adicionalmente, mediram-se as condições climáticas exteriores para a avaliar a condensação superficial.

A orientação das fachadas revelou ter uma influência significativa na condensação superficial, embora a quantidade de água condensada e a definição da fachada mais suscetível a condensação superficial dependa muito das condições climáticas e das características do edifício. De salientar que os restantes parâmetros avaliados também dependem fortemente das condições climáticas.

Mendes da Silva e Falorca [30] reportam limitações semelhantes obtidas através de inspeção visual de edifícios pertencentes à Universidade de Coimbra, na sua maioria no Polo II, com uma área de aplicação de ETICS de mais de 37 000 m². Verificou-se que em cerca de 20 % das fachadas ocorreram alterações de cor e em 23 % das fachadas o aparecimento de vegetação parasita. Convém referir que alguns dos edifícios analisados têm uma arquitetura semelhante aos edifícios estudados por Barreira e Freitas [29]. Além disso, o período de construção é, aproximadamente, o mesmo (década de 80 e 90), logo as técnicas e materiais usados deverão ser semelhantes.

Outra das limitações apontada por Pereira *et al.*, [31] e [32], é a reduzida resistência ao choque, especialmente á perfuração, crítica nas zonas acessíveis abaixo dos 2 m de altura.

Norvaišienė *et al.* [33] apontam outras desvantagens como a elevada absorção de água, a baixa permeabilidade ao vapor de água e, tal como outros autores referem, resistência ao impacto reduzida.

2.2.5 Patologias e causas da degradação do sistema ETICS

Apesar de todos os constrangimentos, nomeadamente as exigências essenciais do ETICS para um nível de serviço satisfatório, o sistema, incluindo todos os seus componentes, requer uma pormenorização cuidada, uma escolha de materiais adequada e uma mão-de-obra especializada. O incumprimento destas requisitos leva a uma maior probabilidade de ocorrência de patologias, ocorrendo a degradação precoce dos materiais e, conseqüentemente, uma diminuição do desempenho da fachada. Seguidamente apresenta-se uma lista de defeitos bem como as suas causas elaborada por Mendes da Silva *et al.* [18]:

Quadro 2.2 – Patologias de paredes com aplicação de ETICS [18]

Tipo de degradação	Causas da degradação
Descolamento do sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Deficiente preparação do suporte; • Falta de produto de colagem; • Movimentos acentuados do suporte; • Ação da água no tardo (infiltração pelo bordo superior).
Perfuração do sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Choques devido ao uso, em zonas acessíveis; • Choques devido ao uso de andaimes tipo bailéu, durante a aplicação; • Encosto de escadas em ações de manutenção; • Atravessamentos indevidos da parede por cablagem; • Ações de vandalismo e ações de acidente.
Deficiência de planeza do sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Deficiente planeza do suporte; • Choques repetidos de andaimes tipo bailéu; • Remates nas zonas de fixação dos andaimes às paredes; • Aplicação irregular da camada de colagem; • Recobrimento insuficiente das placas; • Falta de regularidade dimensional das placas.
Fissuração do revestimento	<ul style="list-style-type: none"> • Falta pontual de armadura; • Falta de sobreposição dos bordos de faixas contíguas de armadura; • Insuficiente recobrimento da armadura pelo revestimento; • Espessura muito reduzida do revestimento; • Preenchimento de juntas entre placas com o produto de revestimento; • Espessura excessiva do revestimento para colmatar deficiências de planeza; • Acabamentos de cor escura em zonas muito expostas a radiação solar; • Coexistência de cores escuras e cores claras no mesmo pano de fachada; • Colocação incorreta de cantoneiras metálicas.

Quadro 2.2 (continuação) – Patologias de paredes com aplicação de ETICS [18]

Tipo de degradação	Causas da degradação
Visualização das juntas das placas	<ul style="list-style-type: none"> • Deficiente regularização dimensional das placas de isolante; • Falta de estabilidade dimensional das placas; • Ciclos de molhagem e secagem das placas.
Empolamento das placas	<ul style="list-style-type: none"> • Esforços provocados por fixação mecânica de andaime ou outro equipamento; • Entrada de água pelo tardo das placas; • Deficiente colagem associada aos movimentos de expansão-contração; • Aplicação aderente sobre suporte irregular ou curvo.
Alteração da cor das superfícies	<ul style="list-style-type: none"> • Fixação de poeiras nas zonas de escorrência preferencial da água; • Manchas provenientes da oxidação de metais; • Repinturas parciais.
Desenv. de vegetação parasita	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação sob situação climática favorável ao desenvolvimento de líquenes; • Aplicação em zonas e épocas de grande concentração de esporos no ar; • Aplicação de revestimentos contaminados.
Deterioração do recobrimento das cantoneiras de reforço	<ul style="list-style-type: none"> • Acabamento de espessura reduzida; • Dilatação e retração térmica incompatível entre a cantoneira e o revestimento; • Inadequação da perfuração da cantoneira para garantir a aderência do revestimento; • Falta de recobrimento da cantoneira com a armadura do revestimento.

2.3 Guia para Aprovação Técnica Europeia de ETICS

No âmbito da Diretiva Comunitária 89/106/CEE, de 21 de Dezembro de 1988 [34] – correntemente designada por Diretiva dos Produtos da Construção (DPC) - e transposta para a ordem jurídica nacional pelo Decreto-Lei nº 113/93 [35], alterado e republicado, mais recentemente, pelo Decreto-Lei nº 4/2007 de 8 de janeiro [8], é definido que todos os produtos da construção e empreendimentos de construção, para serem comercializados “devem revelar aptidão para o uso a que se destinam, apresentando características tais que as obras em que venham a ser incorporados, quando convenientemente projetadas e construídas, possam satisfazer as exigências essenciais”. O cumprimento das exigências essenciais, definidas no referido Decreto-Lei, é comprovado pela marcação CE [8]. Segundo um relatório do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) [15], a aposição da marcação CE é feita através de, fundamentalmente, dois tipos de especificações técnicas – Normas Europeias (EN)

harmonizadas e Aprovações Técnicas Europeias (ETA – *European Technical Approvals*). Desta forma, quando não existe nem está prevista a existência, a médio prazo, de normalização europeia harmonizada a Aprovação Técnica Europeia aplica-se a produtos ou sistemas inovadores – como é o caso do ETICS. Qualquer organismo pertencente à EOTA – *European Organization for Technical Approvals* – pode conceder uma apreciação técnica favorável válida em todo o espaço europeu. Em Portugal, o LNEC é o organismo membro da EOTA, responsável pela atribuição de ETA's. As ETA's são atribuídas com base num Guia para Aprovação Técnica (ETAG) ou, se não existir, num CUAP (*Common Understanding of Assessment Procedure*) e são válidos por 5 anos, em todo o espaço europeu.

2.3.1 Requisitos e métodos de ensaio de ETICS

No ETAG 004 [9] e na legislação nacional [36] são definidos requisitos e métodos de ensaio para avaliação do cumprimento das “Exigências Essenciais”, tradução da expressão anglo-saxónica *Essential Requirements* (ER), do sistema ETICS no seu conjunto e de cada um dos seus componentes.

2.3.1.1 Resistência mecânica e estabilidade (ER1)

Não aplicável, uma vez que partes de produtos não carregados não estão incluídos nesta exigência essencial mas tratados sob a exigência de segurança em uso.

2.3.1.2 Segurança em caso de incêndio (ER2)

As obras devem ser concebidas e realizadas de modo a que a deflagração e propagação do fogo e fumo dentro da obra sejam limitadas, a propagação do fogo a construções vizinhas seja limitada, os ocupantes possam abandonar ilesos a obra ou ser salvos por outros meios e a segurança das equipas de socorro tenha sido tida em consideração [36]. A reação ao fogo de ETICS deve estar de acordo com as leis, regulamentos e disposições administrativas aplicadas ao ETICS. O seu desempenho deve ser definido de acordo com classificação definida por decisão europeia (Comissão Europeia) ou normalização europeia.

A classificação de reação ao fogo é feita de acordo com a EN 13501-1:2007 [37]. Se o produto não for submetido a qualquer ensaio de reação ao fogo, é-lhe atribuída classe F.

O anexo D do ETAG 004 [9] indica como determinar o(s) pior(es) caso(s) bem como a montagem e fixação do ETICS considerados apropriadas para o ensaio e a aplicação representativa do seu uso.

2.3.1.3 Higiene, saúde e ambiente (ER3)

As paredes exteriores devem impedir a penetração de água vinda do exterior, quer proveniente do solo quer proveniente da precipitação e da neve. Devem evitar condensações superficiais e intersticiais sob condições normais de uso. Em situações em que é previsível a produção extraordinária de vapor de água, devem ser tomadas medidas preventivas de conceção e escolha de materiais. Para que se cumpram os requisitos supramencionados deve ser assegurado que na ocorrência de um impacto, o ETICS mantém as suas propriedades e, quando aplicável, deve ser usado material de manutenção que não cause qualquer dano ou perfuração no revestimento. Isto significa que devem ser avaliadas as seguintes características – absorção de água, estanquidade à água, resistência ao impacto, permeabilidade ao vapor de água e características térmicas (ER6). Além dos pressupostos mencionados, as construções e instalações não devem emitir compostos poluentes além dos limites estabelecidos na legislação, não emitir gases tóxicos, partículas perigosas ou radiação quer para o ambiente interior quer para o exterior.

2.3.1.3.1 Absorção de água

A absorção de água deve ser determinada através do ensaio de capilaridade. Este ensaio tem 3 propósitos distintos: determinar a absorção de água de modo a considerar ou não a sua aceitabilidade, definir qual a camada de acabamento a aplicar no suporte a ser sujeito a ciclos higrotérmicos e avaliar a necessidade de efetuar o ensaio de gelo-degelo.

Antes de proceder ao ensaio de capilaridade preparam-se 3 amostras de isolamento térmico com dimensão mínima de 200 mm x 200 mm, de acordo com as instruções do fabricante, apenas com a camada de base e com todas as configurações propostas. Estas são condicionadas durante, pelo menos, 7 dias a uma temperatura de 23 ± 2 °C e humidade relativa (HR) de 50 ± 5 %. As superfícies laterais são totalmente seladas por forma a impedir a entrada de água.

Seguidamente são submetidas a 3 ciclos compreendendo as fases: 24 h de imersão em água a 23 ± 2 °C, com a face rebocada para baixo, a uma profundidade entre 2 e 10 mm, dependendo da rugosidade da superfície; e 24 h de secagem a 50 ± 5 °C. No final dos ciclos, as amostras são armazenadas por, no mínimo, 24h a 23 ± 2 °C e 50 ± 5 % de HR.

Após a preparação das amostras, pode efetuar-se o ensaio de capilaridade. Para tal mergulham-se novamente as amostras em água, de acordo com o procedimento anterior, faz-se a pesagem após 3 minutos, após 1 h e após 24 h. Anteriormente à segunda e subsequentes pesagens, deve remover-se a água aderente à superfície da amostra com um pano absorvente humedecido.

A partir dos resultados obtidos é determinado o valor médio de absorção de água por m² após 1 h e 24 h, das 3 amostras.

2.3.1.3.2 Estanquidade à água

2.3.1.3.2.1 Comportamento higrotérmico

A necessidade do ensaio de comportamento higrotérmico é definida pelos resultados do ensaio de capilaridade, conforme o fluxograma da figura 2.4.

Caso se verifique a necessidade da realização do ensaio, é preparado o suporte, pelo fabricante e supervisionado pelo laboratório responsável, com as dimensões mínimas de 2,50 m de largura, 2,0 m de altura e área mínima de 6 m². Numa área com 0,60 m de altura por 0,40 m de largura distando 0,4 m da extremidade do suporte não é aplicado ETICS. A solução em teste é aplicada e durante 4 semanas a parede é curada, em local interior a temperatura entre 10 e 25 °C e humidade relativa não inferior a 50% (para evitar a secagem rápida a amostra deve ser pulverizada com água durante 5 min, 1 vez por semana).

Ao mesmo tempo, devem preparar-se amostras de modo a avaliar a aderência entre a camada de base e o produto de isolamento (apenas quando o suporte não é constituído apenas pela camada de base), e resistência à tração e alongamento na rotura (para produtos com espessura de aplicação até 5 mm).

Posteriormente, a amostra é submetida a ciclos higrotérmicos, com o equipamento de ensaio entre 0,10 e 0,30 m das extremidades, compreendendo as seguintes fases:

- 80 Ciclos de calor-chuva: aquecimento a temperatura crescente até aos 70 °C durante 1h e mantida nos 70±5 °C e HR entre 10% e 30% por mais 2h. Pulveriza-se com água a 15±5°C durante 1h e a uma quantidade de 1 l/m²min. Por último, deixa-se a escorrer durante 2h.
- 5 Ciclos de calor-frio de 24h (após 48h de condicionamento, do mesmo suporte, a uma temperatura entre 10 e 25 °C e HR mínima de 50%): exposição a uma temperatura crescente até aos 50±5°C durante 1h e a uma HR máxima de 30% durante 7h, exposição a uma temperatura decrescente até -20±5°C durante 2h e mantida por mais 14h.

A cada 4 ciclos de calor-chuva e a cada ciclo de calor-frio devem ser registadas as alterações nas características e desempenho da parede (empolamento, destacamento, fissuração, perda de adesão, formação de fissuras, etc.), de acordo com o ETAG 004 [9].

Após submetidas a ciclos higrotérmicos, as amostras para ensaio de adesão entre a camada de base e o produto de isolamento, adesão após envelhecimento com camada de acabamento testada na parede e ensaios de resistência a impacto devem ser deixadas secar por, pelo menos, 7 dias.

2.3.1.3.2.2 Comportamento ao gelo-degelo

Deve ser efetuado o ensaio de resistência ao gelo-degelo quando a absorção de água após 24 h, resultante do ensaio de capilaridade, for superior a 0,5 kg/m², quer para apenas a camada de acabamento quer para todas as camadas do sistema.

O ensaio deve ser efetuado em 3 amostras de 500x500 mm² de isolamento térmico revestidas com camada de base sem acabamentos, se a sua absorção de água for maior ou igual a 0,5 kg/m², e todas as configurações previstas, se a sua absorção de água for maior ou igual a 0,5 kg/m². Depois de preparadas as amostras são condicionadas durante, pelo menos, 28 dias a 23±2 °C e HR 50±5 %, e submetidas a 30 ciclos compreendendo:

- Imersão das amostras em água a 23±2 °C, com a camada de reboco para baixo, durante 8h (como descrito no teste de capilaridade);
- Arrefecimento gradual até -20±2 °C, medidos na superfície da amostra, durante 5 h e mantida durante 11h, e arrefecimento à mesma temperatura, medida no ar, durante 2 h e mantida durante 14 h.

No final, são observadas e registadas alterações nas características na superfície ou no comportamento do ETICS. Devem igualmente ser reportadas quaisquer distorções nas extremidades. Posteriormente deverá executar-se o ensaio de adesão entre camada de base e produto de isolamento nas amostras submetidas a gelo-degelo.

2.3.1.3.3 Resistência ao impacto

A resistência ao impacto do sistema ETICS, sujeito a aprovação técnica, deve ser aferida após os ciclos de calor-chuva e calor-frio. Sendo que para camadas de acabamento não testadas na parede ou para ensaios complementares, poder-se-á ensaiar amostras envelhecidas por imersão em água durante 6 a 8 dias e secagem por, pelo menos, 7 dias a 23±2° C e 50±5 %. Dentro de cada tipo de acabamento o ensaio deve ser efetuado, pelo menos, com a camada mais fina. No caso de possíveis camadas intermédias ou decorativas opcionais, pelo menos as configurações sem essas camadas devem ser ensaiadas.

2.3.1.3.3.1 Resistência ao impacto de corpo rígido

O ensaio deve ser conduzido como descrito na norma ISO 7892:1988 [38]. Os pontos de impacto são escolhidos tendo em conta os vários modos de comportamento da fachada e do seu revestimento. O ensaio inclui:

- Impacto de 10 J em 3 amostras com uma bola de aço com 1 kg e a uma altura de 1,02 m;
- Impacto de 3 J em 3 amostras com uma bola de aço com 0,5 kg e a uma altura de 0,61 m.

O diâmetro de impacto é medido e indicado, e anotada a presença de microfissuras ou fissuras.

2.3.1.3.3.2 Resistência à perfuração (*Perfotest*)

O ensaio executa-se quando a camada de base tiver uma espessura inferior a 6 mm. O ETICS satisfaz o requisito de resistência à perfuração para espessuras superiores, sem necessidade de ensaio. É reproduzido o impacto de uma esfera de aço com 0,5 kg a cair de 0,765 m. Para tal são colocados perfuradores hemisféricos no equipamento com diâmetros de 4, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30 mm e verificados os resultados em 5 amostras.

2.3.1.3.4 *Permeabilidade ao vapor de água*

O ensaio deve proceder-se em todas as configurações propostas pelo fabricante, para a maior espessura de camada contínua. Pode ser dispensado o ensaio por meio de argumentação técnica fornecida no relatório de avaliação.

Preparam-se 5 amostras de pelo menos 5000 mm², separando o produto de isolamento das restantes camadas. As amostras são condicionadas a 23±2 °C e 50±5 % HR durante, pelo menos, 28 dias e realizado o ensaio de acordo com a EN ISO 7783-1 e EN ISO 7783-2 (EN ISO 7783:2011 [39]), num ambiente a 23±2 °C e 50±5 % HR. O prato utilizado contém uma solução saturada de fosfato de amónio dihidrogenado (NH₄H₂PO₄).

Os resultados são expressos em m (de ar) e a resistência à difusão de vapor de água determinada como o valor médio, arredondado às décimas.

2.3.1.3.5 *Libertação de substâncias perigosas*

O aplicante deverá submeter uma declaração escrita que comprova a não existência de substâncias perigosas no seu produto de acordo com os regulamentos nacionais e europeus, quando relevante, enumerando as substâncias presentes.

Caso o produto contenha substâncias perigosas deve ser comprovado, através de métodos capazes, o cumprimento da legislação vigente, de acordo com a base de dados da União Europeia.

Um membro da EOTA tem a possibilidade de fornecer aos restantes membros alertas acerca de substâncias que, de acordo com as entidades de saúde do seu país e sob evidências científicas, sejam consideradas perigosas mas ainda não regulamentadas.

Desta forma, a informação será mantida na base de dados da EOTA, transferida para os serviços da Comissão Europeia e comunicada a qualquer requerente a ETA. Ainda com base nesta informação, poderá ser estabelecido um protocolo de avaliação do produto, relativamente à substância em causa, a pedido do fabricante com a participação do Corpo de Aprovação.

2.3.1.4 Segurança na utilização (ER4)

Apesar de não ser um elemento estrutural, a resistência mecânica e a estabilidade constituem um requisito. O sistema ETICS deve suportar o seu próprio peso sem deformação excessiva, deve suportar movimentos da estrutura, variações térmicas sem fissurar e deve ter resistência mecânica para suportar a pressão, sucção e vibração devidas ao vento.

Qualquer que seja o sistema de fixação do ETICS, a aderência entre a camada de base e o produto de isolamento deve ser avaliada.

2.3.1.4.1 Aderência

2.3.1.4.1.1 Aderência entre a camada de base e o produto de isolamento

Este ensaio deve proceder-se num painel de isolamento revestido com a camada de base, de acordo com as instruções do fabricante, curado por, pelo menos, 28 dias em local interior a temperatura entre 10 e 25 °C e humidade relativa não inferior a 50 %. As amostras devem ser submetidas a ciclos higrotérmicos ou usadas amostras separadas colocadas na parte da parede sem ETICS após secagem de, no mínimo 7 dias. Caso haja necessidade do ensaio de gelo-degelo, ensaiam-se amostras de camada de base após gelo-degelo e deixadas secar durante, pelo menos, 7 dias.

Para o ensaio, 5 amostras quadrangulares com as dimensões impostas pela EN 1607:1998 [40], são cortadas até á camada de base e fixadas chapas de metal com adesivo adequado. É efetuado o ensaio de arrancamento com uma velocidade de tensionamento de 1 a 10 mm/minuto.

O valor médio de resistência de rotura é baseado nos resultados dos 5 ensaios, sendo registado os valores individuais e médio em N/mm².

2.3.1.4.1.2 Aderência entre camada de colagem e substrato

O ensaio é realizado apenas em ETICS colados e nos seguintes substratos: laje de betão (espessura de pelo menos 40 mm), com razão água/cimento entre 0,45 e 0,48, resistência à tração de, pelo menos, 1,5 N/mm² e percentagem de água, antes do ensaio, até 3 % da massa total, ou, para colas sem cimento, o substrato mais absorvente daqueles especificados pelo candidato a ETA.

A camada de colagem é espalhada no isolante com uma espessura entre 3 e 5 mm e curado a 23±2 °C e HR 50±5 % durante 28 dias. Seguidamente, 15 quadrados, com dimensões de acordo com a EN 1607:1998 [40], são cortados até ao substrato e chapas de metal são coladas, com adesivo adequado. É efetuado o ensaio de arrancamento com velocidade de tensionamento de

1 a 10 mm/minuto nas seguintes amostras: 5 amostras sem condicionamento adicional (secas), 5 amostras após imersão da camada de colagem em água durante 2 dias e secagem durante 2h a 23 ± 2 °C e HR 50 ± 5 %, e 5 amostras após imersão da camada de colagem em água durante 2 dias e secagem durante 7 dias a 23 ± 2 °C e HR 50 ± 5 %.

A resistência de rotura baseia-se na média dos resultados dos 5 ensaios. Os resultados individuais e médio são registados em N/mm² e a espessura da camada de colagem introduzida no Relatório de Avaliação.

2.3.1.4.1.3 Aderência entre a camada de colagem e o produto de isolamento

O ensaio é realizado apenas em ETICS colados e executado no produto de isolamento especificado.

A cola é espalhada no isolante com uma espessura entre 3 e 5 mm, a menos que outro valor tenha sido acordado entre o fabricante e o Corpo de Aprovação, e curado a 23 ± 2 °C e HR 50 ± 5 % durante 28 dias. Seguidamente, 15 quadrados, com dimensões de acordo com a EN 1607:1998 [40], são cortados até ao substrato e chapas de metal com a dimensão adequada são coladas. É efetuado o ensaio de arrancamento com velocidade de tensionamento de 1 a 10 mm/minuto nas seguintes amostras: 5 amostras sem condicionamento adicional (secas); 5 amostras após imersão da camada de colagem em água durante 2 dias e secagem durante 2h a 23 ± 2 °C e HR 50 ± 5 %, e 5 amostras após imersão da camada de colagem em água durante 2 dias e secagem durante 7 dias a 23 ± 2 °C e HR 50 ± 5 %

A resistência de rotura média baseia-se nos resultados dos 5 ensaios, os resultados individuais e médio são registados em N/mm² e a espessura da camada de colagem introduzida no Relatório de Avaliação.

2.3.1.4.2 Força de fixação

Este ensaio tem o propósito de avaliar o deslocamento longitudinal do ETICS nas extremidades da parede. A realização do ensaio pode ser dispensada caso o ETICS cumpra um ou mais dos seguintes critérios: ETICS fixado mecanicamente e com adesivo suplementar, com área de colagem superior a 20 %; produto do módulo de elasticidade da camada de base sem rede de reforço pela sua espessura inferior a 50 000 N/mm; ETICS para aplicação em áreas contínuas com largura ou altura inferior a 10 m; espessura mínima do isolamento superior a 120 mm; em ETICS onde a camada de base após ensaio tração da banda de reboco a 2 %, apresenta apenas fissuras de espessura inferior ou igual a 0,2 mm; e, finalmente, em ETICS com dispositivos de fixação em que a força de aderência por fadiga foi verificada.

2.3.1.4.2.1 Ensaio de deslocamento

O ensaio é executado com a menor espessura de produto de isolamento sujeita a aprovação técnica.

É produzida uma laje de betão com 1,0 m x 2,0 m, espessura de 100 mm e acabamento liso. Coloca-se uma camada fina de areia sobre a laje para permitir que o painel de isolamento deslize. Posteriormente, 3 painéis de isolante (2 + 2/2) são colocados sobre a areia com juntas de extremidade apertadas, é colocada a camada de base como especificada pelo fabricante e a rede de reforço a sobressair em cerca de 300mm, em todos os lados. O reboco é curado durante 28 dias a 23 ± 2 °C e HR 50 ± 5 %. Cola-se um bloco de espuma sobre o reboco, fixado em todo o seu comprimento, e aplica-se uma sucção de 2000 Pa através de um painel de contraplacado ou outro painel rígido colocado sobre o bloco de espuma. Simultaneamente, é aplicada uma tensão normal através da fixação com velocidade de tensionamento de 1 mm/m.

A curva carga-deslocamento é registada, possivelmente até ocorrer a rotura, e o deslocamento U_e correspondente ao limite de elasticidade é determinado.

O comprimento da parede ou a distância entre juntas de expansão, L , é calculada usando a seguinte equação em função da variação de temperatura ΔT :

$$L = \frac{U_e}{\varepsilon_s + \alpha_{th} \times \Delta T} \quad (1)$$

onde ε_s é a retração, α_{th} é o coeficiente de dilatação térmica linear ($\times 10^{-5}$), ΔT é a variação de temperatura na camada de base do reboco definido pelo fabricante.

2.3.1.4.3 Resistência à carga do vento de ETICS fixado mecanicamente

A definição das amostras para o ensaio de arrancamento das fixações e para o ensaio de bloco de espuma estático é representada na figura 7, do capítulo 5 do ETAG 004 [9].

Os ensaios de arrancamento de fixações e bloco de espuma estático são efetuados para a menor espessura do produto de isolamento considerado para aprovação técnica. Outras espessuras podem ser testadas, dependendo do fabricante.

O ensaio de bloco de espuma estático deve ser executado com, pelo menos, o número mínimo de fixações mecânicas consideradas pelo fabricante.

2.3.1.2.3.1 Ensaio de arrancamento de fixações

Não é requerido este ensaio em ETICS colado com fixações mecânicas usadas apenas como dispositivo suplementar.

Normalmente, o ensaio é realizado em condições secas, embora possa ser executado em condições húmidas caso a resistência à tração do produto de isolamento em condições húmidas for inferior a 80 % da resistência em condições secas. Nesta situação o ensaio é efetuado em condições húmidas de acordo com o ensaio de tração perpendicular às faces.

Amostras de 350x350 mm² e espessura mínima especificada, com uma fixação aparafusada no centro (ou nas juntas entre painéis) e desolidarizada do substrato, são coladas a um substrato rígido. Após a cura da cola é aplicada uma força de arrancamento a uma taxa de 20 mm/min, no topo da fixação, até obter a rotura.

Para materiais celulares plásticos são requeridos 3 ou mais ensaios, enquanto para lã mineral são requeridos 5 ou mais ensaios.

Os ensaios em que a rotura ocorrer na extremidade são invalidados, sendo as dimensões das amostras aumentadas.

No relatório do ensaio devem ser detalhados os valores individuais e médios da força de rotura, expressa em N, e executado o ensaio de resistência à tração perpendicular à face do produto de isolamento. Os resultados são válidos para produtos de isolamento do mesmo tipo com maior espessura e maior resistência à tração perpendicular às faces e para fixações com o mesmo diâmetro da cabeça ou superior, ou maior rigidez da cabeça.

2.3.1.2.3.2 Ensaio de bloco de espuma estático

O sistema ETICS é aplicado sobre uma laje de betão sem qualquer adesivo, apenas fixado mecanicamente. É colado o bloco de espuma com dimensões máximas de 300 x 300 mm² e comprimento mínimo de 300 mm (500 mm é um comprimento inicial aceitável). Num furo do bloco de espuma é colocado uma vara de extensão para medir os deslocamentos. Superiormente é colado, com uma cola *epoxy*, um painel de contraplacado ou de outro material rígido. No topo do painel é aparafusada uma trave em cruz onde é aplicada uma tensão à velocidade de 10±1 mm/min. A tensão é gerada por um macaco hidráulico e transferida através de uma célula de carga.

Para materiais celulares plásticos são requeridos 3 ou mais ensaios, enquanto para lã mineral são requeridos 5 ou mais ensaios.

O bloco de espuma deve ser suficientemente flexível para acompanhar todos os movimentos das restantes camadas sem afetar a rigidez de flexão do ETICS.

A resistência à tração da espuma deve situar-se entre os 80 e os 150 kPa, a extensão de rotura deverá exceder os 160 % e a resistência à compressão entre 1,5 e 7 kPa. Pode usar-se por exemplo espuma de poliéster.

O ensaio é executado até à rotura em condições secas. No entanto, se a resistência à tração do produto de isolamento em condições húmidas for inferior a 80 % da resistência em condições secas, o ensaio deve ser completado da seguinte forma: para ETICS fixado mecanicamente com cavilhas, o ensaio de arrancamento é efetuado em condições húmidas, de acordo com o ensaio de resistência à tração perpendicular às faces do produto de isolamento; e, para ETICS fixado mecanicamente com perfis, o ensaio de bloco de espuma estático é executado após condicionamento de acordo com o ensaio de resistência à tração perpendicular às faces do produto de isolamento.

O relatório do ensaio deve incluir as cargas de rotura, os valores individuais e valores médios, bem como a resistência à tração às faces do isolamento.

2.3.1.2.3.3 Ensaio de subpressão dinâmica do vento

Para produtos de isolamento fixados mecanicamente são ensaiadas a menor e maior espessura dos painéis, com dimensões nominais. De modo a fornecer informações sobre a resistência das fixações mecânicas e resistência à flexão ou punçoamento do isolamento, é testada a menor espessura com o número mínimo de dispositivos de fixação. Para determinar a adesão do reboco ao isolante é ensaiado o painel de espessura superior com o número máximo de fixações especificadas pelo fabricante. Nas extremidades devem ser colocadas fixações adicionais de modo a evitar a rotura prematura.

Para produto de isolamento colado, o ensaio deve efetuar-se com a espessura de isolamento correspondente à menor resistência à tração, resultante do ensaio de tração perpendicular às faces em condições secas.

É considerado um substrato, em betão ou alvenaria de tijolo, com, pelo menos, 2,0 m x 2,5 m. O isolamento térmico é fixado de acordo com especificado para a solução a ensaiar e, posteriormente, rebocado. A cada m² é executado um furo com o diâmetro de 15 mm, coincidente com as juntas do produto de isolamento, por forma a simular a passagem de ar através da parede.

A parede é colocada numa câmara de sucção com uma moldura rígida, com intensidade de pressão suficiente para exercer uma pressão constante no ETICS em estudo. A ligação entre o

reboco e a câmara deve ser suficiente para ocorrer uma deformação realística do ETICS sob a influência da subpressão do vento simulada.

Aplicam-se ciclos de pressão a uma sucção máxima $W_{100\%}$. A figura seguinte, inspirada no ETAG 004 [9], indica a pressão a aplicar e o perfil da rajada de vento.

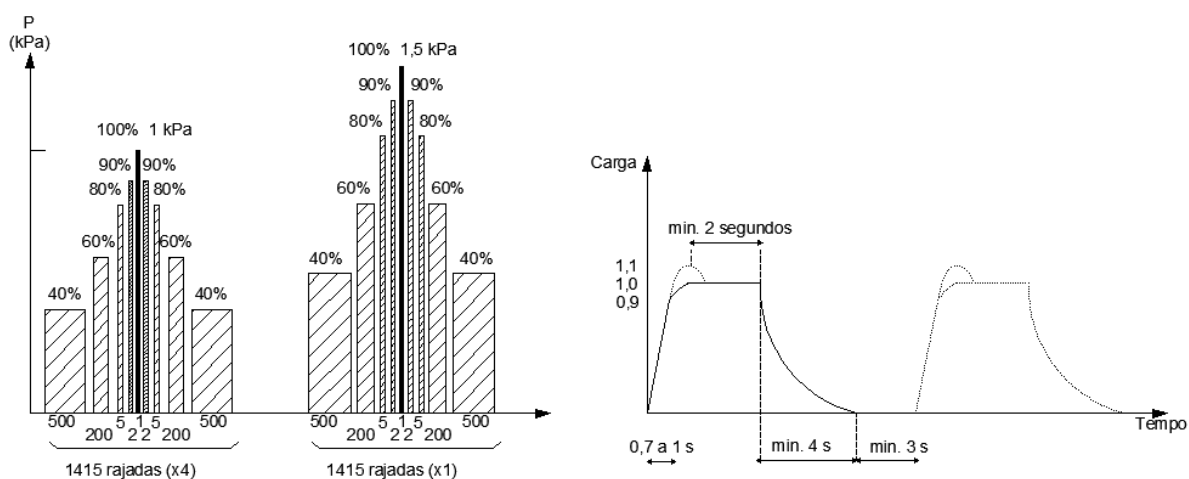


Figura 2.3 – Subpressão a aplicar e perfil Pressão/Tempo dos ciclos.

O número de ciclos é maior para a sucção de 1 kPa (4 ciclos) e diminui nos ciclos seguintes (apenas 1 ciclo), havendo um acréscimo de 0,5 kPa em cada ciclo até ocorrer a rotura do material. De acordo com o ETAG 004 a rotura é definida por um dos seguintes eventos: o painel de isolamento rompe, ocorre clivagem do isolante ou entre o isolante e o reboco, o reboco destaca-se, o painel de isolamento provoca o arrancamento de um parafuso, um parafuso é desapertado do substrato ou o produto de isolamento destaca-se do suporte.

O resultado do ensaio, Q_1 , é o valor da sucção $W_{100\%}$ [kPa] no ciclo precedente à rotura, sendo o resultado corrigido, com base na expressão que se segue, para obter uma resistência característica, R_k :

$$R_k = Q_1 \times C_s \times C_a \text{ [kPa]} \quad (2)$$

sendo C_a um fator geométrico que tem em conta a diferença entre a deformação do ETICS no ensaio e a sua deformação real (considerado igual a 1), e C_s é um fator de correção estatística que tem em conta a percentagem de superfície colada, quando o produto de isolamento é colado ao suporte ou o número de parafusos no painel de isolamento e o número de painéis na câmara de ensaio, quando o produto de isolamento é fixado mecanicamente (ver Quadros 2.3 e 2.4).

Quadro 2.3 – Valores de C_s , isolante colado

% Superfície colada (S)	C_s
$50 \leq S \leq 100$	1
$20 < S < 50$	0,9

Quadro 2.4 – Valores de C_s , isolante fixado mecanicamente

Nº de parafusos no painel de isol.	Nº de painéis na câmara de ensaio			
	1	2	3	4
2	Não admissível	0,90	0,95	0,97
3	0,85	0,95	0,97	0,98
4	0,90	0,97	0,98	0,99

2.1.3.5 Proteção contra o ruído (ER5)

Não aplicável visto que este requisito deve ser preenchido pela parede em si, pelas janelas e pelas aberturas.

2.1.3.6 Economia de energia e retenção de calor (ER6)

O sistema ETICS melhora o isolamento térmico diminuindo as necessidades de aquecimento e arrefecimento. Deste modo, deve ser avaliada a sua resistência térmica/condutibilidade térmica, permeabilidade ao vapor de água e absorção de água, por forma a efetuar o cálculo regulamentar do consumo energético. O efeito das pontes térmicas causadas por fixações mecânicas ou grampeamentos temporários deve ser avaliado.

2.1.3.6.1 Resistência térmica e transmissão térmica

A resistência térmica do ETICS, R_{ETICS} é calculada a partir da resistência térmica do produto de isolamento, $R_{insulation}$, determinado de acordo com a normalização aplicável e dependente do tipo de isolamento térmico, e da resistência térmica do reboco, R_{render} , tabelada ou determinada experimentalmente de acordo com a EN 12667:2011 [41] ou EN 12664:2001 [42].

$$R_{ETICS} = R_{insulation} + R_{render} [m^2 \cdot K/W] \quad (3)$$

como descrito nas normas EN ISO 6946:2007 [43] e EN ISO 10456:2007 [44]. Se a resistência térmica do ETICS não puder ser calculada, pode ser medida de acordo com a EN 1934:2000 [45].

As pontes térmicas resultantes da utilização de fixações mecânicas devem ser tidas em conta no cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede, U_c , tal como é patente na expressão seguinte:

$$U_c = U + \Delta U \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]} \quad (4)$$

em que U é o coeficiente de transmissão térmica da parede, incluindo ETICS, sem o efeito das pontes térmicas, e calculado como indicado no RCCTE [3] e ΔU [W/m².K] é termo de correção do coeficiente de transmissão térmica para as fixações mecânicas,

$$\Delta U = \chi_p \times n + \sum \psi_i \times l_i \quad (5)$$

em que χ_p é o coeficiente de transmissão térmica da fixação no ponto, em W/K, dependente do material [9]; n , o número de fixações por m²; ψ_i , coeficiente de transmissão térmica linear do perfil, em W/K.m e l_i , o comprimento do perfil por m², em m.

Alternativamente, pode-se calcular a influência das pontes térmicas de acordo com a EN ISO 10211:2007 [46]. Caso sejam colocadas mais do que 16 fixações por m², deve usar-se o método de cálculo da referida norma, não considerando o valor χ_p fornecido pelo fabricante.

2.1.3.7 Aspetos de durabilidade e operacionalidade

Todas as exigências essenciais acima referidas devem ser preenchidas durante a vida útil do ETICS sob as ações a que está sujeito. O ETICS deve ser estável à temperatura e humidade. As temperaturas do ar consideram-se variáveis entre -20°C e 50°C ou com mínima de -40°C nos países nórdicos. À superfície deve considerar-se, normalmente, uma temperatura máxima de 80°C e uma variação na ordem dos 30°C não deve provocar qualquer dano. Em adição devem ser tomadas medidas que evitem a formação de fissuras em juntas de dilatação e onde os elementos de fachada são de materiais diferentes. Todos os componentes devem manter as suas propriedades durante o período de vida do ETICS sob condições normais de uso e manutenção, por forma a manter um nível de qualidade aceitável.

2.1.3.7.1 Aderência após envelhecimento

3.2.1.7.1.1 Camada de acabamento testada na parede

O ensaio de aderência é realizado na parede após ciclos higrotérmicos e, pelo menos 7 dias de secagem. As 5 amostras, com dimensões de acordo com a EN 1607:1998 [40], são cortadas até ao substrato. Seguidamente são coladas placas metálicas e é aplicada nestas uma tensão de 1 a 10 mm/min até à rotura.

Os valores individuais e médio são registados e os resultados expressos em N/mm².

3.2.1.7.1.2 Camadas de acabamento não testadas na parede

O ensaio é efetuado em placas de isolamento revestidas com o reboco, de acordo com as instruções do fabricante. De seguida as amostras são deixadas secar a 23 ± 2 °C e HR 50 ± 5 % durante, pelo menos, 28 dias, e são cortados quadrados, com dimensões de acordo com a EN 1607:1998 [40], até ao substrato.

As amostras são envelhecidas por imersão em água durante 7 dias e depois deixadas secar por, pelo menos, 7 dias a 23 ± 2 °C e HR 50 ± 5 %; e/ou, caso necessário (de acordo com o ensaio de capilaridade), após ciclos de gelo-degelo e deixadas secar durante, pelo menos, 7 dias.

Seguidamente, são colocadas placas metálicas, usando uma cola adequada e é aplicada uma tensão de 1 a 10 mm/min até à rotura.

Os valores individuais e médio são registados e os resultados expressos em N/mm².

2.3.2 Avaliação e apreciação da adequação ao uso

O ETAG 004 define termos precisos e mesuráveis, sempre que possível, ou qualitativos, para os requisitos de desempenho de ETICS.

Um valor declarado pode corresponder a um dos seguintes tipos de informação: valor mínimo ou máximo, uma amplitude, uma categoria ou classe, um valor tabelado, um valor característico ou um valor nominal do fabricante.

De seguida apresenta-se um quadro síntese dos requisitos [9], em termos qualitativos ou quantitativas, de adequação ao uso do sistema ETICS.

Quadro 2.5 – Quadro síntese ensaios-requisitos de ETICS.

Ensaio de ETICS	Requisitos
Segurança em caso de incêndio	EN 13501-1:2007 - <i>Fire classification of construction products and building elements. Part 1: Classification using data from reaction to fire tests</i> [37]. Classes de A1 a F1.
Absorção de água	Se a absorção de água da camada de base reforçada após 1h é $\geq 1\text{kg/m}^2$ então a absorção de água da camada de reboco deve ser $< 1\text{kg/m}^2$
Comportamento higrotérmico	Não devem ocorrer os seguintes fenómenos: -Empolamento ou descolagem de qualquer camada de acabamento; -Rotura ou fissuração associada a juntas entre placas de isolamento ou perfis colocados em ETICS; -Destacamento da rede; -Fissuração que permita a entrada de água para o isolante (normalmente $\leq 2\text{mm}$)

Quadro 2.6 (continuação) – Quadro síntese ensaios-requisitos de ETICS.

Ensaio de ETICS	Requisitos
Gelo-degelo	Se resistente ao gelo-degelo: -A absorção de água da camada de base e da rede <0,5 kg/m ² após 24h; Nos restantes casos: -Não deve apresentar nenhum dos defeitos mencionados no "Comportamento higrotérmico"; -Rotura após ciclos de gelo-degelo com tensão de rotura coesiva ou adesiva ≥0,08 N/mm ² da camada de base ao isolante; -Rotura pelo isolante se a tensão de rotura for inferior a 0,08 N/mm ²
Resistência ao impacto	-Categoria I - Impacto de 10 J sem deterioração, impacto de 3 J sem deterioração e não perfurado usando um penetrador de 6mm; -Categoria II - Impacto de 10 J rede não penetrada, impacto de 3 J sem deterioração e não perfurado com penetrador de 12 mm; -Categoria III - Impacto de 3 J rede não perfurada e não perfurado com penetrador de 20 mm.
Permeabilidade ao vapor de água	Resistência à difusão de vapor de água: - <2 m para materiais plásticos - <1 m para materiais minerais;
Libertação de substâncias perigosas	Deve cumprir os requisitos europeus e nacionais
Aderência camada de base-isolante	Tensão de rotura ≥0,08 N/mm ² com rotura coesiva ou adesiva; ou rotura pelo isolante se a tensão de rotura <0,08 N/mm ²
Aderência camada de colagem-substrato	Tensão de rotura de pelo menos 0,25 N/mm ² seco; de pelo menos 0,08 N/mm ² após 2h de retirar as amostras da água e 0,25 N/mm ² após 7h
Aderência camada de colagem-isolante	Tensão de rotura de pelo menos 0,08 N/mm ² seco; de pelo menos 0,03 N/mm ² após 2h de retirar as amostras da água e 0,08 N/mm ² após 7h ou rotura pelo isolante se a tensão de rotura for inferior a 0,08 N/mm ² / Percentagem mínima de adesão S (%)=(0,03x100)/B, B é a tensão de rotura mínima de adesão entre a camada de colagem e o isolante
Força de fixação	Obrigatório incluir resultados dos ensaios na ETA
Resistência térmica	Resistência térmica superior a 1 m ² .°C/W
Aderência após envelhecimento	Tensão de rotura ≥0,08 N/mm ² com rotura coesiva ou adesiva; ou rotura pelo isolante se a tensão de rotura <0,08 N/mm ²

2.3.3 Fluxograma de ensaios

Existe alguma interdependência entre alguns dos ensaios a efetuar, de acordo com o ETAG 004 [9], portanto é conveniente um planeamento cuidadoso dos procedimentos. De modo a facilitar esta tarefa, apresenta-se de seguida um fluxograma com a cadeia de ensaios laboratoriais, quando aplicável, de modo a obter uma aprovação técnica de ETICS.

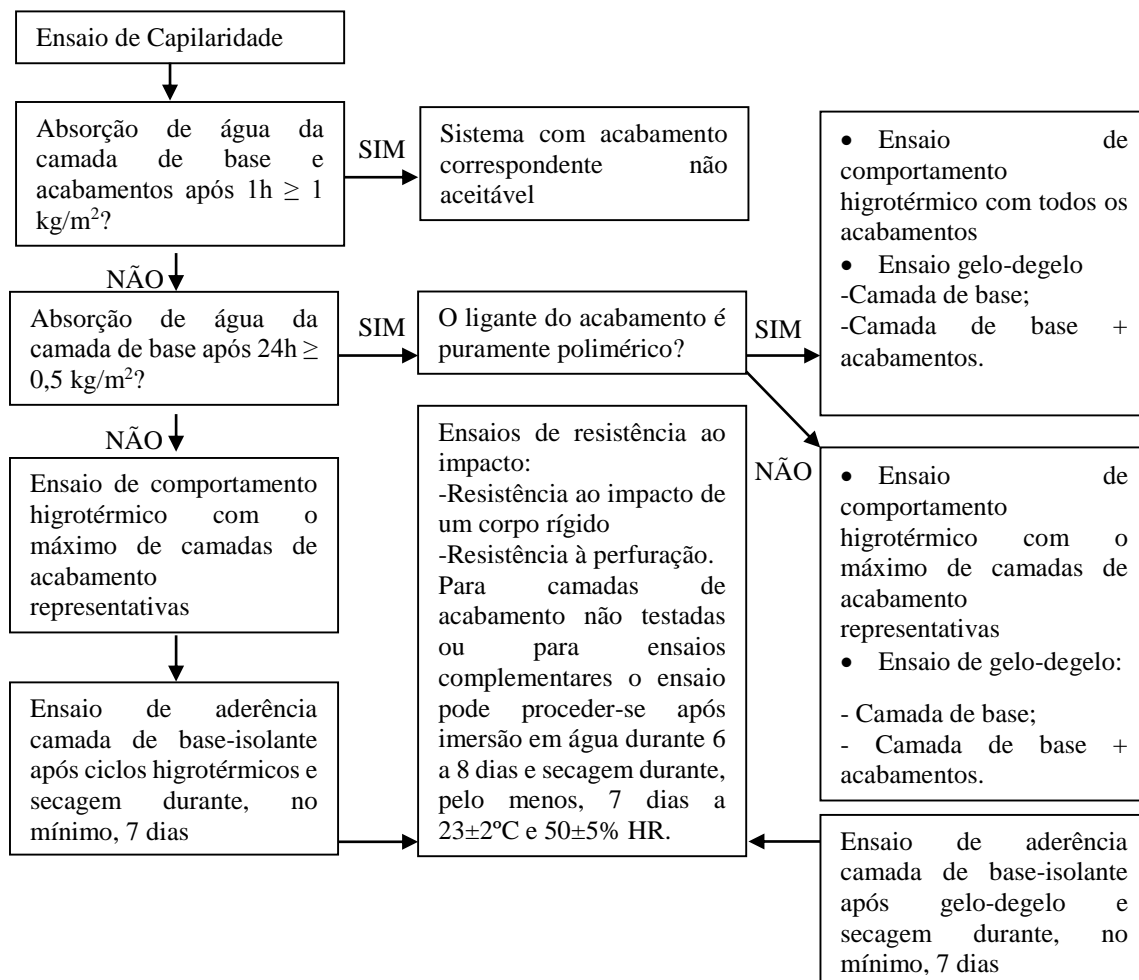


Figura 2.4 – Fluxograma de ensaios, segundo o ETAG 004 [9].

2.4 Especificações técnicas harmonizadas de ETICS

Apesar do sistema ETICS ser um produto inovador com uma presença recente no setor da construção, existem atualmente algumas normas europeias harmonizadas destinadas à avaliação do seu desempenho. Estas normas definem procedimentos de ensaio e requisitos, na sua maioria similares aos propostos no ETAG 004 [9].

As normas EN 13499:2003 [47] e EN 13500:2003 [48] são exemplo da harmonização de normas cujo objeto de estudo é o ETICS. A primeira estabelece especificações para ETICS baseados em poliestireno expandido, enquanto a segunda define especificações para ETICS baseados em lã mineral.

O quadro que se segue apresenta a comparação entre os ensaios especificados no ETAG 004 [9] e os ensaios presentes nas normas europeias harmonizadas aplicáveis ao sistema ETICS, sendo realizada uma descrição breve dos procedimentos de ensaio, quando estes são descritos. No capítulo 2.3 poder-se-á encontrar informação complementar acerca das metodologias de ensaio propostas no Guia de Aprovação Técnica Europeia.

Quadro 2.6- Quadro comparativo de ensaios de ETICS pelo ETAG 004 e pelas normas europeias aplicáveis

	ETAG 004	Normas Europeias referentes a ETICS
Reação ao fogo	EN 13501-1:2007 - <i>Fire classification of construction products and building elements. Part 1: Classification using data from reaction to fire tests.</i> [37]	EN 13501-1:2007 - <i>Fire classification of construction products and building elements. Part 1: Classification using data from reaction to fire tests</i> [37].
Absorção de água	Ensaio de Capilaridade: Imersão em banho de água ($23\pm 2^{\circ}\text{C}$) de amostras preparadas com material de isolamento revestidas a camada de base e todos os acabamentos previstos durante 24 h, após condicionamento a temperatura e humidade controladas. Posterior secagem durante 24 h a $50\pm 5^{\circ}\text{C}$. As amostras são pesadas aos 3 minutos, 1h e 24h.	EN 1062-3:2008 – <i>Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete. Part 3: Determination of liquid water permeability</i> [49].
Comportamento Higrotérmico	Sobre um murete com as dimensões adequadas [9] aplica-se o sistema ETICS, exceto numa pequena área. Após a cura efetuam-se ciclos higrotérmicos compreendendo: 80 Ciclos calor-chuva e 5 Ciclos calor-frio.	Não aplicável.
Comportamento ao gelo-degelo	Amostras de isolamento térmico revestidas por camada de base sem acabamentos e/ou todas as camadas previstas são submetidas após condicionamento a 30 ciclos compreendendo: imersão das amostras em água e arrefecimento, de acordo com [9].	Não aplicável.
Resistência ao impacto	Este ensaio é realizado após os ciclos higrotérmicos. Resistência por impacto de corpo rígido - ISO 7892:1988 [38] Impacto de 10J em 3 amostras com uma bola de aço com 1kg e a uma altura de 1,02m; Impacto de 3J em 3 amostras com uma bola de aço com 0,5kg e a uma altura de 0,61m	EN 13497:2002 - <i>Thermal insulation products for building applications. Determination of the resistance to impact to external thermal insulation composite systems (ETICS)</i> [50]. Impacto de 2J com uma bola de aço com 500g em queda através de um tubo, de 408mm; Impacto de 10J com uma bola de aço com 1000g em queda através de um tubo, de 1020mm. Cada ensaio deve ser feito 5 vezes em pontos diferentes da amostra. Esta deve ter dimensões mínimas de 200mm x 200mm x 60 mm e devem ser em número necessário à realização de todos os ensaios. Alternativamente, pode realizar-se o ensaio de acordo com a ISO 7892 para um impacto com corpo em movimento pendular.

Quadro 2.8 (continuação) - Quadro comparativo de ensaios de ETICS pelo ETAG 004 e pelas normas europeias aplicáveis

	ETAG 004	Normas Europeias referentes a ETICS
Resistência à perfuração (Perfotest)	Onde a camada de base tiver uma espessura inferior a 6 mm, deve ser reproduzido o impacto de uma esfera de aço com 0,5 kg a cair de 0,765m. Para tal são colocados perfuradores hemisféricos no aparato com diâmetros de 4,6,8,10,12,15,20,25,30. Os resultados são verificados em 5 amostras.	EN 13498:2002 - <i>Thermal insulation products for building applications. Determination of the resistance to penetration of external thermal insulation composite systems (ETICS)</i> [51]. Em amostras de isolante, com dimensões mínimas de 200mm x 200mm x 60mm, são colocadas as camadas de base e acabamento. Com uma máquina de compressão com um dispositivo de penetração, constituído por um cilindro de aço com pelo menos 30 mm de comprimento, diâmetro de 20±0,1 mm e uma extremidade hemisférica com um raio de 10±0,05mm; é pressionado o centro de cada amostra com uma velocidade de 10±1mm/min.
Permeabilidade ao vapor de água	Amostras de são condicionadas, sendo o isolante separado das camadas de base e acabamento, de acordo com a EN ISO 7783-1 e EN ISO 7783-2 [39]; os resultados são expressos em m e a resistência á difusão de vapor de água determinada como o valor médio e arredondado às décimas.	EN ISO 7783-2:2011 - <i>Paints and varnishes. Determination of water-vapour transmission properties. Cup method (ISO 7783:2011)</i> [39].
Aderência camada de base - isolante	Amostras quadrangulares com o tamanho adequado são cortadas até á camada de base; chapas de metal são colocadas às amostras; é efetuado o ensaio de arrancamento com uma velocidade de tensionamento de 1 a 10 mm/minuto;	EN 13494:2002 - <i>Thermal insulation products for building applications. Determination at the tensile bond strength of the adhesive and of the base coat to the thermal insulation material.</i> [52]
Aderência camada de colagem - Substrato	Cortam-se quadrados até ao substrato, chapas de metal coladas e é efetuado o ensaio de arrancamento com velocidade de tensionamento de 1 a 10 mm/minuto em amostras sem condicionamento adicional, após imersão da camada de colagem em água e secagem, após imersão da camada de colagem em água durante 2 dias e secagem.	Não aplicável.

Quadro 2.8 (continuação) - Quadro comparativo de ensaios de ETICS pelo ETAG 004 e pelas normas europeias aplicáveis

	ETAG 004	Normas Europeias referentes a ETICS
Aderência camada de colagem - Isolante	A camada de colagem é espalhada no isolante com espessura entre 3 e 5mm e curado durante 28 dias. São cortados quadrados até ao substrato, chapas de metal com a dimensão adequada são coladas e é efetuado o ensaio de arrancamento com velocidade de tensionamento de 1 a 10 mm/minuto em amostras sem condicionamento adicional, após imersão da camada de colagem em água e secagem e após imersão da camada de colagem em água e secagem.	EN 13494:2002 - <i>Thermal insulation products for building applications. Determination at the tensile bond strength of the adhesive and of the base coat to the thermal insulation material</i> [52].
Força de fixação	Ensaio de deslocamento de acordo com [9].	Não aplicável
Resistência à carga do vento de ETICS fixados mecanicamente	Ensaio de arrancamento das fixações: Amostras com uma cavilha aparafusada no centro (ou nas juntas entre painéis) e desolidarizada do substrato são coladas a um substrato rígido. Após a cura da cola é aplicada uma força de arrancamento a uma taxa de 20mm/min, no topo da cavilha, até obter a rotura. Os ensaios em que a rotura ocorrer na extremidade são invalidados, sendo as dimensões das amostras aumentadas.	EN 13494:2002 - <i>Thermal insulation products for building applications. Determination at the tensile bond strength of the adhesive and of the base coat to the thermal insulation material</i> [52].
Ensaio de bloco de espuma estático	O sistema ETICS é aplicado sobre uma laje de betão sem qualquer adesivo, apenas fixado mecanicamente. É colado o bloco de espuma com 300x300 mm ² , pelo menos, e comprimento mínimo de 300mm colocado uma vara de extensão para medir os deslocamentos. Superiormente é colado com uma cola <i>epoxy</i> um painel de contraplacado ou outro material rígido onde é aparafusada uma trave em cruz para aplicar uma tensão com velocidade de tensionamento de 10±1 mm/min. A tensão é gerada por um macaco hidráulico e transferida através de uma célula de carga.	EN 13495:2002 - <i>Thermal insulation products for building applications. Determination of the pull-off resistance of external thermal insulation composite systems (ETICS) (foam block test)</i> [53]. Em laje de betão com pelo menos as dimensões do isolante e espessura mínima de 100mm são aplicados o isolante com fixações mecânicas, e reboco, de acordo com o especificado pelo fabricante. É colada a placa de contraplacado ao bloco de espuma (entre 200 x 200mm ² e 333 x 333mm e espessura de 300 e 500mm) e a carga é gerada (10±1mm/min) por um macaco hidráulico e transferida através de uma célula de carga a uma trave metálica em cruz aparafusada ao centro da placa.

Quadro 2.8 (continuação) - Quadro comparativo de ensaios de ETICS pelo ETAG 004 e pelas normas europeias aplicáveis

	ETAG 004	Normas Europeias referentes a ETICS
Ensaio de subpressão dinâmica do vento	É fixada (colada ou fixada mecanicamente) ao murete uma placa de isolamento térmico e rebocada. São feitos furos com 15 mm de diâmetro em cada m ² correspondentes com as juntas entre placas de isolante. O murete é colocado numa câmara de sucção e submetida a ciclos de pressão até rotura	Não aplicável.
Economia de energia e retenção de calor	Resistência térmica e coeficiente de transmissão térmica: Resistência térmica do reboco determinada experimentalmente pela EN 12667 ou EN 12664; Restantes resistências térmicas e coeficientes de transmissão térmica em EN ISSO 6946 e EN ISO 10456; Resistência térmica do sistema ETICS na EN 1934; Influência das pontes térmicas pode ser calculada pela EN ISO 10211;	Resistência térmica calculada de acordo com a EN ISO 10456:2007 - Materiais e produtos de construção. Propriedades higro-térmicas. Valores de projecto tabelados e procedimentos para a determinação de valores declarados e valores de projecto térmico (ISO/DIS 10456:2005) [44] e EN ISO 6946:2007 - <i>Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation method</i> (ISO 6946:2007) [43], usando a resistência térmica indicada para EPS na EN 13163:2012 [54] e para lã mineral na EN 13162:2012 [55].
Aspetos de durabilidade e serviço	Resistência de adesão após envelhecimento: Se camada de acabamento ensaiada o ensaio é realizado após ciclos higrotérmicos e secagem durante 7 dias, são cortadas até ao substrato amostras quadradas com as dimensões aproximadas do ensaio de arrancamento, coladas placas metálicas e aplicada uma tensão de arrancamento 1 a 10 mm/min até à rotura Se camada de acabamento não ensaiada O ensaio é realizado em amostras envelhecidas por imersão em água durante 7 dias e secas e/ou se o necessário ensaio gelo-degelo e secagem durante 7 dias A amostra é testado com o reboco após a cura durante 28 dias, são cortadas até ao substrato amostras quadradas, placas de metal são coladas e tencionadas a 1 e 10 mm/min. Os valores da tensão de rotura são registados para ambos os casos.	Durabilidade e adesão do material de acabamento na camada de base determinada de acordo com prEN ISO 4628-2, prEN ISO 4628-4 e prEN ISO 4628-5 depois de condicionamento de acordo com a EN 1062-11:2006 [56].

De uma forma geral, as normas europeias relativas a ETICS, remetem para outras normas europeias por forma a definir o procedimento de ensaio para avaliação de determinado requisito. Em alguns dos métodos de ensaio verificam-se algumas semelhanças o ETAG 004, como é o caso do ensaio de resistência ao fogo (de acordo com a mesma norma), ensaio de resistência ao impacto, o ensaio de resistência à perfuração, o ensaio de bloco de espuma estático e o ensaio para avaliação da resistência térmica.

O ensaio de resistência ao impacto referido na normalização europeia difere em alguns aspetos do ensaio preconizado pela ETAG. O aspeto mais díspar é a menor energia de impacto, de 2 J na norma e 3 J no impacto.

O mesmo acontece no ensaio de resistência à perfuração em que é definida apenas uma dimensão do dispositivo de perfuração, ao passo que no ETAG 004 são testadas várias dimensões.

2.5 Avaliação experimental de ETICS

Norvaišienė *et al.* [33] efetuaram um estudo da durabilidade e vida útil da camada de acabamento do ETICS avaliando a quantidade de água absorvida durante 24 h enquanto ensaiada a absorção de água e secagem, medindo igualmente as alterações na aderência. Para tal, foram produzidas 5 amostras, de 200 mm x 200 mm com espessuras de 50 e 100 mm, de EPS 70 com reboco mineral e acrílico (camada de base de 2 a 6 mm), e diferentes camadas de acabamento (de 1,5 a 2 mm), por forma a identificar as diferenças nas propriedades da camada de base e acabamento. O efeito da presença da rede de reforço foi verificado com amostras com rede de fibra de vidro, sem rede e com rede dupla.

As amostras foram envelhecidas submetendo-as a ciclos climáticos acelerados com base em investigações anteriores e de acordo as estatísticas climáticas lituanas relativas à duração média da chuva e temperaturas exteriores máximas no verão e inverno. Os ciclos climáticos acelerados consistiram em 3 fases: absorção de água (16 ciclos de 7h), arrefecimento (16 ciclos a -10 °C durante, pelo menos, 7h) e secagem (até obter-se a secagem pretendida).

Os ensaios demonstraram uma influência significativa no processo de envelhecimento na vida útil do ETICS. As amostras com rede dupla, apesar de terem maior resistência ao impacto, absorvem uma elevada quantidade de água inicialmente, que após 16 ciclos climáticos diminuiu. Outra das conclusões dos resultados obtidos mostra que estas amostras acumulam 2 vezes mais água do que amostras com reforço simples, o que leva a crer que a espessura do reforço afeta a acumulação de água no reboco.

A aderência, após 16 ciclos de envelhecimento, diminui proporcionalmente, ocorrendo a rotura no produto de isolamento. Contudo, após 32 ciclos, a camada de base separa-se, visivelmente, do EPS simplesmente puxando-a. Posto isto, conclui-se que os ciclos climáticos afetam negativamente a resistência, nomeadamente, a aderência do ETICS.

Yin *et al.* [57] estudaram a aderência entre camada de base e produto de isolamento, numa solução de ETICS com espuma de poliuretano. A avaliação da aderência foi efetuada após ciclos higrotérmicos de calor-chuva e calor-frio, analogamente ao procedimento do ETAG 004. Efetuaram-se 80 ciclos de calor chuva com a duração de 6 h, incluindo 3 h de temperatura crescente, 1 h de pulverização com água e 2 h de secagem, seguido de 48 h de regulação da temperatura (entre 10 e 25 °C) e humidade relativa (não inferior a 50 %). Seguidamente realizaram 5 ciclos de calor-frio com a duração de 24 h, incluindo 8 h de temperatura crescente e 16 h de temperatura decrescente.

Consideraram-se amostras de, aproximadamente, 62 mm x 82 mm, em que foram executados cortes com 40 mm x 40 mm até à camada de reforço e aparafusaram-se placas de aço com a mesma dimensão para efetuar o ensaio de aderência.

Nas várias etapas de ensaio consideradas (120, 240, 480, 576 e 648 h) a aderência entre a camada de base e o isolante foi constantemente superior a 0,1 MPa, limite estabelecido na especificação utilizada (no ETAG 004, é requerido apenas 0,08 MPa). A menor resistência obtida, no final dos ciclos higrotérmicos, foi de 0,225 MPa.

Comparando a curva aderência/tempo para ETICS em que o produto de isolamento é espuma de poliuretano com ETICS com a inclusão de placas de EPS e argamassas com incorporação de granulado de poliuretano, verifica-se que a primeira é a que apresenta um comportamento mais estável, ou seja, a variação da resistência, em termos de aderência, ao longo do tempo é pouco significativa, apesar de ter uma resistência tendencialmente mais baixa. Portanto, é vantajoso, neste ponto de vista, utilizar a espuma de poliuretano como produto de isolamento de ETICS.

2.6 Manutenção de ETICS

Uma das formas de prevenir o aparecimento de patologias é a realização de ações de manutenção periódicas. Em Portugal, as políticas de manutenção, embora pouco frequentes, têm sido aplicadas com sucesso apesar dos elevados custos associados. O aumento do custo da construção nova tem levado à adoção de medidas de manutenção dos edifícios permitindo a subsistência de condições de bem-estar, de economia, nomeadamente, de energia e de valorização do património. Devido á necessidade de satisfação do conforto térmico dos edifícios e da legislação vigente [3], a colocação de isolamento térmico na envolvente dos

edifícios tornou-se imperativa. O sistema ETICS apresenta, aparentemente, um período de vida útil suficiente para o cumprimento destas exigências durante a fase de utilização do próprio edifício, no entanto, é conveniente o seu estudo.

No trabalho de Mendes da Silva e Falorca [30] foi proposto um plano de inspeção e manutenção de edifícios correntes, com o acrónimo PIMEC. Para validar o modelo foram analisados edifícios pertencentes à Universidade de Coimbra, maioritariamente, no Polo II; cujas fachadas possuem ETICS. O procedimento estabelecido no modelo leva à identificação e caracterização dos elementos dos edifícios, diretamente através da recolha das informações relevantes. Foram observados 3 tipos de defeitos: defeitos de superfície, fissuras e defeitos locais. Os defeitos de superfície incluem vegetação parasita, sujidade devido às águas de escorrência e superfícies irregulares, que afetam uma área vasta das fachadas mas não influenciam o comportamento físico das paredes. No caso das fissuras, estas afetavam 79% das fachadas mas restringiam-se a pequenas áreas promovendo a deterioração do ETICS e diminuição do seu desempenho. Por último, os defeitos locais deveram-se primordialmente a ações mecânicas acidentais ou por vandalismo, afetando não só local mas também globalmente o desempenho da parede, nomeadamente, na sua estanquidade à água. As anomalias foram observadas em dois momentos, com um intervalo de 2 anos. Verificou-se um aumento da percentagem de ocorrência em todos os defeitos, variando entre 1%, para os defeitos visuais na ligação entre placas, e 23% para defeitos relacionados com o aparecimento de vegetação parasita. Seguidamente, as anomalias, na respetiva percentagem de ocorrência, foram agrupadas em 4 níveis, tendo em conta a severidade da degradação – nível 1 Bom, nível 2 Degradação Ligeira, nível 3 Degradação Moderada e nível 4 Grave. Assim, é possível obter uma avaliação qualitativa dos elementos do edifício.

Baseado noutros estudos, foi definida uma curva de degradação do ETICS ao longo do tempo, considerando uma durabilidade de 28 anos para um desempenho de 0%. Ora, para obter um desempenho mínimo aceitável de 20%, sem ações de manutenção, o período de vida do sistema seria 24 anos. Foram simulados vários cenários de inspeções e ações de manutenção. Num desses cenários consideraram-se 4 inspeções, uma ação de limpeza global no 16º ano e uma reparação profunda no 32º ano, resultando num aumento de 50% no período de vida útil – 48 anos.

No âmbito do PIMEC, verificaram-se algumas vantagens teóricas deste modelo como por exemplo a flexibilidade, a manutenção do aspeto estético, a satisfação do conforto térmico e a minimização das pontes térmicas. Conclui-se que a realização de ações de manutenção conduz a uma melhoria teórica da durabilidade do ETICS, sendo possível duplicá-la.

Outra investigação, de Flores-Colen *et al.* [58] apresenta um conjunto de tabelas e correlação de matrizes com os diferentes tipos de enodoamento de rebocos de fachadas, as suas causas possíveis, técnicas de diagnóstico e de tratamento. O enodoamento pode ser devido a várias

causas, como por exemplo, eflorescências, carbonatação, corrosão, fissuração, deposição de poeiras, colonização biológica entre outros. Um estudo mais aprofundado deste fenómeno permite um melhor conhecimento de aspetos relacionados com o enodoamento, tal como, a redução dos níveis de qualidade visual, a relação entre níveis mínimos de qualidade estética e os níveis de concentração dos agentes poluentes, a caracterização dos indicadores da patologia que detetam fenómenos de degradação prematura e a relação entre parâmetros visuais e fenómenos físicos de degradação.

A metodologia proposta para apoiar o diagnóstico do enodoamento de rebocos e a técnica de manutenção escolhida é baseada em várias metodologias existentes: previsão da vida útil, melhoramento do diagnóstico através de observação e técnicas *in situ* e apoio à decisão de intervenções de manutenção. Entre os 6 passos principais do método estão a definição do problema, a observação visual, o diagnóstico, a escolha da estratégia de intervenção, a intervenção e o relatório. Adicionalmente, foram estabelecidas 6 tabelas para sistematizar os procedimentos de identificação, registo e classificação do enodoamento nas paredes rebocadas e técnicas de limpeza.

O artigo foca-se em técnicas de limpeza por estas serem muito importantes para reduzir o enodoamento e levar à sua eliminação, se as suas possíveis causas tiverem sido tratados anteriormente. Contudo, em algumas circunstâncias esta ação pode revelar-se inadequada por não conseguir eliminar o enodoamento ou por poder causar danos no suporte. Para evitar esta situação é importante a consideração de uma área de teste para avaliar cada método de limpeza bem como os seus efeitos no substrato e materiais adjacentes.

Por fim, o enodoamento foi relacionado com o tratamento a médio e longo prazo, levando em consideração a sua influência potencialmente negativa no desempenho funcional e físico do reboco.

Tal como em Flores-Colen *et al.* [58], Gaspar e Brito [59], centraram a sua investigação em rebocos, neste caso cimentícios. Os autores apresentam e discutem uma abordagem probabilística para definição de diferentes níveis de degradação dos rebocos. A metodologia proposta envolveu a avaliação visual de 150 fachadas de edifícios localizados em Lisboa, Alcochete e Tavira, todos com mais de 30 anos, com estrutura de betão armado e paredes em alvenaria de tijolo furado e reboco cimentício pintado aplicado em duas ou mais camadas.

Para cada fachada foram inspecionadas 6 áreas distintas – no piso térreo ou próximo dele, em paredes contínuas, em torno das aberturas, nos parapeitos, cumeeiras e beirais, abaixo das varandas e soffits e nos cantos e extremidades.

Em termos de ocorrência de defeitos, verificou-se que 93 % dos casos a fachada mostrava sinais de degradação. A fissuração devido a movimentos diferenciais foi o defeito mais frequente,

com uma percentagem de ocorrência de 31 %, seguida das escorrências, em 25 % dos casos. Relativamente à zona em de ocorrência, foi em paredes contínuas que se verificou a maior percentagem de degradação, 35 %.

Posteriormente foram criados mapas indicadores de probabilidade e sensibilidade à ocorrência de defeitos, através de gráficos bidimensionais que representam as 6 diferentes zonas de uma fachada imaginária. Nesses mapas esquemáticos a probabilidade de ocorrência de defeitos e sensibilidade a determinado defeito foram representadas por curvas isométricas, com valores entre 0 (não provável) e 1 (certo). Além disso foi adicionado o nível médio de degradação para cada parte da fachada, desde 0 (sem degradação) a 4 (degradação extensiva).

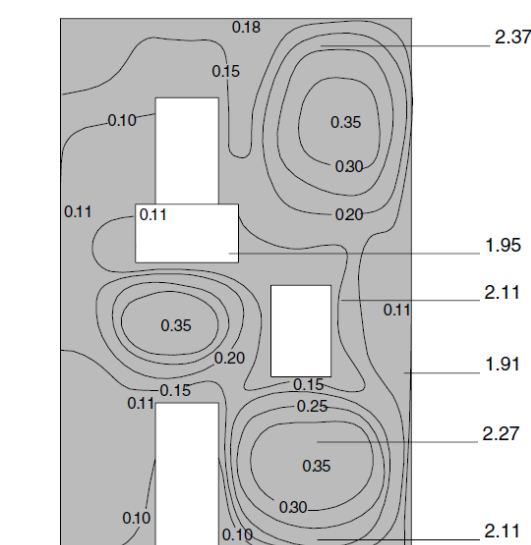


Figura 2.5 – Mapa de probabilidade de ocorrência geral de defeitos e nível de degradação médio. [59]

Apesar de haver a necessidade de mais dados para produzir uma ferramenta fiável orientada para a produção destes mapas, é possível gerar imagens que ajudem a perceber o comportamento expectável de rebocos de fachadas e contribuir para estratégias de conceção com melhor suporte técnico. Além disso, esta poderá ser uma ferramenta muito útil para a elaboração de planos de manutenção, uma vez que destaca as áreas em que é mais provável ocorrem patologias podendo atuar-se de uma forma preventiva.

2.7 Revestimentos cerâmicos colados sobre isolamento térmico exterior

Apesar de apresentar inúmeras vantagens, o ETICS tem algumas limitações do ponto de vista mecânico, nomeadamente a ações de perfuração. Com efeito, ações de vandalismo ou até degradação por ações naturais podem causar a diminuição do desempenho da solução. Tem-se verificado a procura de soluções alternativas que minimizem essas limitações. Uma das soluções, com crescente utilização, é a aplicação de ladrilhos cerâmicos sobre o isolamento exterior.

Carvalho Lucas [60] define ladrilho cerâmico como um “ladrilho delgado (de espessura significativamente inferior às dimensões faciais) obtido a partir da argila, ou de outras matérias-primas inorgânicas, por um processo sequencial de conformação (por extrusão ou prensagem a seco), secagem e cozedura”. Ladrilho cerâmico pode definir-se, ainda, como “placas feitas de argila com outras matérias-primas inorgânicas”, de acordo com a NP EN 14411:2008 [61]. Assim, segundo Carvalho Lucas [62], um revestimento cerâmico colado a um suporte é um sistema composto pelos ladrilhos cerâmicos, pelo produto de colagem e pelo produto de preenchimento das juntas entre ladrilhos. O sistema fica solidarizado com o suporte que poderá ser constituído por betão ou alvenaria, nos casos correntes.

O revestimento cerâmico pode corrigir as das limitações do ETICS relativas à resistência ao choque e perfuração, especialmente em zonas acessíveis das fachadas, e resistência ao fogo. No entanto, por não ser incluído no ETAG 004, há a necessidade em desenvolver metodologias de ensaio para avaliação do desempenho de ETICS com acabamento cerâmico. Procura-se, de seguida, comparar os requisitos dos revestimentos cerâmicos os requisitos do ETICS.

2.7.1 Comparação entre requisitos dos revestimentos cerâmicos e do ETICS

A norma NP EN 14411:2008 [61] define termos, especifica requisitos e critérios de marcação de ladrilhos cerâmicos (produzidos por extrusão ou prensagem a seco) da melhor qualidade comercial (primeira qualidade). Além disso, estabelece uma metodologia de classificação de ladrilhos cerâmicos em grupos segundo o seu processo de fabrico e valor da absorção de água.

Considerando um ladrilho adequado ao uso em fachadas exteriores, segundo o fabricante [63], este pertence ao grupo BI_a ou BI_b, de acordo com [61]. Temos no quadro seguinte as exigências do ETAG 004 [9] comparadas com as exigências da norma NP EN 14411 [61], quando aplicável. Como exemplo, considera-se o ladrilho pertencente ao grupo BI_a, ou seja, ladrilho cerâmico prensado a seco (B) com absorção de água, *E*, inferior a 0,5 %, em massa.

Quadro 2.7 – Comparação entre as exigências de ETICS [9] e revestimentos cerâmicos [61].

	ETICS [9]	Cerâmicos (Grupo BI_a) [61]
Resistência mecânica	Não aplicável.	Flexão: ≥ 1300 N ($e \geq 7,5$ mm); ≥ 700 N ($e < 7,5$ mm); Módulo de rotura: ≥ 35 N/mm ² ou ≥ 32 N/mm ² individual. EN ISO 10545-4 [64]
Absorção de água	Se a absorção de água da camada de base reforçada após 1h ≥ 1 kg/m ² então a absorção de água da camada de reboco < 1 kg/m ²	$\leq 0,5\%$ (EN ISO 10545-3 [65]) ou $\leq 0,6\%$ individual
Compor, higrotérm.	Não deve ocorrer: Empolamento ou descolagem de qualquer camada de acabamento; -Rotura ou fissuração associada a juntas entre placas de isolamento ou perfis colocados em ETICS; -Destacamento da rede; -Fissuração que permita a entrada de água para o isolante (normalmente igual ou inferior a 2mm)	Dilatação linear de origem térmica: desprezável, exceto para ladrilhos aplicados em áreas com grandes variações térmicas. EN ISO 10545-8 [66]. Dilatação com a humidade desprezável, quando bem aplicados; Com deficientes técnicas de aplicação ou em certas condições climáticas, uma expansão devida à humidade maior que 0,06% (0,6 mm/m) pode levar a ocorrência de problemas. EN ISO 10545-10 [67]
Gelo-degelo	Se resistente ao gelo-degelo: -A absorção de água da camada de base e da rede $< 0,5$ kg/m ² após 24h; Nos restantes casos: não deve apresentar nenhum dos defeitos mencionados no comportamento higrotérmico; rotura após ciclos de gelo-degelo com tensão de rotura coesiva ou adesiva $\geq 0,08$ N/mm ² da camada de base ao isolante e rotura pelo isolante se a tensão de rotura $< 0,08$ N/mm ²	Resistente ao gelo: EN ISO 10545-12 [68]
Resist. ao impacto	-Categoria I - Impacto de 10 J sem deterioração, impacto de 3 J sem deterioração e não perfurado usando um penetrador de 6mm; -Categoria II - Impacto de 10 J rede não penetrada, impacto de 3 J sem deterioração e não perfurado com penetrador de 12 mm; -Categoria III - Impacto de 3 J rede não perfurada e não perfurado com penetrador de 20 mm.	Aplicável a áreas onde a resistência ao impacto é importante. Coeficiente de restituição de 0,55 para instalações com serviço ligeiro e superior para condições de serviço mais pesadas. EN ISO 10545-5 [69].

Como podemos verificar do quadro anterior, os requisitos definidos para o ETICS são muito díspares daqueles exigidos aos ladrilhos cerâmicos. Este facto advém das diferentes funções que estes desempenham num edifício. Enquanto o sistema ETICS tem como função primordial assegurar o cumprimento das exigências higrotérmicas e de estanquidade, o revestimento cerâmico impõe-se, em muitas situações, como um revestimento decorativo ou funcional. As exigências requeridas ao revestimento cerâmico prendem-se com resistência mecânica, absorção de água, estabilidade á dilatação higrotérmica, resistência ao gelo-degelo (quando aplicável) e resistência ao impacto (quando aplicável). Assim, o revestimento cerâmico poderá complementar o sistema ETICS.

2.7.2 Adaptação do revestimento cerâmico a paredes com ETICS

Pereira, V. *et al.* [31] avaliaram um conjunto de parâmetros relevantes para o desempenho de ETICS não convencionais com acabamento em revestimento cerâmico. A motivação dste estudo prende-se com observação de resultados esporádicos de aderência por tração perpendicular desta solução na ordem de $0,4 \text{ N/mm}^2$ – significativamente superior aos resultados obtidos noutros trabalhos (entre $0,15$ e $0,30 \text{ N/mm}^2$), com rotura predominante pelo material isolante.

Desta forma forma, analisou-se a espessura da camada de base, a coesão interna da camada de base, a utilização ou não de rede de reforço, a largura da malha e a sua posição camada de base.

Foram consideradas 3 formulações distintas da argamassa da camada de base, 2 tipos de rede de reforço e um material isolante em EPS 100. Em função dos objetivos do estudo definiram-se ainda 3 fases de ensaios experimentais: fase 1 – avaliação do tipo de argamassa de base, com variação no tipo e disposição da rede de reforço; fase 2 – avaliação do tipo de argamassa de base, com variação da sua espessura de aplicação; e, finalmente, fase 3 – avaliação da espessura da argamassa de base, da largura da malha da rede de reforço e da sua disposição na espessura da camada. Em todas as fases, a aderência por tração perpendicular foi estudada numa período inicial, após ação do calor e após imersão em água.

Na fase 1 verificou-se a rotura pelo material isolante e aderência sempre superior a $0,15 \text{ N/mm}^2$. A exposição ao calor ou a água conduz a uma diminuição pouco significativa dos valores de aderência. Por outro lado, a utilização de uma argamassa mais rica em polímero promove resultados de aderência superiores. Na fase 2 a espessura da argamassa não interfere significativamente nos resultados obtidos (aderência mínima de $0,20 \text{ N/mm}^2$, excetuando a imersão em água), para espessuras inferiores a 6 mm. No entanto, para argamassas com 6 mm a tendência é para a ocorrência de rotura coesiva da camada de base. Nesta fase, verifica-se que a ação da imersão das amostras em água resulta numa diminuição na aderência de soluções (mínimo de $0,11 \text{ N/mm}^2$), mesmo em argamassas com maior percentagem de polímero. Na

fase 3 verificou-se que espessuras da camada de base superiores traduzem-se em melhores resultados de aderência, relativamente às restantes fases, tendo a rotura ocorrido, em grande parte das situações, na camada de base ou na interface cerâmico-cola. Embora a aderência seja diminuída pelas ações do calor e água, os resultados são superiores a $0,19 \text{ N/mm}^2$, podendo atingir $0,34 \text{ N/mm}^2$, na configuração com camada de base de 8 mm, rede 4 mm x 4 mm e próxima da superfície da camada de base, mesmo após calor ou imersão em água.

Os resultados obtidos destacam a possibilidade de melhorar o sistema de fixação de revestimentos cerâmicos sobre ETICS. Alguns pormenores de execução podem significar uma variação de aderência na ordem de 80%.

Este estudo carece de resultados *in situ*, no entanto permitem estabelecer uma metodologia de execução de ETICS com aplicação de revestimento cerâmico como acabamento. Pressupondo a utilização de um argamassa de colagem e de revestimento com conteúdo de polímero elevado, define-se o seguinte método.

- Colocação das placas isolantes com argamassa de colagem aplicada em toda a superfície, sobre suporte regularizado;
- Fixação mecânica das placas ao suporte com buchas específicas;
- Revestimento das placas de isolante com argamassa de base com pelo menos 8mm, aplicada em várias camadas, e incorporação de rede de reforço 4x4mm, o mais próximo da superfície da última camada;
- Aplicação da camada final de revestimento, escondendo a rede;
- Colagem de elementos cerâmicos com argamassas adequadas e procedimentos adequados à aplicação em fachada.

Dos mesmos autores [32] surge um estudo *in situ* da resistência à tração perpendicular de ETICS não convencionais com acabamento cerâmico. Para tal, foi construída uma parede de alvenaria, com EPS 100 (a Este) e XPS (a Sul) colados, camada de base armada com rede de fibra de vidro de 4 mm x 4 mm e elementos cerâmicos (15 cm x 4 cm) fixados com junta de 0,5 cm de largura.

A aderência por tração perpendicular foi avaliada ao fim de 3 anos de exposição às condições climáticas. Efetuaram-se provetes com cortes até à camada de isolante e cortes até à camada de reforço, por forma a avaliar a influência da rede de fibra de vidro na aderência do sistema.

Os resultados obtidos atingem, quando se aplica rede de reforço, valores de aderência próximos dos $0,30 \text{ N/mm}^2$, valor de referência para rebocos à base de cimento em paredes. Adicionalmente, a rotura deixa de ocorrer no seio do isolamento térmico passando a ocorrer no conjunto camada de base/rede de fibra de vidro.

Adicionalmente, Malanho. *et al.* [70] adaptaram o ensaio de aderência para acabamentos com pintura, previsto no ETAG 004, ao revestimento cerâmico com o objetivo de analisar a aderência da camada de base ao isolante (EPS) e a aderência do revestimento cerâmico à camada de base. O comportamento foi avaliado aos 28 dias, 1 ano e 2 anos em ambiente natural e comparados com o ensaio de envelhecimento artificial, como contemplado no Guia para Aprovação Técnica Europeia para caso de acabamento por pintura. Variou-se o tipo de acabamento (cor e dimensão), zonas de fachada (zona corrente e zona dos peitoris), localização da colocação de cavilhas plásticas e características do suporte (alvenaria de tijolo não rebocada e rebocada) de modo a verificar a sua influência na tensão de arrancamento.

No ensaio de aderência do revestimento ao isolante obteve-se rotura pelo isolante, com valores de tensão de rotura (superior a $0,08 \text{ N/mm}^2$) semelhantes nas duas zonas da fachada, para os diferentes tipos de acabamento e características do suporte. Os resultados da tensão de rotura, no estado novo, para o ensaio de aderência entre acabamento cerâmico e camada de base (em média $0,56 \text{ N/mm}^2$) foram superiores aos obtidos no ensaio de aderência entre camada de base e isolante (em média $0,21 \text{ N/mm}^2$). O envelhecimento natural revelou ser mais desfavorável que o envelhecimento artificial, apresentado este último valores de aderência mais baixos (em média $0,19$ e $0,33 \text{ N/mm}^2$, entre camada de base e isolante e entre camada de base e revestimento cerâmico, respetivamente) que no estado novo, mas mais elevados do que após 1 ano (em média $0,24 \text{ N/mm}^2$) e 2 anos (em média $0,17 \text{ N/mm}^2$). Relativamente à zona da fachada, obteve-se uma melhor aderência do revestimento cerâmico à camada de base nas zonas dos peitoris. Neste último ensaio, o tipo de acabamento, a localização das cavilhas e as características do suporte revelaram-se pouco relevantes na tensão de arrancamento.

2.7.3 Patologias e causas de degradação

Embora o revestimento cerâmico possa surgir para colmatar algumas das limitações do ETICS, pode-se estar a introduzir outras patologias. Em duas publicações do LNEC [71] e [62] são descritos os tipos de degradação existentes bem como as suas causas, apresentadas no quadro seguinte:

Quadro 2.8 – Patologias de paredes com revestimento cerâmico

Tipo de degradação	Causas da degradação
<i>Devidos a deficiência dos ladrilhos:</i>	
Eflorescências	<ul style="list-style-type: none"> • Presença de sais solúveis nos ladrilhos que por humedificação migram até à superfície e aí se depositam, à medida que a água se vai evaporando.
Crateras	<ul style="list-style-type: none"> • Expansão por hidratação, de partículas de óxido de cálcio quando em contacto com a água, no estado líquido ou gasoso.
Fissuração do vidrado	<ul style="list-style-type: none"> • Coeficiente de dilatação térmica superior, ou não suficientemente inferior, ao da base da cerâmica do ladrilho, que o coloca em tração após o arrefecimento resultante da cozedura; se ocorre expansão da base cerâmica durante a aplicação, a tração daí resultante pode causar a fissuração; • Contração dos produtos de colagem dos ladrilhos, adicionalmente ao estado natural de pré-tensionamento em compressão dos cerâmicos, pode levar a rotura por compressão; • Choque térmico.
Nódoas	<ul style="list-style-type: none"> • Textura superficial que favorece a retenção de sujidade; • Poros abertos à superfície;
<i>Devidos a deficiência dos produtos de preenchimento das juntas:</i>	
Fissuração	<ul style="list-style-type: none"> • Retração por secagem do produto de preenchimento das juntas ou contrações-expansões cíclicas devidas a variações higrotérmicas; • Extensões de rotura insuficientes para absorverem os movimentos transmitidos à junta pelo revestimento ou pelo suporte;
Descolamento dos bordos	<ul style="list-style-type: none"> • Aderência insuficiente do produto de preenchimento das juntas aos bordos dos ladrilhos; • Inadequação da granulometria ou da consistência do produto à largura ou profundidade da junta; • Relação inadequada largura/profundidade da junta;
Desprendimento	<ul style="list-style-type: none"> • Evolução das anomalias referidas anteriormente; • Expansão do produto de preenchimento, de base cimentícia, devido aos sulfatos presentes em produtos de limpeza;
Enodoamento	<ul style="list-style-type: none"> • Absorção e retenção de produtos que causam nódoas, em forma de pó ou transportados pela água.
<i>Devidos ao uso:</i>	
Descolamento	<ul style="list-style-type: none"> • Movimentos diferenciais suporte-revestimento; • Aderência insuficiente entre camadas do revestimento; • Descontinuidade do suporte ou do revestimento cerâmico;

	<ul style="list-style-type: none"> • Cristalização de sais solúveis que é acompanhada por um aumento do volume; • Falta de juntas elásticas no contorno do revestimento; • Deficiências do suporte (limpeza, planeza e porosidade); • Utilização de cola com o tempo de abertura real ultrapassado ou cola inadequada ao grau de porosidade dos ladrilhos (rotura adesiva ladrilho-cola); • Entrada em serviço do revestimento antes de a cola adquirir o necessário desempenho ou ladrilhos submetidos a gelo-degelo (rotura coesiva da cola); • Contaminação do suporte por produtos pulverulentos, ou suporte demasiado quente ou seco no momento de aplicação da cola, ou cola inadequada ao grau de porosidade do suporte (rotura adesiva cola-suporte); • Suporte sem coesão, sem condições para receber o revestimento (rotura coesiva do suporte).
Fissuração	<ul style="list-style-type: none"> • Fendilhação do suporte, ou movimentos diferenciais entre o suporte e os ladrilhos, que conduzem a tração nos ladrilhos; • Retração-expansão do produto de colagem; • Choque violento ou choque em ladrilhos mal colados; • Rotura em flexão de ladrilhos mal assentes;
Esmagamento os lascagem dos bordos	<ul style="list-style-type: none"> • Movimentos diferenciais suporte-revestimento que resultam na compressão dos ladrilhos;
Enodoamento, riscagem ou desgaste prematuros	<ul style="list-style-type: none"> • Escolha inadequada ao uso dos ladrilhos; • Abertura de poros na superfície dos ladrilhos em consequência do desgaste ou ataque químico;
Alteração da cor	<ul style="list-style-type: none"> • Ataque químico;
Desprendimento do vidrado	<ul style="list-style-type: none"> • Inadequação dos ladrilhos ao uso que não teve em consideração as ações de choque e gelo-degelo;
Deficiências de planeza	<ul style="list-style-type: none"> • Irregularidade do suporte, que o produto de assentamento não pode disfarçar; • Não cumprimento das regras de qualidade sobre planeza geral e localizada da superfície do revestimento; • Empeno dos ladrilhos.
Eflorescências	<ul style="list-style-type: none"> • Cristalização à superfície dos ladrilhos de sais transportados pela água, provenientes dos próprios ladrilhos, dos produtos de assentamento ou do suporte

Tendo em consideração as patologias associadas a paredes com acabamento cerâmico, é fundamental analisar quais serão aquelas que, provavelmente, poderão ser agravadas pela introdução de ladrilhos cerâmicos numa parede com ETICS.

Analisando o quadro anterior, verifica-se que com a colocação de revestimento cerâmico sobre ETICS poder-se-á agravar a ocorrência de eflorescências, uma vez que o material cerâmico além de ter um comportamento distinto do sistema de isolamento térmico exterior, é menos permeável ao vapor de água. No entanto, a seleção de ladrilhos cerâmicos mais porosos pode atenuar este efeito.

O descolamento do revestimento cerâmico terá, provavelmente, um risco de ocorrência superior quando aplicado sobre ETICS. Isto deve-se ao facto de o sistema ETICS apresentar patologias semelhantes quando, fundamentalmente, há uma deficiente preparação do suporte ou falta produto de colagem. A cristalização de sais solúveis, associada a eflorescências, acompanha de expansão é um fator que contribui igualmente para o descolamento do sistema e que, portanto, será agravado quando o material cerâmico é aplicado sobre isolamento térmico.

2.8 Atraso térmico

Antonopoulos e Koronakis [72] definiram atraso térmico de um edifício como o tempo necessário para que temperatura média interior, que difere ΔT da temperatura média exterior, sofra uma alteração ΔT_i . O atraso térmico é um parâmetro térmico de edifícios pouco estudado mas que fornece informação térmica numa unidade simples e de fácil compreensão.

No Brasil, por exemplo, este parâmetro é utilizado em normalização relativa ao desempenho térmico de edifícios [73]. De acordo com esta norma, nomeadamente a parte 2 [74], o atraso térmico de um componente homogéneo, φ , calcula-se através de uma das seguintes expressões:

$$\varphi = 1,382 \cdot e \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot c}{3,6 \cdot \lambda}} [h] \quad (6)$$

$$\varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{R_T \cdot C_T} [h] \quad (7)$$

em que e é a espessura da placa, λ é a condutibilidade térmica do material (W/m.K), ρ é a massa volumica aparente do material (kg/m³), c é o calor específico do material (kJ/kg.K), R_T é a resistência térmica de superfície a superfície do componente (m²K/W) e C_T é a capacidade térmica do componente (kJ/m²K).

Para um componente heterogêneo constituído por diferentes materiais em n camadas, paralelas às faces, o atraso térmico varia conforme a ordem das camadas. Desta forma, temos as seguintes expressões para o cálculo do atraso térmico:

$$\varphi = 1,382 \cdot R_T \sqrt{B_1 + B_2} [h] \quad (8)$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_T} \quad (9)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_T} \right) \left(R_{ext} - \frac{R_T - R_{ext}}{10} \right) \quad (10)$$

$$B_0 = C_T - C_{ext} \quad (11)$$

Nas expressões anterior o índice “ext” refere-se à última camada da componente, junto à face externa.

Simões *et al.* [75] simularam o atraso térmico usando soluções analíticas. Para isso consideraram um sistema multicamada, como é o caso de paredes e pavimentos, constituído por uma série de camadas planas. A variável tempo é considerada usando uma abordagem no domínio da frequência. O atraso térmico é avaliado sujeitando este sistema a uma variação de temperatura sinusoidal na face externa e registando a sua variação na outra face.

Após as configurações serem calculadas no domínio da frequência, obtêm-se as soluções no espaço-tempo aplicando uma transformada inversa de Fourier. Utilizam-se funções de Green para reproduzir uma fonte térmica harmónica colocada num meio infinito. De seguida, a partir dos termos da fonte de calor e da superfície, é obtida a solução analítica final.

Uma parte muito importante deste trabalho foi a validação experimental, em 2 sistemas constituídos por 4 materiais diferentes. As variações de temperatura nas diferentes camadas das amostras, registadas usando termopares, foram comparadas com as soluções analíticas. As propriedades térmicas dos materiais usados foram igualmente determinadas experimentalmente e introduzidas no modelo analítico. Após validação, foi executada a simulação e analisado o atraso térmico de modo a ilustrar a sua variação com a complexidade do sistema multicamada. As variáveis em estudo foram o número e tipo de materiais, e a posição e espessura da camada de isolamento térmico.

Todas as simulações impuseram uma variação de temperatura sinusoidal na face exterior, simulando a variação de temperatura ao longo de 2 dias. A temperatura inicial considerada foi de 20° C, oscilando em 10°C em cada período de 24h.

2.9 Acústica aplicada ao sistema ETICS

No contexto desta dissertação, é importante analisar, fundamentalmente, a redução dos níveis sonoros no interior dos edifícios através da proteção da sua envolvente. No Decreto-Lei nº 96/2009 [12] é definido o parâmetro isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{2m,nT}$, como a diferença entre o nível médio de pressão sonora exterior, medido a 2 m da fachada do edifício ($L_{1,2m}$ em dB) e o nível médio de pressão sonora medido no local de receção (L_2 em dB), corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor T , segundo a expressão:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0} [dB] \quad (12)$$

em que T_0 , é o tempo de reverberação de referência em segundos, normalmente considerado 0,5 s.

Adicionalmente, o índice de redução sonora de uma solução construtiva, R_w (dB), medido em laboratório é calculado de acordo com a norma de ensaio EN ISO 10140-2:2010 [76] e EN ISO 10140-4:2010 [77].

Tomando como exemplo um edifício de habitação situado numa zona sensível, de acordo com o Regulamento Geral do Ruído (RGR), Decreto-Lei nº 9/2007, de 17 de janeiro [14], o isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e quartos ou zonas de estar dos fogos deve ser superior ou igual a 28 dB, considerando uma área translúcida inferior a 60%.

A transmissão de energia sonora através de um elemento de separação processa-se por vibração do elemento. A resistência a esta vibração é conseguida através de forças de inércia que dependem da massa do elemento. Quanto maior for a massa por unidade de área, maior será o isolamento sonoro. Em termos de frequência do som incidente, a vibração do elemento diminui com o aumento desta, ou seja, aumentando a frequência do som, mantendo a massa do elemento, o isolamento sonoro será superior. Existem outras variáveis que também influenciam o isolamento sonoro - o ângulo de incidência das ondas sonoras, a existência de pontos fracos de isolamento, a rigidez, o amortecimento do elemento e, no caso de painéis múltiplos, o número de painéis, as suas características e separação entre eles. [11]

Devido ao elevado número de variáveis a ter em conta no isolamento acústico, a sua definição matemática é de elevada complexidade. Como tal, o seu estudo é efetuado, normalmente, usando modelos simplificados que fazem variar um número limitado de variáveis.

De acordo com [78], para um elemento de separação simples, se o considerarmos constituído por um conjunto de massas justapostas com deslocamentos independentes, verifica-se da curva de isolamento sonoro, para campo difuso, que por cada duplicação da massa do elemento ou da

frequência o índice de redução sonora aumenta em 6 dB. No entanto, a lei da massa apenas é válida se for desprezada a rigidez do elemento e os fenômenos de amortecimento, o que não traduz o comportamento real de elementos de separação. Verdadeiramente, o elemento vibra em função da rigidez, podendo ocorrer uma maior transmissão de energia sonora em determinadas frequências, associado ao movimento transversal do elemento em flexão e ao movimento longitudinal de ondas de flexão planas ao longo do elemento. Estes efeitos provocam o aparecimento de quebras de isolamento próximo das frequências próprias de vibração transversal por flexão dos elementos e na zona de coincidência. Segundo [11] o efeito de coincidência ocorre quando o comprimento de onda da onda sonora incidente, projetada na direção da parede, é igual ao comprimento de onda das suas ondas de flexão

Em [78] e [79] são indicados os índices de isolamento sonoro obtidos em laboratório (R_w) para algumas soluções construtivas típicas no nosso país.

Quadro 2.9 – Índices de isolamento sonoro obtidos em laboratório (R_w) [78] e [79].

Material/Sistema	R_w (dB)
Parede de tijolo de 15 cm de espessura, com juntas de argamassa horizontais e verticais totalmente preenchidas e com cerca de 2 cm de reboco por face	45
Parede de tijolo de 20 cm de espessura com reboco/ Bloco de 15 cm ($m=140 \text{ kg/m}^2$) com reboco	49
Laje maciça de betão armado com 15 cm de espessura e camada de regularização	55
Porta aligeirada corrente, com núcleo oco, e algumas frinchas ($m = 9 \text{ kg/m}^2$)	18
Janela de correr com vidro duplo 6+4 mm e caixa-de-ar com 10 mm, com razoável vedação de frinchas	27

Do quadro anterior podemos verificar que uma simples parede de alvenaria com 15 cm de espessura ou uma laje maciça com 15 cm de espessura conferem um isolamento sonoro considerável. No entanto, elementos como portas e janelas podem ter um comportamento acústico débil quando não devidamente selecionadas. Estes pontos fracos de isolamento podem condicionar fortemente o isolamento sonoro a sons de condução aérea de uma fachada. Uma vez que o isolamento global de elementos heterogêneos depende quase exclusivamente do isolamento sonoro dos elementos fracos e da área relativa que estes ocupam [11].

Considere-se o exemplo dado em [11], de uma fachada constituída em 80%, por uma parede simples de tijolo furado com 15 cm de espessura e reboco em ambas as faces com 2 cm de espessura ($R_w = 45 \text{ dB}$) e por 20% de área envidraçada ($R_w = 25 \text{ dB}$). O isolamento global da fachada é cerca de 31,8 dB. Se considerarmos um aumento de 10 dB no índice de isolamento sonoro da parede da fachada, o isolamento global aumenta para 32 dB. No entanto, se aumentarmos o índice de isolamento sonoro dos envidraçados para 30 dB (aumento de 5 dB), o isolamento global da fachada aumenta para 36,5 dB.

Um estudo realizado por Guillen *et al.* [80] analisou o isolamento a sons aéreos de algumas soluções construtivas de paredes de fachadas.

Foram consideradas para análise 6 sistemas construtivos, em que 3 deles eram constituídos por alvenaria nos panos interior e exterior e outros 3 constituídos por alvenaria no exterior e placas de gesso cartonado no interior. No paramento exterior consideraram-se 2 soluções com tijolos cerâmicos de furação vertical com 14 cm de espessura, com blocos de betão leve com 15 cm de espessura e com tijolos cerâmicos perfurados com 11 cm de espessura. O isolamento térmico usado foi a lã mineral com 50 mm de espessura e massa volúmica de 70 kg/m^3 , para todas as configurações, sendo que nas configurações em alvenaria de tijolo o isolante foi colocado junto ao pano exterior, enquanto nas restantes soluções foi colocado junto ao gesso cartonado (interior). Relativamente à caixa-de-ar, esta apresentava espessuras variáveis – 40 mm na parede com tijolo de 14 cm, 30 mm na parede com blocos de betão leve e 40 mm nas parede com tijolo de 11 cm, quando usada alvenaria em ambos os panos e 50 mm, 50 mm e 80 mm, respetivamente, quando usadas placas de gesso cartonado. Os paramentos interiores foram realizados em alvenaria de tijolo furado (furação horizontal) com 4 cm na primeira e segunda configurações e 7 cm na última configuração. As placas de gesso cartonado utilizadas, nos restantes sistemas, tinham 12,5 mm de espessura e massa de $8,8 \text{ kg/m}^2$.

Realizaram-se ensaios em câmaras acústicas. Os provetes foram produzidos numa moldura de 3 m x 3,8 m entre as duas câmaras acústicas. As medições foram efetuadas de acordo com a EN ISO 140-3:1995 [81].

De uma forma geral, dentro das configurações com dois panos de alvenaria, os resultados demonstram que a solução com um maior índice de redução sonora, na generalidade das frequências, é a solução com tijolo cerâmico de furação vertical. Existe um patamar entre as frequências de 500 e 800 Hz, provavelmente devido à frequência crítica do pano de alvenaria de 4 cm. A solução construtiva com tijolo perfurado apresenta, de uma forma geral, menor isolamento acústico, com uma quebra entre os 250 e os 630 Hz, devido às frequências críticas do tijolo perfurado e do tijolo de 7 cm. Em todas as soluções, os índices de isolamento sonoro para a gama completa de frequências está acima dos 37 dB, aproximadamente.

No que diz respeito às soluções com painéis de gesso cartonado, as que incorporam tijolos cerâmicos de 14 cm e blocos de betão leve de 15 cm apresentam um desempenho superior à solução com tijolos perfurados, não havendo diferenças significativas entre as duas primeiras. Para frequências abaixo dos 500 Hz é a solução com tijolos perfurados que apresenta um índice de isolamento sonoro mais baixo. As 3 configurações apresentam um patamar entre os 2500 e os 4000 Hz, devido à frequência crítica das placas de gesso.

Comparando o comportamento acústico das 2 tipologias, verifica-se que para frequências superiores a 400 Hz as tipologias com placas de gesso cartonado apresentam um desempenho

superior. Este facto, segundo os autores, pode ser explicado pelo desligamento das placas em gesso cartonado do suporte.

Quadro 2.10 – Índices de isolamento sonoro ponderado (R_w) [80]

	Tijolo 14 cm	B. betão 15 cm	Tijolo perfurado	Tijolo 14 cm + gesso cart.	B. betão 15 cm + gesso cart.	Tijolo perf.+ gesso cart.
R_w (dB)	55	54	49	61	61	58
C (dB)	-1	-1	0	-1	-1	-2
C_{tr} (dB)	-5	-3	-2	-6	-6	-9

Embora as soluções em estudo [80] não incluam a aplicação do isolamento pelo exterior, os resultados fornecem uma ordem de grandeza para o índice de isolamento sonoro expectável. Desta forma, será de antever um índice de isolamento sonoro ponderado superior a 50 dB para uma parede com ETICS.

No trabalho de Tadeu *et al.* [82] é efetuada a avaliação do comportamento acústico de paredes constituídas por múltiplas camadas quando sujeitas a cargas 3D e cargas 2.5D em movimento. O cálculo é feito no domínio da frequência para um sistema de parede constituído por múltiplas camadas sólidas e fluídas. A pressão é gerada por uma carga 3D sob a forma de integrais de Bessel seguida das transformações propostas por Sommerfeld. Os integrais são discretizados assumindo a existência de cargas virtuais igualmente espaçadas com direção perpendicular ao plano da parede. As expressões usadas permitem calcular o campo de pressões sem ter que discretizar a interface entre as diferentes camadas. Adicionalmente, a resposta no domínio do tempo é obtida através da aplicação de transformadas inversas de Fourier.

Além do cálculo analítico do comportamento acústico das paredes simples e duplas, foram também usadas aplicações numéricas para comparar as respostas geradas por cargas 3D e 2.5D em movimento.

Este modelo será usado adiante para determinar a influência do revestimento cerâmico numa parede em que é aplicado o sistema ETICS.

3 SIMULAÇÃO DO ATRASO TÉRMICO

Tendo por base o modelo de cálculo utilizado desenvolvido em [75], foi avaliado o comportamento térmico de 4 soluções padrão – 2 soluções com aplicação de revestimento cerâmico na face exposta e 2 soluções com o sistema ETICS tradicional. Como suporte, consideraram-se 2 tipos – betão e bloco térmico – por serem correntemente utilizados na construção em Portugal. Relativamente ao isolamento térmico, aqueles que são mais, frequentemente, usados em ETICS são o poliestireno expandido, o poliestireno extrudido, a lã de rocha (MW) e o aglomerado de cortiça expandida (ICB). O caso 1.1 considera uma parede em betão armado com colocação de revestimento cerâmico sobre isolamento térmico exterior, o caso 1.2 considera uma parede em blocos térmico com revestimento cerâmico sobre isolamento térmico exterior, o caso 2.1 considera uma parede em betão com o sistema ETICS e, finalmente, o caso 2.2 considera uma parede em blocos térmicos também apenas com ETICS – conforme a figura 3.1. Assim verificou-se a influência da variação da espessura e do tipo de isolante, da variação do suporte e da aplicação do revestimento cerâmico no atraso térmico.

No quadro seguinte são apresentadas as propriedades térmicas dos materiais – a condutibilidade térmica λ , o calor específico c e a massa volúmica ρ .

Quadro 3.1 – Propriedades térmicas dos materiais [75]

Material	λ (W/m.°C)	c (J/kg°C)	ρ (kg/m ³)
EPS	0,041	1430	14,3
XPS	0,035	1400	35
MW	0,04	837	70
ICB	0,038	1560	100
Betão	1,4	880	2300
Bloco térmico	0,33	1000	1200
Argamassa	0,72	780	1860
Ladrilho cerâmico	1,1	753	2000
Estuque	0,7	840	1200

Na sua maioria, as propriedades foram determinadas experimentalmente no âmbito do trabalho realizado por Simões, I. et al. [75], nomeadamente, as propriedades dos produtos de isolamento, do betão e da argamassa. As propriedades térmicas do ladrilho cerâmico foram obtidas de um estudo em termografia com infravermelhos [83], as do bloco térmico obtidas através de um fabricante [84] e as propriedades do estuque obtidas na NBR 15220 [73].

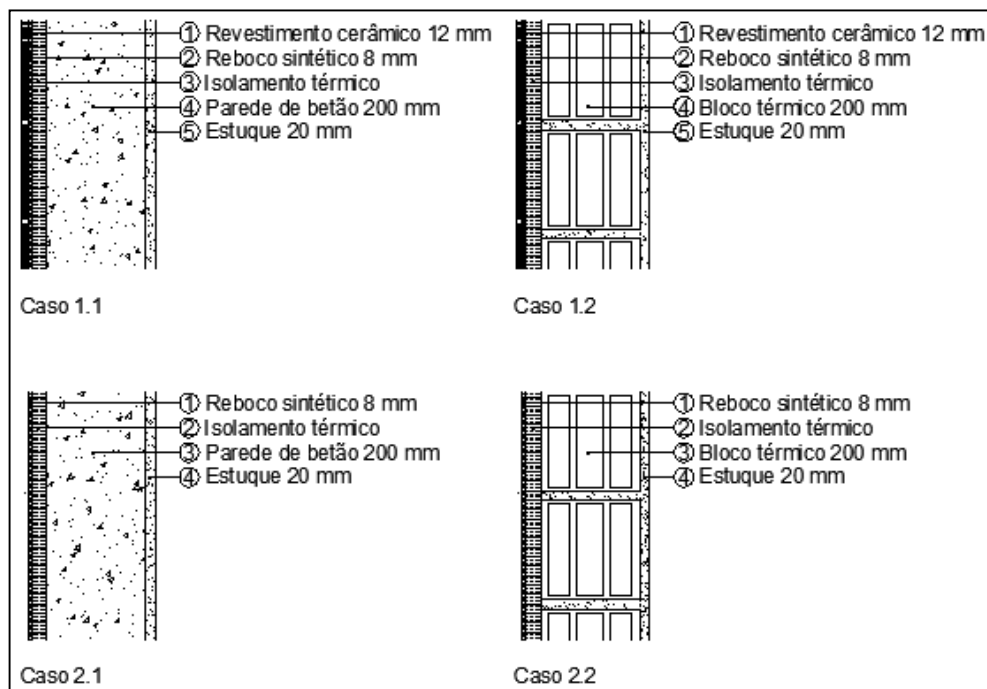


Figura 3.1 – Soluções construtivas usadas na simulação.

Após a simulação, baseada nas propriedades térmicas exibidas no quadro 3.1, obteve-se a variação do atraso térmico e do coeficiente de transmissão térmicas em função da espessura do isolamento térmico, tal como é apresentado nas figuras seguintes.

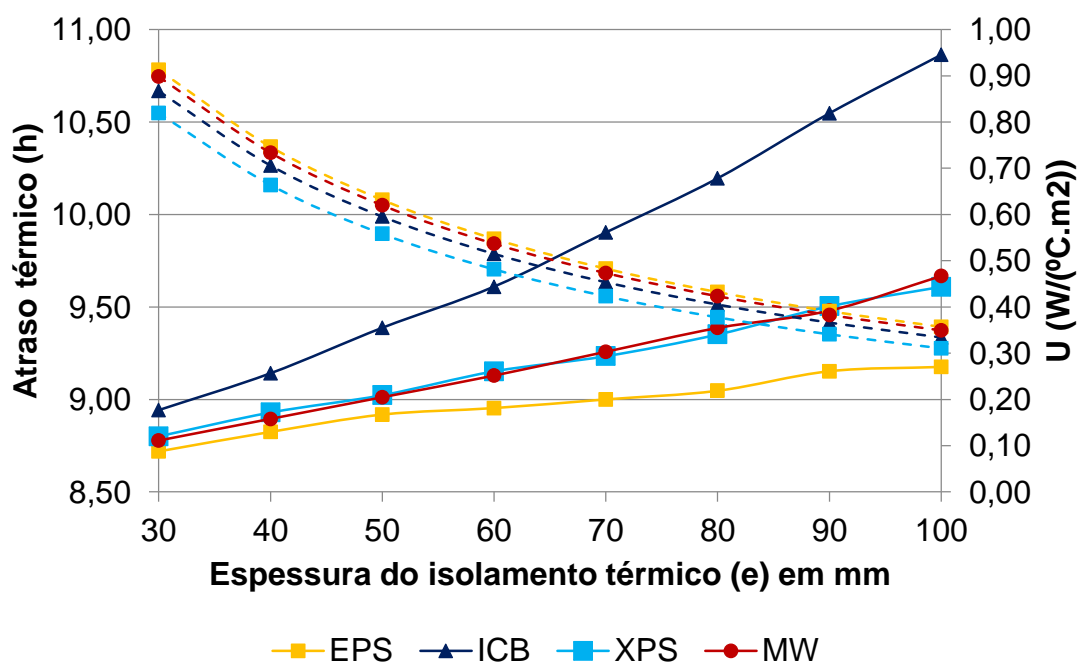


Figura 3.2 – Caso 1.1: atraso térmico e U .

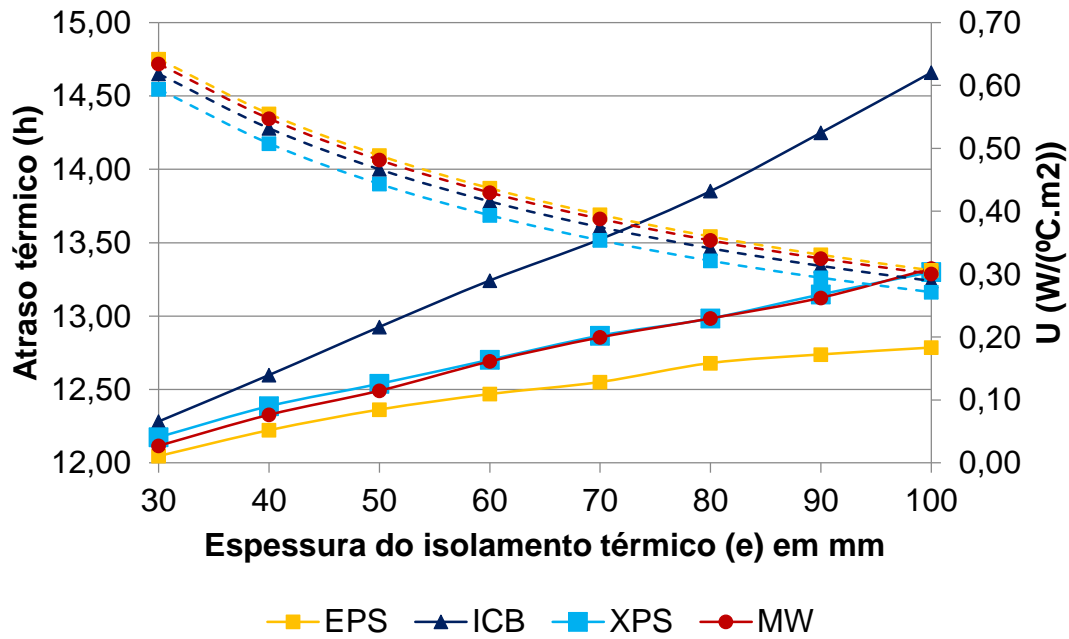


Figura 3.3 – Caso 1.2: atraso térmico e U

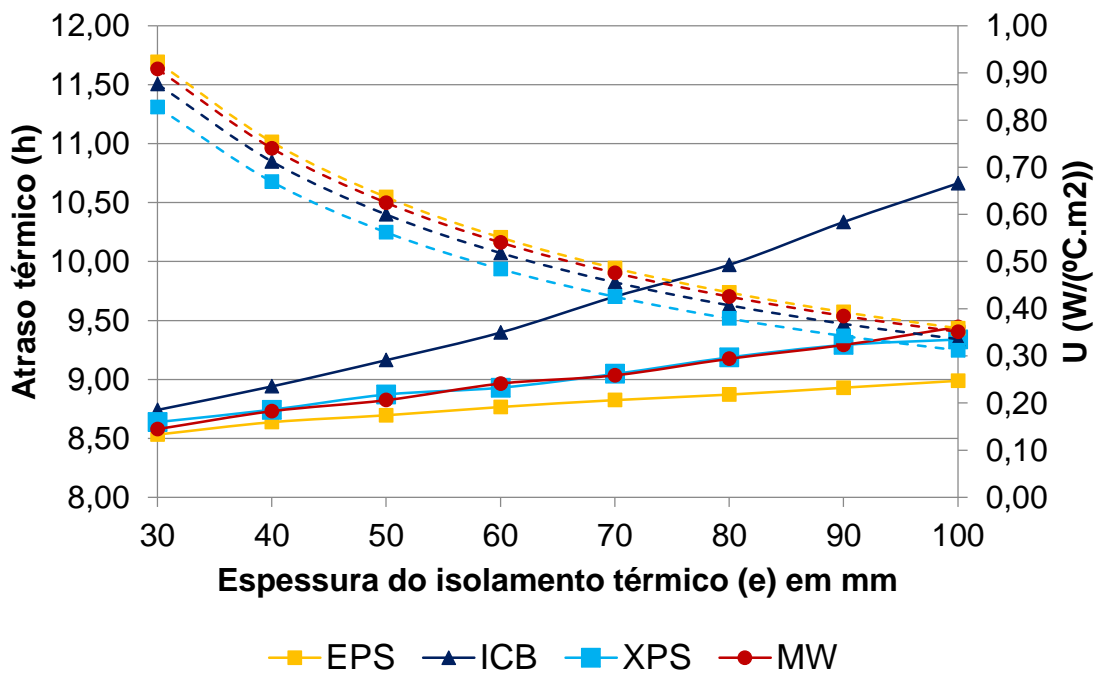


Figura 3.4 – Caso 2.1 - atraso térmico e U

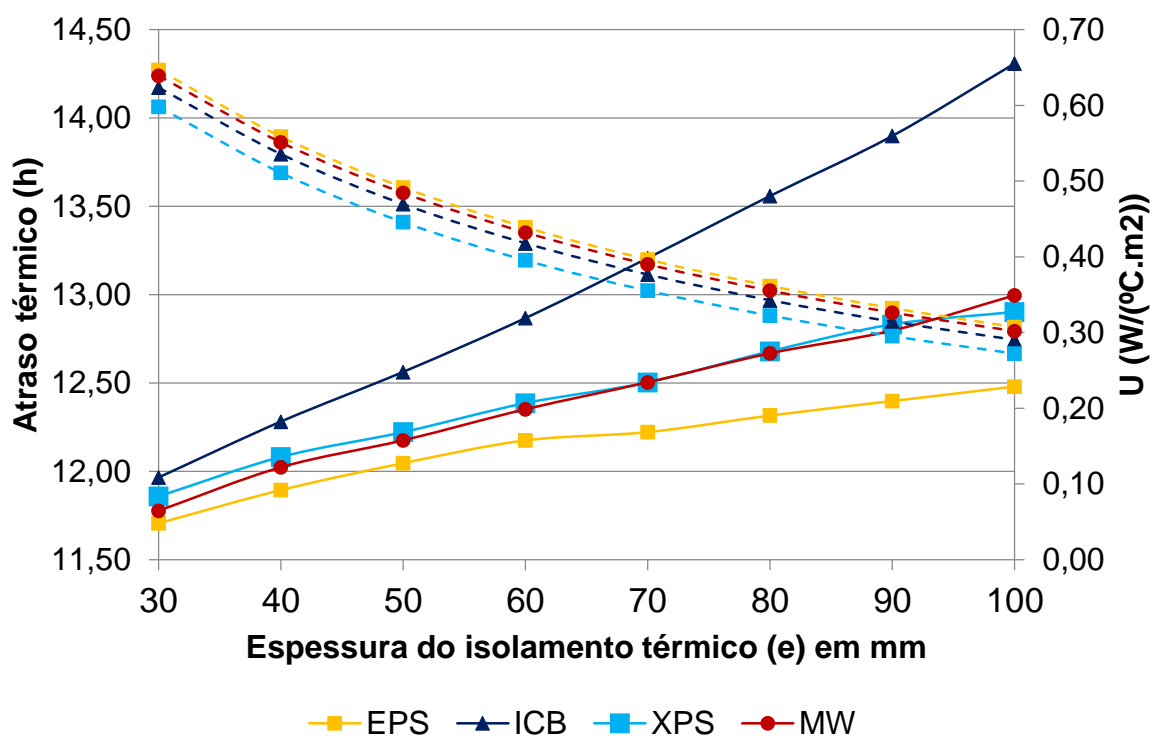


Figura 3.5 – Caso 2.1: atraso térmico e U

A análise dos resultados permite verificar que o atraso térmico em todas as soluções construtivas é superior a 8,5 h. Relativamente ao material de isolamento, o aglomerado de cortiça expandida é o que apresenta melhores resultados em todas as configurações, seguido do poliestireno extrudido e da lã mineral. O poliestireno expandido é aquele que exibe menores valores de atraso térmico para as todas as espessuras e para todas as configurações. O aumento do atraso térmico com o aumento da espessura do material isolante é mais acentuado no aglomerado de cortiça expandida. Seguidamente tem-se a lã mineral e o poliestireno extrudido, com evoluções semelhantes, e finalmente, o poliestireno expandido.

Relativamente ao coeficiente de transmissão térmica, o produto de isolamento com valores superiores é o EPS, seguido da lã mineral, do aglomerado de cortiça e do XPS, no sentido decrescente de condutibilidade térmica.

Comparando os valores do coeficiente de transmissão térmica com o atraso térmico, verifica-se que um coeficiente de transmissão térmica baixo não implica um maior atraso térmico. Apesar do XPS possuir o menor valor de condutibilidade térmica e, conseqüentemente, menor coeficiente U , este não apresenta os maiores valores de atraso térmico, nas diversas espessuras simuladas.

Em configurações com ladrilhos cerâmicos o atraso térmico é superior às configurações sem ladrilhos cerâmicos. Verifica-se um aumento, em média, de 0,20 h no atraso térmico do caso 1.1, relativamente ao caso 2.1, e um aumento, em média, de 0,33 h no atraso térmico do caso 1.2, relativamente ao caso 2.2. Contudo, estas diferenças são reduzidas.

Outro aspeto importante é o aumento significativo do atraso térmico através da utilização de blocos térmicos na parede de suporte. Pode verificar-se um aumento do atraso térmico de cerca de 3 h, relativamente às configurações com suporte em betão com a mesma espessura.

No artigo de Simões *et al.* [75] são consideradas duas configurações com isolamento térmico pelo exterior, à semelhança do que foi efetuado neste trabalho. A primeira configuração consiste numa parede de betão com 15 cm de espessura em que é aplicado isolamento térmico pelo exterior (cortiça natural (NC), ICB, XPS e MW), com espessura entre 60 e 200 mm, e rebocadas ambas as faces com uma argamassa tradicional com 2 cm de espessura. A segunda configuração é análoga à anterior, no entanto, o suporte de betão é substituído por uma parede de granito.

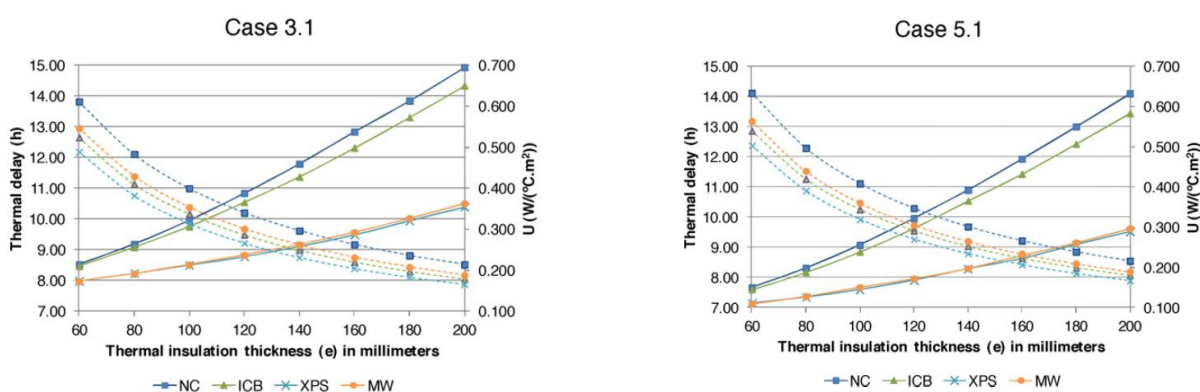


Figura 3.6 – Resultados da parede de betão (à esquerda) e da parede de granito (à direita) [75]

Tal como neste trabalho, as soluções com cortiça são as que apresentam um atraso térmico superior, seguidas das soluções com XPS e MW. Embora as espessuras de isolamento sejam, na sua maioria, superiores, o atraso térmico não é mais elevado.

Comparando nos dois trabalhos as duas soluções com suporte em betão, 60 mm de isolamento térmico e reboco, verifica-se que em [75] o atraso térmico mínimo é de cerca de 8 h enquanto que neste trabalho o atraso térmico mínimo ronda as 8,8 h, ou seja, uma diferença próxima de 0,8 h.

4 SIMULAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO

O modelo apresentado por Tadeu *et al.* [82] poderá fornecer informações fundamentais para avaliar o comportamento acústico dos elementos em estudo.

Por forma a verificar-se a influência da introdução de um revestimento cerâmico no sistema de isolamento térmico exterior no isolamento a sons de condução área, foram considerados, à semelhança do que foi feito no atraso térmico, 4 casos. Os casos 1.1 e 1.2 que incorporam a solução de revestimento cerâmico sobre ETICS e os casos 2.1 e 2.2 constituídos pela solução de ETICS convencional. Considerou-se a menor espessura de isolamento térmico, 30 mm, em poliestireno expandido, aglomerado de cortiça expandida, lã de rocha e poliestireno extrudido. O efeito da introdução de um material absorvente, como é o caso da lã de rocha, é tido em conta atribuindo uma massa volúmica complexa, a qual depende da resistividade do fluxo, da porosidade e de um fator dependente do material, seguindo a abordagem proposta por Fahy [85]. Apresentam-se seguidamente as propriedades dos materiais utilizados:

Quadro 4.1 – Propriedades dos materiais. (*a resistividade do fluxo é $2000 \text{ kgm}^{-3}\text{s}^{-1}$)

Material	Velocidade ondas P α (m/s)	Velocidade ondas S β (m/s)	Massa volúmica ρ (kg/m ³)
Ar	340,0	-	1,22
EPS	569,1	374,0	14,3
XPS	717,1	478,1	35,0
MW	340,0*	-	70,0
ICB	387,3	223,6	100,0
Betão	3498,6	2245,0	2500
Bloco térmico	3533,3	1888,6	1870
Argamassa	3716,1	1688,0	1860
Ladrilho cerâmico	4911,2	3251,1	2318
Estuque	2483,2	1619,4	625

O modelo de simulação acústica [82] calcula os índices de isolamento sonoros em bandas de frequência de 1/3 de oitavo, entre os 50 e os 5000 Hz. A fonte sonora é colocada a uma determinada distância da parede, colocada no plano horizontal, que neste trabalho foi considerada igual a 2 m. A simulação faz a medição da diferença do nível de pressão sonora registada em recetores colocados em ambos os lados da solução construtiva em estudo, obtendo-se assim o índice de redução sonora. Para tal, foi definida 1 malha de recetores que considera afastamentos de 0,5 m, 1,5 m e 2,5 m, em relação à parede. No plano horizontal são considerados um conjunto de recetores espaçados de 1 m, definindo uma malha quadrada com 15 m de lado.

As Figuras 4.2 e 4.3 ilustram as diferenças entre os índices de redução sonora, em função da frequência, para as soluções construtivas com e sem revestimento cerâmico, quando se utiliza EPS.

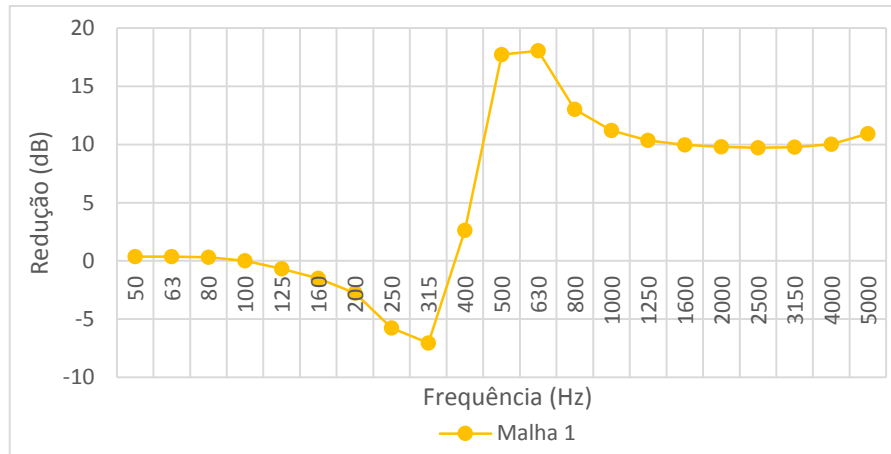


Figura 4.1 – Diferença entre os índices de redução sonora entre os casos 1.1 e 2.1, na presença de EPS

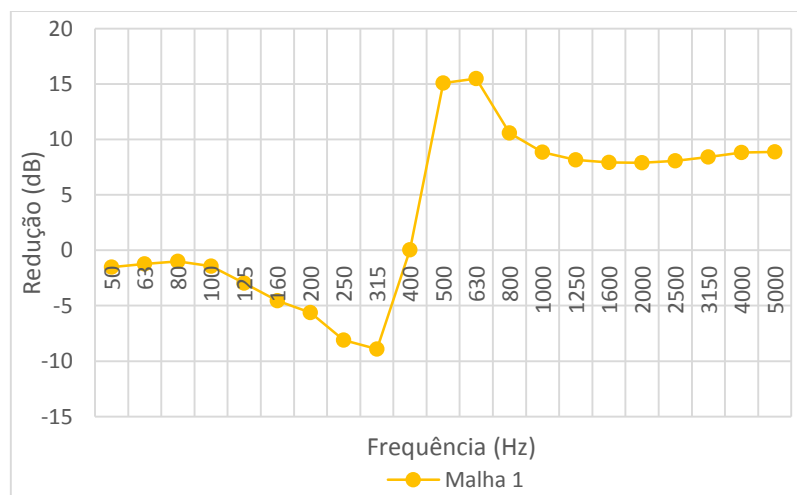


Figura 4.2 – Diferença entre os índices de redução sonora entre os casos 1.2 e 2.2, na presença de EPS

Analisando as figuras anteriores, verifica-se que a diferenças de isolamento a sons aéreos é mais significativa para frequências mais elevadas, a partir dos 630 Hz em ambas as situações. Em geral, a partir dos 800 Hz, a solução construtiva que inclui material cerâmico apresenta um desempenho acústico superior entre 8 e 10 dB, aproximadamente.

As Figuras 4.4 e 4.5 referem-se as diferenças entre os índices de redução sonora quando se utiliza ICB.

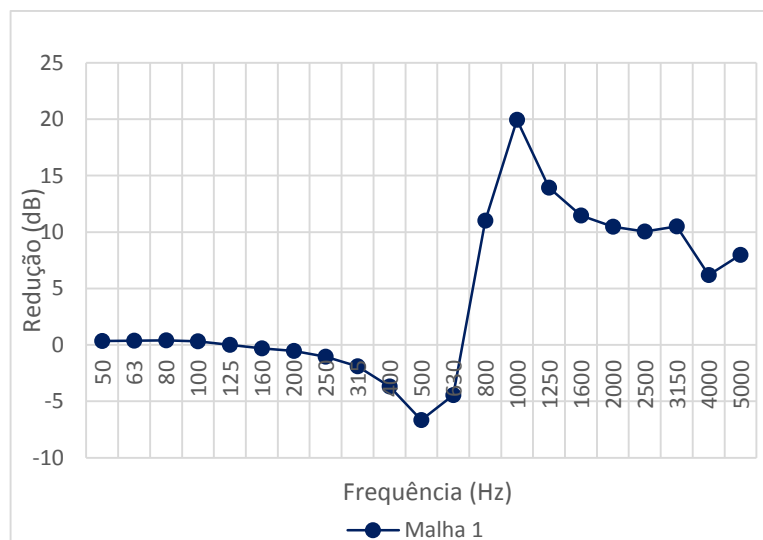


Figura 4.3 – Diferença entre os índices de redução sonora entre os casos 1.1 e 2.1, na presença de ICB

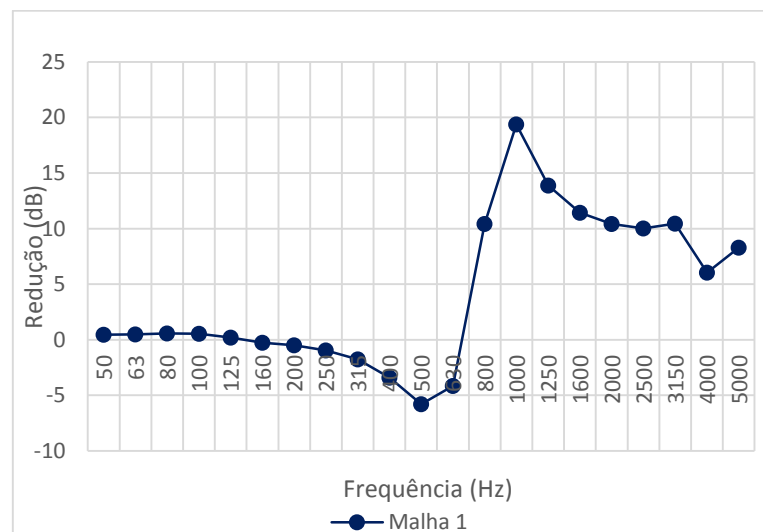


Figura 4.4 – Diferença entre os índices de redução sonora entre os casos 1.2 e 2.2, na presença de ICB

De forma semelhante, as soluções construtivas que contemplam a aplicação de revestimento cerâmico apresentam um melhor desempenho acústico nas frequências mais elevadas, apesar da quebra de isolamento nos 4000 Hz.

As Figuras 4.6 e 4.7 ilustram as diferenças entre os índices de redução sonora para as soluções com e sem revestimento cerâmico, quando se utiliza lã mineral.

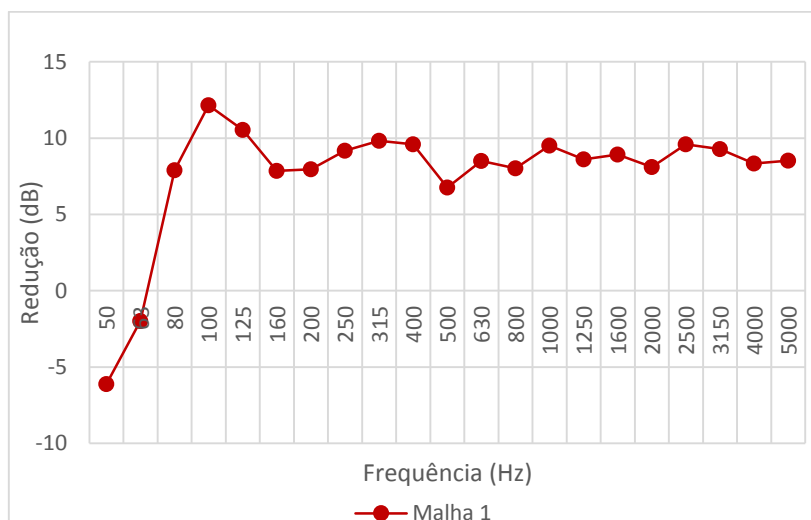


Figura 4.5 - Diferença entre os índices de redução sonora entre os casos 1.1 e 2.1, na presença de MW

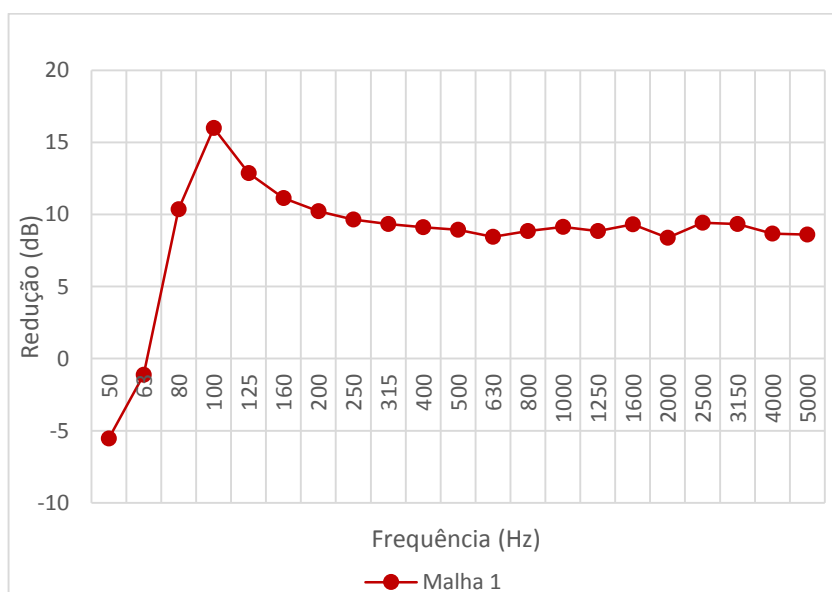


Figura 4.6 - Diferença entre os índices de redução sonora entre os casos 1.2 e 2.2, na presença de MW

Relativamente às configurações com lã mineral, a diferença dos índices de redução sonora é idêntico nas duas configurações. Comparando com outros materiais de isolamento verifica-se que o comportamento é melhor para frequências mais baixas, a partir dos 80 Hz.

Por último, apresentam-se a diferença dos índices de redução sonora para a solução com XPS.

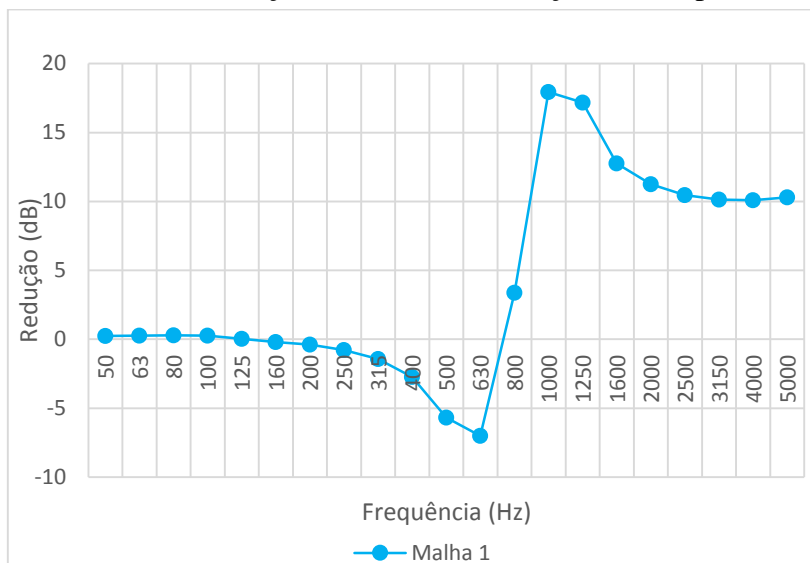


Figura 4.7- Diferença entre os índices de redução sonora entre os casos 1.1 e 2.1, na presença de XPS

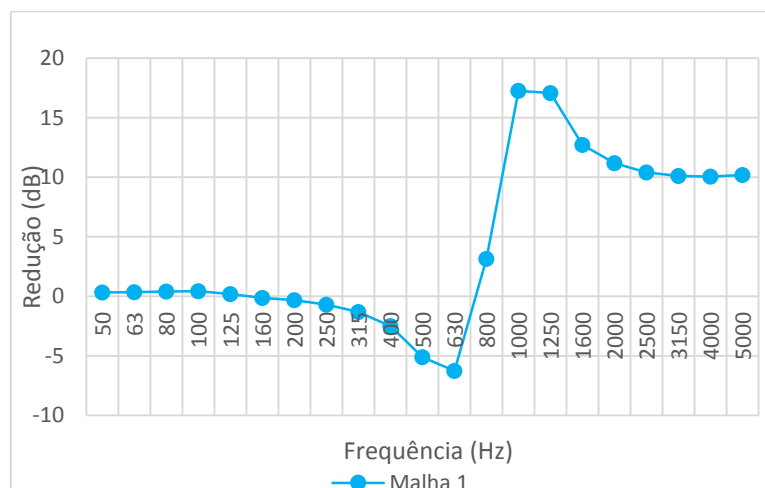


Figura 4.8 - Diferença entre os índices de redução sonora entre os casos 1.2 e 2.2, na presença de XPS

As configurações com aplicação de poliestireno expandido exibem um desempenho acústico semelhante ao do aglomerado de cortiça expandida, com diferenças de índices de redução sonora próximos de 10 dB, a partir dos 1000 Hz.

O quadro 4.1 lista a diferença entre R_w das soluções construtivas com e sem revestimento cerâmico

Quadro 4.2 – Diferença entre R_w de soluções construtivas com e sem revestimento cerâmico.

R_w (dB)		Malha 1
C1.1 - C2.1	EPS	11
	ICB	9
	MW	9
	XPS	10
C1.2 - C2.2	EPS	9
	ICB	9
	MW	9
	XPS	10

A análise do quadro anterior permite verificar que os índices de redução sonora ponderados exibidos pelas soluções com inclusão de material cerâmico são sempre superiores aos índices de redução sonora ponderados proporcionados pelas soluções sem material cerâmico. A diferença de valores, na maioria das situações, é de cerca de 9 – 10 dB. Deste modo, podemos concluir que a colocação de revestimento cerâmico sobre ETICS apresenta também vantagens em termos de isolamento a sons aéreos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu concluir que o revestimento cerâmico do sistema ETICS pode apresentar vantagens em relação ao sistema convencional sem revestimento cerâmico. As vantagens mais evidentes são as que dizem respeito ao comportamento mecânico do ETICS, cuja resistência ao impacto e à perfuração é melhorada. Apesar disso, esta consideração não é livre de limitações. Colocar um material pouco permeável ao vapor de água sobre ETICS pode significar um aumento da ocorrência de eflorescências, que pode ser atenuado se o ladrilho cerâmico for poroso, permitindo uma maior absorção de água.

O ETAG 004 [9], como guia de requisitos e métodos de avaliação de desempenho, ao considerar o acabamento de ETICS com uma pintura, exclui à partida o revestimento cerâmico que carece de métodos de ensaio adaptados, por forma a tornar o sistema fiável. Há que ter em mente que os materiais cerâmicos e o sistema de isolamento térmico exterior apresentam comportamentos diferentes. Desta forma, seria importante o desenvolvimento de um novo documento guia de aprovação técnica. Neste caso, além dos ensaios terem que ser adaptados, a avaliação da adequação ao uso teria que ser revista.

No que diz respeito ao comportamento térmico da solução de revestimento cerâmico sobre ETICS, o cálculo do atraso térmico levou à obtenção de resultado ligeiramente superiores aos da solução de ETICS convencional.

Relativamente ao comportamento acústico da solução, verifica-se uma melhoria do índice de redução sonora ponderado, o que significa que esta solução é adequada ao cumprimento das exigências regulamentares em termos de isolamento a sons aéreos e apresenta vantagens relativamente ao sistema ETICS tradicional.

Todos os materiais de isolamento térmico conseguem assegurar um bom compromisso entre o comportamento térmico e o comportamento acústico, dependendo, obviamente, do peso que cada uma destas componentes adquire no desempenho global da parede. As soluções com lâmina mineral são, provavelmente, as que apresentam maiores vantagens neste domínio por apresentarem um atraso térmico intermédio e índices de redução sonora ponderados dos mais elevados.

Em próximos trabalhos poderia ser realizada uma campanha de ensaios laboratoriais que permitisse comparar o atraso térmico e índices de redução sonora com os valores calculados a partir de simulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Guia da eficiência energética*, Lisboa: ADENE - Agência para a energia, 2012.
- [2] *Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao des.*
- [3] *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) - Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de abril*, Lisboa, 2006.
- [4] *Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de abril - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)*, Lisboa: Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 2006.
- [5] *Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 de abril*, Lisboa: Ministério da Economia e da Inovação, 2006.
- [6] *Decreto-Lei nº40/90 de 6 de Fevereiro*, Lisboa, 1990.
- [7] *Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de maio de 2010*, Bruxelas: Comissão Europeia, 2010.
- [8] *Decreto-Lei nº4/2007 de 8 de janeiro*, Lisboa: Ministério da Economia e Inovação, 2007.
- [9] *ETAG 004 - Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering*, Bruxelas: EOTA, 2011.
- [10] A. V. Serra e Sousa, V. P. d. Freitas e J. A. R. Mendes da Silva, *Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos*, Coimbra: APICER - Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica, 2003.
- [11] A. Tadeu, D. Mateus, J. António, L. Godinho e P. A. Mendes, *Acústica Aplicada*, Coimbra: Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, 2010.
- [12] *Decreto-Lei nº 96/2009 de 9 de junho*, Lisboa: Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2009.
- [13] *Decreto-Lei nº 129/2002 de 11 de maio*, Lisboa: Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2002.
- [14] *Decreto-Lei nº 9/2007, de 17 de janeiro*, Lisboa: Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2007.
- [15] *Regras para a Concessão de uma Aprovação Técnica Europeia (ETA) ou de um Documento de Homologação (DH) a Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS)*, Lisboa: LNEC, 2010.
- [16] J. M. d. Silva, “Isolamento Térmico Exterior de Fachadas (sistema ETICS),” em *Cadernos de Apoio ao Ensino da Tecnologia da Construção e da Reabilitação de*

- Anomalias Não-Estruturais*, Coimbra, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2009.
- [17] C. Duarte, “Fachadas energeticamente eficientes: ETICS, argamassas térmicas e janelas. O que se deve exigir?,” em *Seminário fachadas energeticamente eficientes: ETICS, argamassas térmicas e janelas*, Lisboa, 2011.
- [18] J. M. Silva, M. I. Torres e M. J. Carvalhal , “Envelhecimento natural e patologia de revestimentos delgados armados sobre isolamento térmico, em paredes de fachada,” em *2º Simpósio Internacional sobre Patologia, Durabilidade e Reabilitação de Edifícios*, LNEC, Lisboa, 2003.
- [19] J. M. d. Silva, “Apresentação Geral do Isolamento Térmico de Fachadas pelo Exterior - Breve abordagem do sistema ETICS,” em *Cadernos de Apoio ao Ensino da Tecnologia da Construção e da Reabilitação de Anomalias Não Estruturais em Edifícios - Isolamento Térmico Exterior de Fachadas (sistema ETICS)*, Coimbra, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2009, pp. 10-18.
- [20] F. Jorne, “Análise do comportamento higrotérmico da solução ETICS na óptica da identificação e reparação de anomalias,” em *4º Congresso Português de Argamassas e ETICS*, Coimbra, 2012.
- [21] B. P. Jelle, “Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions - Properties, requirements and possibilities,” *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 2549 - 2563, 2011.
- [22] J. Fricke, U. Heinemann e H. Ebert, “Vacuum insulation panels - From research to market,” *Vacuum - Surface engineering, surface instrumentation & vacuum technology* , vol. 82, pp. 680 - 690, 2008.
- [23] M. Alam, H. Singh e M. Limbachiya , “Vacuum Insulation Panels (VIPs) for building construction industry - A review of the contemporary developments and future directions,” *Applied Energy*, vol. 88, pp. 3592 - 3602, 2011.
- [24] R. Baetens, B. P. Jelle, J. V. Thue , J. Tenpierik, S. Grynning, S. Uvslokk e A. Gustavsen, “Vacuum insulations panels for building applications: A review and beyond,” *Energy and Buildings*, vol. 42, pp. 147 - 172, 2010.
- [25] M. Ozel, “Thermal performance and optimum insulation thickness of building walls with different structure materials,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 31, pp. 3854 - 3863, 2011.
- [26] M. Ozel, “The influence of exterior surface solar absorptivity on thermal characteristics and optimum insulation thickness,” *Renewable Energy*, vol. 39, pp. 347 - 355, 2012.
- [27] T. Mahlia, B. Taufiq, Ismail e H. Masjuki, “Correlation between thermal conductivity and the thickness of selected insulation materials for building wall,” *Energy and Buildings*, vol. 39, pp. 182 - 187, 2007.

- [28] C. A. Pina dos Santos e L. Matias, *Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios - Versão atualizada 2006. ITE50*, Lisboa: LNEC, 2006.
- [29] E. Barreira e V. P. d. Freitas, “Experimental study of the hygrothermal behaviour of External Thermal Insulation Composite System (ETICS),” *Building and Environment*, vol. 63, pp. 31-39, 2013.
- [30] J. Mendes da Silva e J. Falorca, “A model plan for buildings maintenance with application in the performance analysis of a composite facade cover,” *Construction and Building Materials*, vol. 23, pp. 3248 - 3257, 2009.
- [31] V. Pereira, P. Sequeira, N. Vieira e L. Silva, “Fixação de elementos cerâmicos no sistema ETICS. Pormenores que fazem a diferença,” em *4º Congresso Português de Argamassas e ETICS*, Coimbra, 2012.
- [32] V. Pereira, L. Silva, P. Sequeira e A. Sousa, “Avaliação da compatibilidade de fixação de elementos cerâmicos com o sistema ETICS,” em *3º Congresso de Portugêses de Argamassas de Construção*, Lisboa, 2010.
- [33] R. Norvaišienė, G. Gričiūtė, Bliūdžius e J. Ramanauskas, “The changes of moisture absorption properties during service life of external thermal insulation composite system,” *Materials Science (Medžiagotyra)*, vol. 19, 2013.
- [34] *Diretiva 89/106/CEE do Conselho de 21 de Dezembro de 1988 relativa à aproximação das disposições legislativas e administrativas dos Estados-membros no que respeita aos produtos da construção*, Bruxelas, 1988.
- [35] *Decreto-Lei nº 113/93 de 10 de abril*, Lisboa: Ministério da Indústria e Energia, 1993.
- [36] *Decreto-Lei nº 4/2007*, Lisboa: IPQ, 2007.
- [37] *EN 13501-1:2007 - Fire classification of construction products and building elements. Part 1: Classification using data from reaction to fire tests.*, Bruxelas: CEN, 2007.
- [38] *ISO 7892:1988 - Vertical building elements. Impact resistance tests. Impact bodies and general test procedures*, ISO, 1988.
- [39] *EN ISO 7783-2:2011 - Paints and varnishes. Determination of water-vapour transmission properties. Cup method (ISO 7783:2011).*, Bruxelas: CEN, 2011.
- [40] *EN 1607:1998 - Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios. Determinação da resistência à tracção perpendicular às faces.*, Bruxelas: CEN, 1998.
- [41] *EN ISO 12667:2011 - Chemical analysis of refractory products by X-ray fluorescence (XRF). Fused cast-bead method (ISO 12677:2011)*, Bruxelas: CEN, 2011.
- [42] *EN 12664:2011 - Thermal performance of building materials and products. Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Dry and moist products of medium and low thermal resistance*, Bruxelas: CEN, 2001.

- [43] *EN ISO 6946:2007 - Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation method (ISO 6946:2007)*, Bruxela: CEN, 2007.
- [44] *EN ISO 10456:2007 - Materiais e produtos de construção. Propriedades higro-térmicas. Valores de projecto tabelados e procedimentos para a determinação de valores declarados e valores de projecto térmico (ISO/DIS 10456:2005).*, Bruxelas: CEN, 2007.
- [45] *NP EN 1934:2000 - Comportamento térmico de edifícios. Determinação da resistência térmica através do método da câmara quente com fluxímetro. Alvenarias.*, Lisboa: IPQ, 2000.
- [46] *EN ISO 10211:2007 – Thermal bridges in building construction, Heat flows and surface temperatures – Detailed calculations.*, Bruxelas: CEN, 2007.
- [47] *EN 13499:2003 - Thermal insulation products for buildings - External thermal insulation composite systems (ETICS) based on expanded polystyrene - Specification*, Bruxelas: CEN, 2003.
- [48] *EN 13500:2003 - Thermal insulation products for buildings - External thermal insulation composite systems (ETICS) base on mineral wool - Specification*, Bruxelas: CEN, 2003.
- [49] *EN 1062-3:2008 – Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete. Part 3: Determination of liquid water permeability.*, Bruxelas: CEN, 2008.
- [50] *EN 13497:2002 - Thermal insulation products for building applications. Determination of the resistance to impact to external thermal insulation composite systems (ETICS)*, Bruxelas: CEN, 2002.
- [51] *EN 13498:2002 - Thermal insulation products for building applications. Determination of the resistance to penetration of external thermal insulation composite systems (ETICS).*, Bruxelas: CEN, 2002.
- [52] *EN 13494:2002 - Thermal insulation products for building applications. Determination at the tensile bond strength of the adhesive and of the base coat to the thermal insulation material.*, Bruxelas: CEN, 2002.
- [53] *EN 13495:2002 - Thermal insulation products for building applications. Determination of the pull-off resistance of external thermal insulation composite systems (ETICS) (foam block test).*, Bruxelas: CEN, 2002.
- [54] *EN 13163:2012 - Thermal insulation products for buildings. Factory made expanded polystyrene (EPS) products. Specification.*, Bruxelas: CEN, 2012.
- [55] *EN 13162:2012 - Thermal insulation products for buildings. Factory made mineral wool (MW) products. Specification.*, Bruxeals: CEN, 2012.
- [56] *EN 1062-11:2006 - Tintas e vernizes. Produtos de pintura e esquemas de pintura a aplicar em alvenaria e betão no exterior. Parte 11: Métodos de condicionamento antes de ensaio.*, Bruxelas: CEN, 2006.

- [57] X. Yin, H. Li e H. Bo, “Study on bond strenght of external thermal insulation system with perfusion polyurethane foam,” em *International Conference on Management and Service Science (MASS)*, Wuhan, 2010.
- [58] I. Flores-Colen, J. d. Brito e V. P. Feitas, “Stains in facades rendering - Diagnosis and maintenance techiques classification,” *Construction and building materials*, vol. 22, pp. 211 - 221, 2008.
- [59] P. Gaspar e J. d. Brito, “Mapping defect sensivity in external mortar renders,” *Construction and building materials*, vol. 19, pp. 571 - 578, 2005.
- [60] J. A. Carvalho Lucas, *Azulejos ou ladrilhos cerâmicos - Descrição geral, exigências normativas, classificação funcional*, Lisboa: LNEC, 2003.
- [61] *NP EN 14411 - Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Definições, classificação, características e marcação*, Lisboa: IPQ, 2008.
- [62] J. A. Carvalho Lucas e M. M. Mendes Abreu, *Revestimentos cerâmicos colados: Descolamento - ITPRC 4*, Lisboa: LNEC, 2005.
- [63] “Cinca - Mosaico porcelânico,” [Online]. Available: <http://www.cinca.pt/index.php?id=337&c=337&p=54&tbl=registos>. [Acedido em 10 Julho 2013].
- [64] *EN ISO 10545-4:2012 - Ceramic tiles - Part 4: Determination of modulus of rupture and breaking strength (ISO 10545-4:2004)*, Bruxelas: CEN, 2012.
- [65] *EN ISO 10545-3:1997 - Ceramic tiles - Part 3: Determination of water absorption, apparent porosity, apparent relative density and bulk density (ISO 10545-3:1995, including Technical Corrigendum 1:1997)*, Bruxelas: CEN, 1997.
- [66] *EN ISO 10545-8:1996 - Ceramic tiles - Part 8: Determination of linear thermal expansion (ISO 10545-8:1994)*, Bruxelas: CEN, 1996.
- [67] *EN ISO 10545-10:1997 - Ceramic tiles - Part 10: Determination of moisture expansion (ISO 10545-10:1995)*, Bruxelas: CEN, 1997.
- [68] *EN ISO 10545-12:1997 - Ceramic tiles - Part 12: Determination of frost resistance (ISO 10545-12:1995, including Technical Corrigendum 1:1997)*, Bruxelas: CEN, 1997.
- [69] *EN ISO 10545-5:1997 - Ceramic tiles - Part 5: Determination of impact resistance by measurement of coefficient of restitution (ISO 10545-5:1996, including Technical Corrigendum 1:1997)*, Bruxelas: CEN, 1997.
- [70] S. Malanho, M. d. R. Veiga e A. L. Velosa, “Adaptação do ensaio de aderência para análise de ETICS com acabamento cerâmico,” em *4º Congresso Português de Argamassas e ETICS*, Coimbra, 2012.
- [71] J. A. Carvalho Lucas, *Anomalias em revestimentos cerâmicos colados - ITMC 28*, Lisboa: LNEC, 2001.

- [72] K. A. Antonopoulos e E. P. Koronaki, “Effect of indoor on the time constant and thermal delay of buildings,” *International Journal of Energy Research*, vol. 24, pp. 391 - 402, 2000.
- [73] *NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações*, Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [74] *NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações*, Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [75] I. Simões, N. Simões e A. Tadeu, “Thermal delay simulation in multilayer systems using analytical solutions,” *Energy and Buildings*, 2012.
- [76] *EN ISO 10140-2:2010 - Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 2: Measurement of airborne sound insulation (ISO 10140-2:2010)*, Bruxelas: CEN, 2010.
- [77] *EN ISO 10140-4:2010 - Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 4: Measurement procedures and requirements (ISO 10140-4:2010)*, Bruxelas: CEN, 2010.
- [78] D. Mateus, *Acústica de edifícios e controlo de ruído - Curso de Formação Ordem dos Engenheiros Técnicos, Secção Regional Sul*, Lisboa: Ordem dos Engenheiros Técnicos - Secção Regional Sul, 2008.
- [79] G. T. L. Almeida, *Análise de soluções construtivas para verificação de requisitos térmicos e acústicos em edifícios de habitação*, Lisboa: Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2009.
- [80] I. Guillen , A. Uris, H. Estelles , J. Llinares e A. Llopis, “On the sound insulation of masonry walls façades,” *Building and Environment*, vol. 43, pp. 523 - 529, 2008.
- [81] *EN ISO 140-3: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and building elements. Part 3: Laboratory measuments of airborne sound insulation of building elements*, Bruxelas: CEN, 1995.
- [82] A. Tadeu, J. António e L. Godinho, “Analytical evaluation of the acoustic behavior of multilayer walls when subjected to three-dimensional and moving 2.5-dimensional loads,” *Journal of Vibration and Acoustics Journal*, 2013.
- [83] E. Barreira e V. P. d. Freitas, “Evaluation of building materials using infrared thermography,” *Construction and building materials*, vol. 21, pp. 218 - 224, 2007.
- [84] “Bloco térmico LECA,” [Online]. Available: <http://www.lecabloco.com/>. [Acedido em 13 Junho 2013].
- [85] F. Fahy, *Foundations of engineering acoustics*, Academic Press, 2001.
- [86] *EN ISO 10211:2007 - Thermal bridges in building construction. Heat flows and surface temperatures. Detailed calculations (ISO 10211:2007)*, Bruxelas: CEN, 2007.

- [87] *EN 1609:1998 – Determination of short term water absorption by partial immersion.*, Bruxelas: CEN, 1998.
- [88] *EN 1609:1998 – Determination of short term water absorption by partial immersion.*, Bruxelas: CEN, 1998.
- [89] *EN 12086:1997 – Determination of water vapour transmission propertires.*, Bruxelas: CEN, 1997.
- [90] *ETAG 014 – Plastic anchors for fixing of external termal insulation composite systems with rendering*, Bruxelas: EOTA, 2011.
- [91] *EOTA TR 025 – Determination of point termal transmittance of plastic anchors for the Anchorage of external termal insulation composite system (ETICS).*, Bruxelas: EOTA.
- [92] *EN ISO 1460:1997 – Hot dip galvanized coatings on ferrous materials. Gavimetric determination of mass per unit of area*, Bruxelas: CEN, 1997.
- [93] *EN ISO 1461:2009 - Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles. Specifications and test methods*, Bruxelas: CEN, 2009.
- [94] *EN ISO 10244-2:2011 – Steel wire and wire products. Non-ferrous metallic coatings on steel wire – Part 2: Zinc or zinc alloy coatings.*, Bruxelas: CEN, 2011.