

ESTUDO DA DURABILIDADE DE MATERIAIS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Sistema ETICS

ANDRÉ DUARTE DE OLIVEIRA PRIMO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Orientador: Professor Doutor Vítor Carlos Trindade Abrantes Almeida

JULHO DE 2008

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus pais

Conhecimento é Poder

Francis Bacon

AGRADECIMENTOS

Ao finalizar este trabalho quero agradecer a todos aqueles que nos últimos tempos contribuíram para a sua realização.

Desejo expressar a minha gratidão ao Prof. Vítor Abrantes, pela orientação por ele recebida e pela pertinência dos seus comentários, assim como à Eng.^a Ana Vaz Sá pelo seu constante incentivo.

Gostaria também de agradecer à Prof.^a Helena Corvacho por todo o apoio, material bibliográfico e disponibilidade concebida.

RESUMO

Este trabalho visa estudar a durabilidade do sistema de isolamento térmico pelo exterior do tipo ETICS.

Actualmente, as preocupações com a sustentabilidade dos edifícios e dos sistemas construtivos é crescente devido à escassez de recursos naturais. Uma forma de assegurar a sustentabilidade dos edifícios e dos sistemas construtivos é garantir uma maior durabilidade dos seus sistemas e componentes.

O sistema ETICS é conhecido pelas suas potencialidades do ponto de vista térmico. No entanto, apresenta algumas patologias que influenciam negativamente o seu desempenho. Verifica-se assim, a necessidade de estudar a sua durabilidade de forma a potencializar o sistema e torna-lo mais eficiente, prevendo a vida útil sob determinadas condições.

Apesar de existirem alguns métodos para avaliar a vida útil dos materiais e sistemas construtivos, ainda não estão suficientemente explorados e desenvolvidos, estando numa fase teórica.

Este estudo compreende uma reunião de informação acerca dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior, em particular os sistemas com ou sem lâmina de ar.

Em relação aos sistemas com lâmina de ar, mais conhecidos como fachadas ventiladas, é feita uma descrição das suas características exigenciais, referindo as suas vantagens e inconvenientes.

Por outro lado, o sistema sem lâmina de ar que é o objecto de estudo principal deste documento, é analisado de uma forma exaustiva quanto à sua constituição, as condições de aplicação e as principais exigências funcionais, particularmente a durabilidade.

Feita a análise do sistema é aplicado o método factorial, quantificando os factores intervenientes, de modo a estimar a sua vida útil.

PALAVRAS-CHAVE: durabilidade, sistema de isolamento térmico pelo exterior, método factorial.

ABSTRACT

This work aims to study the durability of the external thermal insulation composite system type ETICS.

Currently, the concerns about the sustainability of buildings and building systems are growing due to the scarcity of natural resources. One way to ensure the sustainability of buildings and building systems is to ensure greater durability of their systems and components. The ETICS system is known for its thermal potential. However, have some diseases that adversely affect their performance. It is necessary to study its durability in order to strengthen the system and makes it more efficient, providing his life under certain conditions. Although there are some methods to assess the useful life of building materials and systems, aren't still sufficiently explored and developed, their are in a theoretical phase. This study includes several information about the external thermal insulation systems, with special attention to those systems with or without blade of air.

For systems with blade of air, better known as ventilated facades, there is a description of their requirements characteristics, indicating their advantages and disadvantages. Moreover, the system without blade of air, that is the subject of this study, is examined exhaustively as to its constitution, the conditions of application and functional requirements, particularly the durability.

After analysis of the system is applied the factor method, quantifying the factors involved in order to estimate its lifetime.

KEYWORDS: durability, external thermal insulation system, method factor.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2. INTERESSE E OBJECTIVO DO TRABALHO	2
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2. ESTADO DE ARTE	3
2.1. INTRODUÇÃO	3
2.1.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO	3
2.1.2. EVOLUÇÃO DAS FACHADAS EM PORTUGAL	3
2.2. ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS PELO EXTERIOR	5
2.2.1. GENERALIDADES	5
2.2.2. VANTAGENS DOS SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR	5
2.2.3. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR	6
2.3. SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO COM LÂMINA DE AR – FACHADAS VENTILADAS	8
2.3.1. CONSTITUIÇÃO E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA	8
2.3.2. CLASSIFICAÇÃO COM BASE NO MATERIAL DAS PLACAS DE REVESTIMENTO	12
2.3.3. CLASSIFICAÇÃO COM BASE NO TIPO DE FIXAÇÃO MECÂNICA AO SUPORTE	13
2.3.4. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO DAS FACHADAS VENTILADAS	15
2.3.5. VANTAGENS E INCONVENIENTES DO SISTEMA DE FACHADAS VENTILADAS	17
2.4. SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO SEM LÂMINA DE AR – ETICS	18
3. SISTEMA ETICS	19
3.1. INTRODUÇÃO	19
3.1.1. ABORDAGEM HISTÓRICA	19
3.1.2. GENERALIDADES	19
3.2. CONSTITUIÇÃO DO SISTEMA	20

3.2.1. INTRODUÇÃO	20
3.2.2. SUPORTE	22
3.2.3. COLA	22
3.2.4. ISOLAMENTO TÉRMICO – PLACAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)	22
3.2.5. CAMADA DE BASE	23
3.2.6. REDE DE FIBRA DE VIDRO	23
3.2.7. CAMADA DE ACABAMENTO	24
3.2.8. ACESSÓRIOS	25
3.3. APLICAÇÃO DO SISTEMA ETICS	28
3.3.1. ANÁLISE E TRATAMENTO DO SUPORTE	28
3.3.2. APLICAÇÃO DO SISTEMA	29
3.4. SELECÇÃO EXIGENCIAL	33
3.4.1. PERSPECTIVA EXIGENCIAL NA ELABORAÇÃO DE CADERNOS DE ENCARGOS	33
3.5. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS DO SISTEMA DE ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR - ETICS ..	34
3.5.1. ASPECTOS GERAIS	34
3.5.2. DIRECTIVA EUROPEIA 89/106/CE	34
3.5.3. RESISTÊNCIA MECÂNICA E ESTABILIDADE – ER1	35
3.5.4. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS – ER2	35
3.5.5. HIGIENE, SAÚDE E AMBIENTE – ER3	37
3.5.5.1. Generalidades	37
3.5.5.2. Estanquidade à água.....	37
3.5.5.3. Resistência ao choque	38
3.5.6. SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO – ER4	41
3.5.6.1. Generalidades	41
3.5.6.2. Solicitações higrotérmicas.....	42
3.5.6.3. Acção do vento	45
3.5.7. PROTECÇÃO CONTRA O RUÍDO – ER5	45
3.5.8. ECONOMIA DE ENERGIA E RETENÇÃO DE CALOR – ER6	46
3.5.8.1. Isolamento térmico	46
3.5.8.2. Pontes térmicas	47
3.5.9. CONFORTO VISUAL E TÁCTIL	48
3.5.9.1. Exigências de conforto visual	48
3.5.9.2. Exigências de conforto táctil.....	49

3.5.10. COMPATIBILIDADE COM O SUPORTE	49
3.5.10.1. Compatibilidade mecânica	49
3.5.10.2. Compatibilidade geométrica.....	49
3.5.10.3. Compatibilidade química	50
3.5.11. DURABILIDADE	50
3.5.11.1. Introdução	50
3.5.11.2. Resistência à fixação de poeira	51
3.5.11.3. Resistência à fixação e desenvolvimento de microrganismos.....	52
3.5.11.4. Resistência aos produtos químicos do ar	52
3.5.11.5. Manutenção.....	52
3.6. ANOMALIAS MAIS FREQUENTES DO SISTEMA	53
4. DURABILIDADE APLICAÇÃO DO MÉTODO FACTORIAL.....	59
4.1. INTRODUÇÃO	59
4.2. DURABILIDADE	60
4.2.1. DEFINIÇÃO	60
4.2.2. ENQUADRAMENTO NORMATIVO	61
4.3. QUANTIFICAÇÃO DA DURABILIDADE	62
4.3.1. MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA DURABILIDADE.....	62
4.3.2. MÉTODO FACTORIAL – REGULAMENTO JAPONÊS	63
4.3.2.1. Vida útil de referência (RSL)	63
4.3.2.2. Factores modificadores.....	64
4.3.2.3. Quantificação da ESL.....	71
4.3.2.4. Fragilidades do Método Factorial.....	72
4.3.2.5. Desenvolvimentos do Método Factorial.....	72
5. CONCLUSÕES	75
5.1. CONCLUSÕES	75
BIBLIOGRAFIA	77

ÍNDICES DE FIGURAS

Fig.2.1 – Evolução das fachadas em Portugal.....	4
Fig.2.3 – Comparação entre os gradientes de temperaturas a que estão sujeitas três paredes com soluções distintas.	6
Fig.2.4 – Constituição de uma fachada ventilada	9
Fig.2.5 – Barreiras contra a propagação vertical do fogo	10
Fig.2.6 – Ventilação natural nas fachadas ventiladas.....	11
Fig.2.7 – Fixação visível - revestimentos de espessura reduzida	14
Fig.2.8 – Fixação visível – painéis cerâmicos sobrepostos	14
Fig.2.9 – Fixação invisível (oculta) – revestimentos de pequena espessura (<20 mm).....	15
Fig. 3.1 – Sistema de isolamento térmico pelo exterior de fachadas – sistema ETICS	21
Fig. 3.2 – Ilustração da solução corrente do sistema ETICS.....	21
Fig. 3.3 – Rede de fibra de vidro normal tecida (esq.) e rede de fibra de vidro reforçada tecida (dir.)	24
Fig. 3.4 – Perfis de protecção das extremidades inferiores (com lacrimal para armadura normal, com lacrimal para armadura reforçada e sem lacrimal com envolvimento pela armadura)	25
Fig. 3.5 – Perfis de protecção das extremidades inferiores.....	26
Fig. 3.6 – Perfis de protecção das extremidades laterais	26
Fig. 3.7 – Perfis de protecção das arestas verticais	27
Fig. 3.8 – Elementos de recobrimento ao nível dos peitoris	27
Fig. 3.9 – Junta dessolidarizante do sistema relativamente a um elemento saliente rígido da construção	28
Fig. 2.10 – Perfil de cobre - junta	28
Fig. 3.11 – Erro de aplicação da cola entre as placas de isolamento térmico.....	29
Fig. 3.12 – Soluções possíveis para aplicação da cola no verso das placas	30
Fig. 3.13 – Colocação das placas de isolamento térmico.....	31
Fig. 3.14 – Armadura no enfiamento dos ângulos dos vãos.....	31
Fig. 3.15 – Sobreposição dos bordos de faixas contíguas de armadura.....	31
Fig. 3.16 – Aplicação da segunda demão da camada de base	32
Fig.3.18 – Esquema de princípio de realização de ensaios de choque em paredes	38
Fig.3.19 – Aparelho “Perfotest Baronnine”.....	39
Fig.3.20 – Punções cilíndricas	40
Fig.3.21 – Temperaturas médias diárias do ar na Europa, em Janeiro.....	42
Fig.3.22 – Temperaturas médias diárias do ar na Europa, em Julho	43

Fig.3.23 – Zonamento do território de Portugal Continental face à acção do vento, de acordo com o RSA.....	45
Fig.3.24 – Processos de transmissão de calor	46
Fig.3.25 – Exemplos de pontes térmicas não tratadas	47
Fig.3.26 – Anomalias em edifícios.....	52
Fig.3.27 – Anomalias em paredes exteriores.....	53
Fig.3.28 – Patologias associadas ao sistema ETICS.....	53
Fig.3.29 – Critérios de classificação das anomalias	56

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Revestimentos exteriores de paredes.....	7
Quadro 2.2 – Comparação de características dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior com ou sem lâmina de ar	8
Quadro 2.3 – Comparação das principais soluções de revestimento exterior fachadas ventiladas	13
Quadro 2.4 – Lista das exigências de desempenho para as fachadas ventiladas.....	16
Quadro 3.1 – Classes mínimas de resistência ao fogo para revestimentos exteriores.....	36
Quadro 3.2 – Classes mínimas de resistência ao fogo para revestimentos exteriores.....	36
Quadro 3.3 – Características dos punções cilíndricos.....	39
Quadro 3.4 – Definição das categorias de uso.....	40
Quadro 3.5 – Classificação do sistema com base nos ensaios de resistência ao choque	40
Quadro 3.6 – Valores do coeficiente de absorção da radiação solar – α_s – em função da cor	43
Quadro 3.7 – Valores máximos de radiação global incidente sobre superfícies exteriores, em Portugal Continental	44
Quadro 3.8 – Valores máximos e de referência do coeficiente de transmissão térmica das paredes da envolvente exterior, em função da zona climática	46
Quadro 3.9 – Classificação do suporte em função dos desvios de planeza	49
Quadro 3.10 – Classes de resistência ao enodoamento pela poeira (adaptado de [3]).....	51
Quadro 3.11 – Anomalias e prováveis causas.....	54
Quadro 4.1 - Durabilidade dos produtos em função da durabilidade das construções [3].....	60
Quadro 4.2 - Valores mínimos para a durabilidade do edifício e seus componentes (anos) [4]	60
Quadro 4.3 – Factores modificadores associados à qualidade dos componentes (A).....	64
Quadro 4.4 – Factores modificadores associados à qualidade do projecto (B)	66
Quadro 4.5 – Factores modificadores associados à qualidade de execução (C)	67
Quadro 4.6 – Factores modificadores associados ao ambiente exterior (E).....	67
Quadro 4.7 – Factores modificadores associados ao efeito do uso (F)	69
Quadro 4.8 – Factores modificadorassociados à manutenção (G)	70

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

PIB – Produto Interno Bruto

EPS - Poliestireno Expandido Moldado

XPS – Poliestereno Extrudido

PVC – Policloreto de vinilo

ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

DTU – Document technique unifié

EIFS - External Insulation and Finish System

RSA – Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes

ACERMI – Association pour la Certification des Matériaux Isolants

ER –Essencial Requirement

EOTA – European Organization for Technical Approvals

ETAG – Guideline for European Technical Approval

ITE – Informação Técnica de Edifícios

ISO – International Organization for Standardization

EN – Normas Europeias

NP – Normas Portuguesas

CEN – Comité Européen de Normalização

UEAtc – Union Européenne pour l'Agrément Technique dans la Construction

CSTB - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

VUR - Vida Útil de Referência

ESL – Vida Útil Estimada

RSL - Vida Útil de Referência

α - Coeficiente da absorção da superfície externa da parede

λ – Condutibilidade térmica

U – Coeficiente de transmissão térmica [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

U_{ref} – Coeficiente de transmissão térmica de referência [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

$U_{m\acute{a}x}$ - Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Actualmente, o ambiente construído representa uma grande percentagem do investimento global, chegando atingir mais de 50% da riqueza nas nações mais desenvolvidas e afectando de forma directa e indirecta, a vida e o bem-estar de praticamente todas as pessoas.

Em Portugal, o sector da Construção representa cerca de 6% do PIB (dimensão económica), assegura cerca de 250.000 postos de trabalho (cerca de 10% da população activa) e está intimamente relacionado com a qualidade de vida dos cidadãos (dimensão social) e a indústria da construção, nomeadamente o sector dos edifícios, é responsável por uma elevada produção de resíduos e por um elevado consumo de recursos (dimensão ambiental). [1]

As implicações económicas da construção não se resumem apenas ao investimento inicial necessário à planificação, projecto e empreitada da execução, mas continua ao longo da vida das construções. Os edifícios imediatamente após a sua conclusão, iniciam o seu período de vida útil. Nesse momento inicia-se o processo de envelhecimento, natural ou provocado, e conseqüentemente o seu processo de degradação. Ao longo do tempo, intervêm neste processo muitos factores, quer actuando isoladamente, quer actuando em conjunto.

A capacidade de o edifício manter o seu desempenho ao longo da sua vida útil respondendo, ou excedendo, as exigências que ditaram a sua execução, submetido a determinadas condições de serviço, ou seja a sua durabilidade, é condicionada por diversos aspectos, que se vão verificando desde a fase de projecto, passando pela fase de construção e terminando na fase de gestão e manutenção do edifício, ou seja, durante a sua utilização.

Este processo pode ser entendido como ciclo de vida do sistema, e traduz-se em grandes valores de investimento em manutenção, reparação e substituição de componentes e sistemas dos edifícios.

A qualidade e a durabilidade dos edifícios são também fundamentais para o bem-estar humano. Não só abrigam e protegem, mas também devem proporcionar conforto e satisfação. Em particular, a durabilidade de materiais e sistemas construtivos utilizados, é fundamental para a capacidade do edifício manter o seu desempenho ao longo de um período esperado.

Os sistemas de isolamento térmico são a forma mais fácil e eficaz de conservação de energia nos edifícios. Os materiais mais utilizados são os flexíveis (lã mineral e fibra de vidro), os rígidos (poliestireno expandido moldado - EPS) e os pulverizados (poliuretano projectado).

Nas últimas décadas, com o aumento do preço da energia, com a crescente preocupação ambiental e com o aumento das exigências de conforto, a eficiência energética nas habitações é um tema cada vez mais actual, e até recentemente obrigatório.

A utilização eficiente de energia é importante, pois os recursos globais energéticos são finitos, e parte da produção de energia é feita utilizando combustíveis fósseis (carvão e petróleo), o que tem inevitavelmente efeitos ambientais adversos. A eficiência energética dos edifícios está intimamente relacionada com o isolamento térmico existente.

O isolamento térmico é um componente que minimiza a transferência de energia térmica do interior para o exterior do edifício, e vice-versa, reduzindo a condução, a convecção e efeitos de radiação, influenciando directamente a temperatura interior dos edifícios.

1.2. INTERESSE E OBJECTIVO DO TRABALHO

O objectivo principal deste trabalho, tal como o título indica, consiste no estudo da durabilidade de materiais e sistemas construtivos, em particular o sistema de isolamento térmico pelo exterior ETICS. Serão analisados e quantificados os factores que influenciam a vida útil do sistema, através do Método Factorial. Esta metodologia ensaiada baseia-se na abordagem proposta pelo *Architectural Institute of Japan*.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Relativamente à estrutura do presente trabalho, este encontra-se dividido em cinco capítulos.

No presente Capítulo, foi feito o enquadramento do tema assim como a descrição do objectivo do trabalho e a metodologia utilizada para alcançar tal objectivo.

No Capítulo 2, apresenta-se o estado do conhecimento actual em relação aos sistemas de isolamento térmico pelo exterior, em particular, os sistemas com e sem lâmina de ar, “fachadas ventiladas” e sistema ETICS, respectivamente.

No Capítulo 3, faz-se uma descrição pormenorizada do sistema ETICS, analisando os seus constituintes e os seus requisitos de desempenho.

No Capítulo 4, estuda-se a durabilidade do sistema através da aplicação do Método Factorial. É feita uma análise dos factores que influenciam a vida útil do sistema, quantificando-os para estimar a vida útil do sistema ETICS.

Finalmente, no Capítulo 5 conclui-se, através dos resultados obtidos no Método Factorial, os resultados obtidos.

2

ESTADO DE ARTE

2.1. INTRODUÇÃO

2.1.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

O acto de construir teve os primeiros sinais no momento em que o modo de vida nómada deu lugar à vida sedentária, passando o homem a ter um local onde viver.

O homem começou por usar cavernas naturais, mas rapidamente sentiu a necessidade de construir abrigos. Estas construções primitivas surgiam com o intuito de procurar abrigo contra a intempérie e como forma de obter segurança.

Desde sempre as soluções encontradas para as construções estiveram ligadas às necessidades práticas e à preocupação de enfrentar as forças da natureza. Por exemplo, na civilização caldeia, contemporânea da civilização egípcia, os templos surgiam sobre grandes embasamentos de forma a evitar as consequências das inundações dos rios Tigre e Eufrates. Esta opção arquitectónica era tomada na procura da perenidade e durabilidade do edifício.

Vitruvius, arquitecto romano, no seu tratado de arquitectura *De Architectura*, actualmente conhecido como ‘Os Dez Livros de Arquitectura’ refere que os edifícios devem ser construídos com ‘durabilidade, conveniência, e beleza’, a famosa tríade vitruviana *firtmitas, utilitas e venustas*.

2.1.2. EVOLUÇÃO DAS FACHADAS EM PORTUGAL

A realização de fachadas tem sofrido uma grande evolução ao longo dos anos (figura 2.1), motivada fundamentalmente pelo aparecimento de novos materiais e sistemas construtivos, entre os quais podemos incluir o isolamento pelo exterior dos edifícios criando uma camada protectora da parede.

Apesar de não existir nenhum estudo muito aprofundado da evolução das soluções de paredes de alvenaria em Portugal, julga-se ser possível afirmar que as soluções tradicionais começaram a evoluir, a partir de meados do século XX, de uma forma rápida e nem sempre adaptadas às condições locais e à evolução das exigências.

Até aos anos 40 as fachadas eram constituídas por um pano de elevada espessura em alvenaria de pedra ou de tijolo maciço. Nesta década, e sobretudo nas zonas urbanas, assiste-se a uma generalização das estruturas porticadas de betão armado. Em consequência deste facto, as paredes foram perdendo a sua função resistente e transformaram-se em simples panos de enchimento, tendo a pedra cedido lentamente lugar aos tijolos cerâmicos e outros materiais.

Na década seguinte surgiram as primeiras paredes duplas, com pano exterior de alvenaria de pedra formando uma “forra” interior em alvenaria de tijolo. Com a vulgarização do uso dos tijolos cerâmicos e com a crescente variedade de formatos que se desenvolveram, evolui-se de elementos maciços para elementos de furação horizontal, sucessivamente mais aligeirados, possuindo algumas propriedades em termos de isolamento térmico e acústico, durabilidade e economia quando comparado com outras alternativas existentes no mercado.

Na década de 60, aligeirou-se a constituição das paredes utilizando alvenaria de tijolo furado em ambos os panos. Inicialmente o pano exterior era significativamente mais espesso que o interior mas houve uma progressiva redução dessa espessura até que, já nos anos 70, os dois panos apresentam dimensões idênticas, e por vezes muito reduzidas.

Na década de 80, começaram a introduzir-se materiais de isolamento térmico a preencher, total ou parcialmente, a caixa-de-ar das paredes. Inicialmente não existia grande preocupação com o tratamento das pontes térmicas, o que foi significativamente alterado após a entrada em vigor, em 1991, do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro.

Nos anos 90, foram introduzidos em Portugal diferentes sistemas de isolamento térmico pelo exterior, como por exemplo, as fachadas ventiladas (“bardages”) e os ETICS. Nesta última década tem-se assistido à utilização, em casos pontuais, de sistemas de isolamento térmico pelo interior, sobretudo em reabilitação de edifícios.

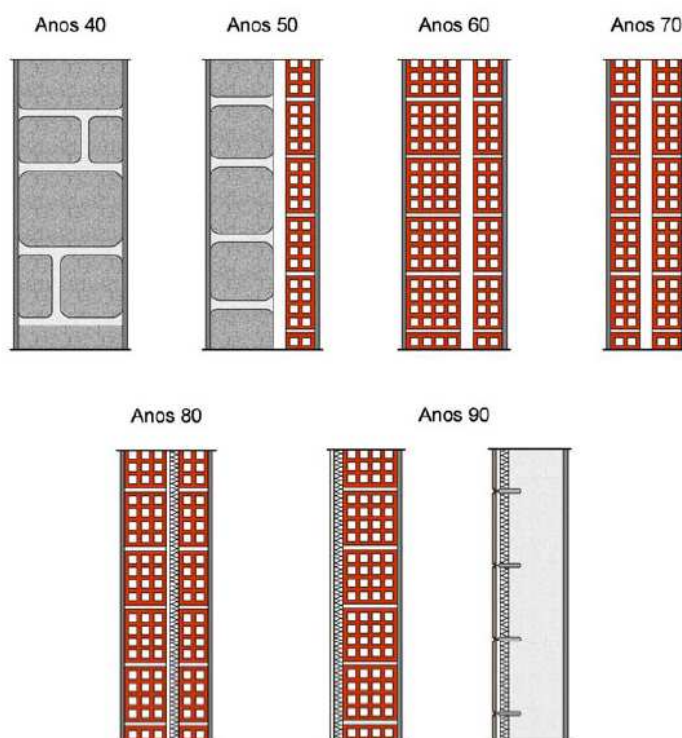


Fig.2.1 – Evolução das fachadas em Portugal [4]

2.2. ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS PELO EXTERIOR

2.2.1. GENERALIDADES

A crise energética, agudizada sobretudo a partir de finais de 1973, fez vincar claramente a necessidade de poupar energia de aquecimento/arrefecimento nos edifícios e, portanto, de combater as respectivas perdas térmicas. A melhoria do isolamento térmico da envolvente dos edifícios – paredes, vãos envidraçados, pontes térmicas, etc. – é um dos campos de actuação indispensável para reduzir o consumo de energia.

Nesta perspectiva, existe um esforço acentuado no seio da indústria da construção civil com vista à necessidade de contribuir para esse objectivo, através de soluções de isolamento térmico mais eficientes, entre elas:

- Sistemas de isolamento térmico pelo interior;
- Utilização de elementos de construção (painéis ou blocos) constituídos por materiais de menor condutibilidade térmica do que os materiais tradicionais;
- Sistemas de isolamento térmico pelo exterior.

A primeira solução perde interesse visto não eliminar as pontes térmicas. Mesmo aumentando a espessura do isolante, não seria possível eliminá-las.

Em relação ao segundo tipo de solução, os exemplos mais conhecidos são os seguintes:

- Blocos de betão celular autoclavado;
- Blocos de betão corrente com uma lâmina de material de isolamento térmico;
- Painéis prefabricados de materiais com boas características de isolamento térmico, e que incorporam no seu interior montantes resistentes;

Esta solução, mais vantajosa do ponto de vista térmico do que a de isolamento pelo interior, apresenta contudo alguns pontos fracos, como por exemplo, deficiências de resistência mecânica e baixa durabilidade.

A última solução, sistemas de isolamento térmico pelo exterior, é uma solução de elevada qualidade, o que se tem reflectido num aumento de utilização na indústria da construção, nos últimos anos. Apresenta inúmeras vantagens, desde logo, o aumento da durabilidade dos suportes e do próprio sistema, em relação aos outros sistemas de isolamento referidos.

2.2.2. VANTAGENS DOS SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR

Pelos motivos expostos, a solução de isolamento térmico pelo exterior, é hoje reconhecida, de forma incontestável, como uma solução técnica de alta qualidade, reunindo as seguintes vantagens:

- Redução das pontes térmicas (figura 2.2);
- Aumenta a durabilidade das fachadas, porque lhes proporciona protecção contra a acção de agentes de deterioração, como por exemplo, as variações de temperatura (choques térmicos ou variações sazonais), a água líquida e a radiação solar;
- Aumento da inércia térmica interior, dado que a maior parte da massa das paredes se encontra pelo interior da camada de isolamento térmico;
- Diminuição do risco de condensações;
- Economia de energia devido à redução das necessidades de aquecimento e arrefecimento dos edifícios;

- Diminuição da espessura das paredes exteriores, que se traduz num ganho da área habitável e numa diminuição do peso das paredes;
- Diminuição do gradiente de temperaturas a que são sujeitas as camadas interiores das paredes (figura 2.3);
- Melhoria da impermeabilidade das paredes;
- Solução de isolamento adequada para reabilitação de fachadas degradadas;

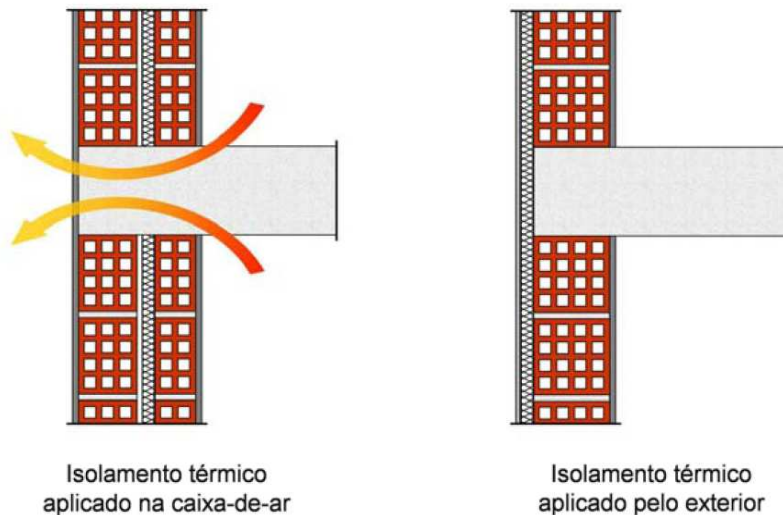


Fig. 2.2 – Comparação das soluções de isolamento térmico na caixa-de-ar e aplicado pelo exterior [4]

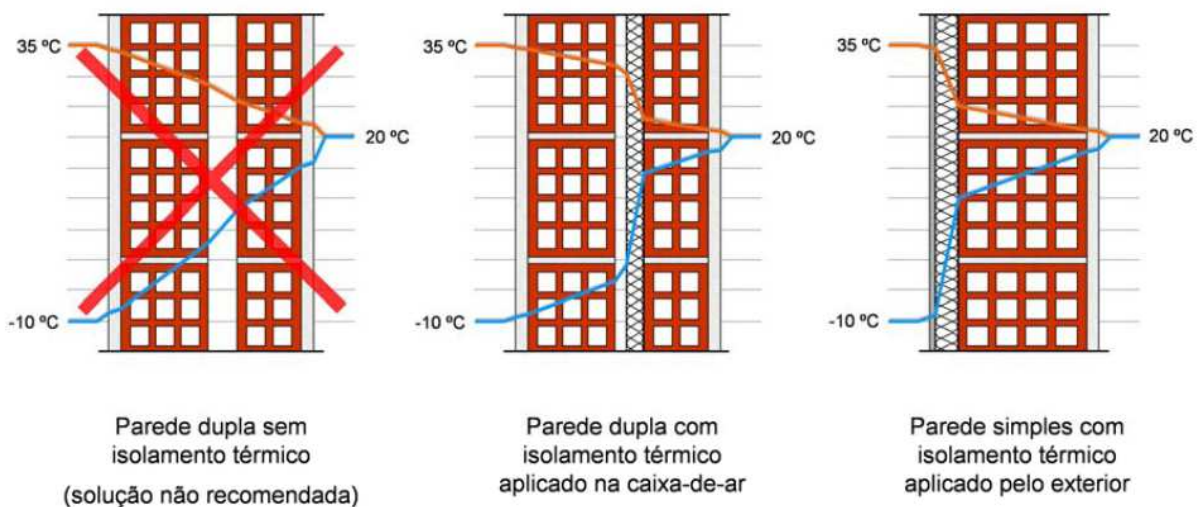


Fig.2.3 – Comparação entre os gradientes de temperaturas a que estão sujeitas três paredes com soluções distintas [4].

2.2.3. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR

De acordo com alguma bibliografia técnica da especialidade e como se pode verificar no quadro seguinte (quadro 2.1), existem no nosso país, diversos tipos de revestimentos exteriores com maior aplicação. Assim, um sistema constituído por placas de isolamento térmico revestidas com argamassas orgânicas ou sintéticas de pequena espessura armadas com fibra de vidro, assumem a designação de

“revestimentos delgados armados sobre isolante”, vulgarmente designado ETICS, assumindo funções de impermeabilização, isolamento e acabamento exteriores.

Quadro 2.1 – Revestimentos exteriores de paredes [2]

Classificação funcional	Principais tipos de isolamento usados em Portugal
Revestimentos de estanquidade	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Placas de pedra natural, com fixação mecânica ao suporte e lâmina de ar ventilada; ▪ Placas de outros materiais (plásticos, cerâmicos, metálicos ou compósitos), com fixação mecânica ao suporte e lâmina de ar ventilada.
Revestimentos de impermeabilização	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revestimentos de ligante sintético armados; ▪ Rebocos tradicionais; ▪ Rebocos pré-doseados (monocamada ou outros); ▪ Revestimentos de ligante misto (cimento e resina).
Revestimentos de isolamento térmico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revestimentos de ligante sintético; ▪ Revestimentos por elementos descontínuos independentes com isolante na caixa-de-ar; ▪ Revestimentos por componentes isolantes; ▪ Revestimentos aplicados sobre isolantes (ETICS).
Revestimentos de acabamento ou decorativos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revestimentos de argamassas de ligante mineral com inertes de material isolante; ▪ Revestimentos por elementos descontínuos colados ou fixados mecanicamente sem lâmina de ar (ladrilhos, azulejos, pedras naturais, etc.); ▪ Revestimentos por pintura.

Em relação aos sistemas de isolamento térmico de fachadas pelo exterior, podemos classificá-los em dois grandes grupos, conforme comporem ou não lâmina de ar ventilada entre o revestimento e o isolante.

O interesse desta classificação advém-lhe do facto de serem diferentes as funções do isolante em cada um dos grupos. E sendo diferentes as funções, sê-lo-ão também as características exigíveis. Assim, ao isolante dum sistema com lâmina de ar em geral apenas se exige que desempenhe a função de isolamento térmico, enquanto num sistema sem lâmina de ar (caso do ETICS), ao isolante competirá suplementarmente servir de suporte ao revestimento e participar na estanquidade do conjunto.

A existência ou não da lâmina de ar induz diferenças significativas:

- A lâmina de ar, ao dessolidarizar o revestimento do isolante, torna possível a utilização de produtos de revestimento e de isolamento não compatíveis, nomeadamente do ponto de vista de variações dimensionais. Nos sistemas tipo ETICS tem que ser garantida a compatibilidade total entre o revestimento e o isolante;
- Os sistemas com lâmina de ar são fixados pontualmente ao suporte, enquanto os sistemas sem lâmina de ar, em virtude de o isolante ter funções resistentes (suporte do revestimento), exigem fixação plena à parede por colagem, embora comecem a aparecer no mercado soluções com sistemas de fixação mecânica. Desta forma é garantida uma melhor repartição das cargas.
- Nos sistemas com lâmina de ar, a evacuação do vapor de água proveniente dos suportes aquando da aplicação do sistema, faz-se graças à ventilação dessa lâmina, enquanto nos

sistemas sem lâmina de ar haverá que garantir se a quantidade de água susceptível de se condensar no seio do isolante não desvirtua o sistema.

Quadro 2.2 – Comparação de características dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior com ou sem lâmina de ar [2]

Características a comparar	Tipo de sistema de isolamento térmico	
	Com lâmina de ar ventilada	Sem lâmina de ar (ETICS)
Funções do isolante	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Isolamento térmico 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Isolamento térmico ▪ Suporte do revestimento ▪ Impermeabilização à água
Processo de fixação ao suporte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fixação mecânica por pontos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Colagem *
Elementos responsáveis pela impermeabilização	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revestimento ▪ Lâmina de ar 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revestimento ▪ Isolante
Resolução do problema das variações dimensionais diferenciais	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variações absorvidas pela geometria da ligação revestimento - estrutura de fixação 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Necessidade de escolha de revestimento e isolante compatíveis
Dificuldades de aplicação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fachadas com vãos numerosos ▪ Paredes inadequadas à fixação mecânica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deficiências de planeza ou de regularidade superficial do suporte ▪ Existência de revestimento antigo não aderente ao suporte
Possibilidade de eliminação de riscos de condensação no isolante	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ventilação da lâmina de ar 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Compatibilidade das permeabilidades ao vapor de água do revestimento e do isolante

* Existem sistemas sem lâmina de ar fixados mecanicamente.

2.3. SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO COM LÂMINA DE AR – FACHADAS VENTILADAS

2.3.1. CONSTITUIÇÃO E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

Nos últimos anos, a investigação, ao nível de soluções construtivas para paredes exteriores, tem evoluído no sentido de soluções cada vez menos espessas e, conseqüentemente, mais leves, constituídas por uma série de camadas com funções cada vez mais específicas.

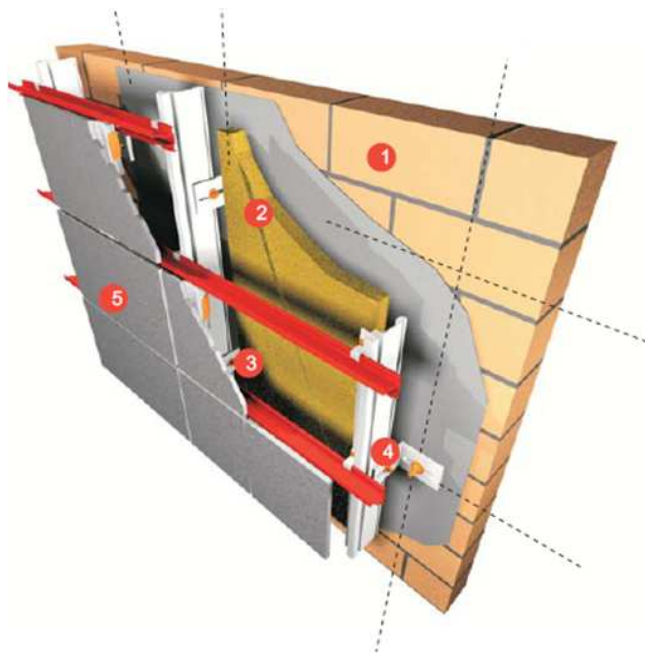
Neste contexto surgiu a fachada ventilada, que está intimamente ligada ao ressurgimento de soluções de paredes exteriores simples, que tinham caído em desuso a partir de meados do século XX. Este tipo de fachada tanto pode ser utilizada na reabilitação de edifícios que apresentam problemas, por exemplo, de isolamento térmico e acústico, falta de estanquidade à água ou de fissuração, como na construção de novos edifícios. Com esta solução construtiva contribui-se para uma economia de energia e diminuição do risco de degradação precoce dos materiais, evitando pontes térmicas e condensações, dotando desta forma o edifício de uma maior qualidade e conforto.

A fachada ventilada pode ser definida como um sistema de protecção e revestimento exterior de edifícios, caracterizado pelo afastamento entre a parede do edifício e o revestimento, criando assim,

uma lâmina de ar, que permite a ventilação natural da parede, sendo a condição essencial para o bom funcionamento do sistema.

Os elementos principais que constituem a fachada ventilada são (figura 2.4):

- Suporte existente (alvenaria ou betão);
- Camada de isolamento térmico;
- Lâmina de ar;
- Estrutura de suporte e fixação mecânica de elevada resistência (aço inox, aço galvanizado, madeira, alumínio);
- Revestimento exterior descontínuo.



Legenda:

- 1- Suporte físico (parede)
- 2- Isolamento térmico
- 3- Lâmina de ar
- 4- Estrutura de suporte e fixação
- 5- Revestimento exterior descontínuo

Fig.2.4 – Constituição de uma fachada ventilada

A execução de uma camada de revestimento não isolante descontínuo sobre a parede protege o elemento de suporte (parede) e o isolamento térmico contra as intempéries, o que aumenta a durabilidade do sistema.

O revestimento descontínuo, não isolante e independente, é fixado mecanicamente ao elemento de suporte através de uma estrutura de fixação. Para além da sua função estética importante, funciona também como capa de impermeabilizante da parede.

A estrutura de fixação deve permitir o afastamento do revestimento em relação ao elemento de suporte, de modo a estabelecer uma lâmina de ar entre os dois elementos. Esta estrutura deve absorver as deformações do suporte (parede) devido a deslocamento diferenciais das fundações e a tensões e/ou dilatações térmicas dos materiais constituintes da parede. O vento é outra importante acção sobre a estrutura de fixação que deve ser analisado para cada caso em concreto. Esta estrutura apresenta uma série de componentes, que transferem as acções a que o revestimento está sujeito para a parede:

- Perfis verticais – geralmente em alumínio ou aço inoxidável, ancorados no elemento de suporte;

- Perfis horizontais – geralmente em alumínio ou aço inoxidável, onde as peças de revestimento se fixam através de dispositivos próprios;
- Acessórios – dispositivos de fixação e remate.

A lâmina de ar, formada entre o revestimento e o paramento externo do elemento de suporte, apresenta dimensões no intervalo dos 5 a 15 cm e tem o objectivo de permitir a ventilação contínua no sentido vertical através do efeito chaminé. Nessa lâmina de ar e sobre paramento exterior do elemento de suporte é fixado o isolamento térmico.

O facto do isolamento térmico ser contínuo, torna-o mais eficiente, pois eliminam-se ou previnem-se as pontes térmicas, daí que esta solução seja utilizada na reabilitação de fachadas com problemas de isolamento térmico. A aplicação do isolamento sobre o paramento exterior aumenta a inércia térmica interior do edifício. A ventilação impede que o ar existente na lâmina aqueça, evitando-se a transmissão de calor por convecção para o interior. Deste modo, esta solução promove a diminuição dos consumos energéticos tanto durante a estação de aquecimento como de arrefecimento.

Quanto ao isolamento acústico, o seu comportamento é substancialmente melhor do que o de uma fachada convencional, pois o revestimento descontínuo dissipa parte da energia sonora incidente.

Normalmente, este sistema apresenta uma elevada estabilidade estrutural, pois o revestimento, ao ser descontínuo, previne o risco de fissuração devido às amplitudes térmicas diurnas e sazonais. Também não existe transmissão de cargas entre placas, já que as fixações são independentes.

A manutenção é simples e pouco dispendiosa, por exemplo, devido à existência de elementos de revestimento totalmente independentes, este sistema permite a substituição isolada de alguma peça danificada.

Ao nível da resistência ao fogo, este sistema apresenta algumas fragilidades. A lâmina de ar deve ser compartimentada com barreiras horizontais e verticais, resistentes ao fogo, de modo a evitar a sua propagação a outros pisos do edifício, como ilustra a figura 2.5.

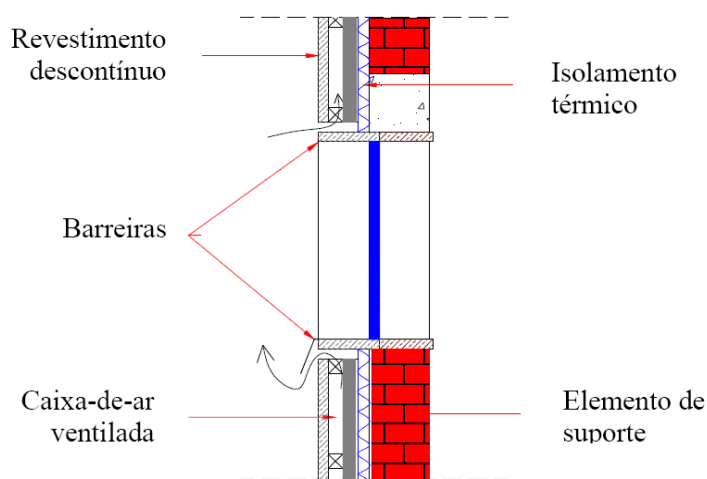


Fig.2.5 – Barreiras contra a propagação vertical do fogo [3]

Todos os materiais utilizados deverão ser protegidos de acordo com o ambiente onde estarão expostos, de modo a evitar a sua corrosão, apodrecimento ou outras patologias, aumentando desse modo, a vida útil do sistema.

Um dos aspectos de funcionamento deste sistema é a ventilação natural da lâmina de ar, que resulta das diferenças de pressão no interior da mesma, associadas à estratificação de temperaturas bem como aos fluxos naturais devidos à acção do vento (figura 2.6).

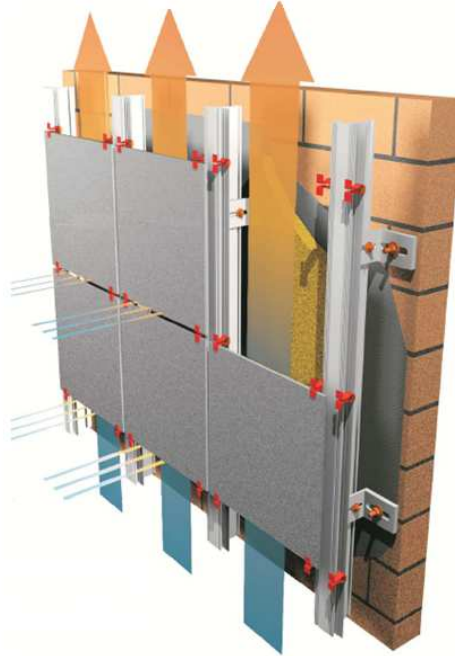


Fig.2.6 – Ventilação natural nas fachadas ventiladas

Este fenómeno físico explica-se através do princípio da convecção: devido aos diferenciais de temperatura e de peso específico entre o ar na lâmina de ar e o ar exterior, produzem-se diferenças de pressão que provocam uma corrente ascendente de ar.

Este facto permite a eliminação de condensações ou de alguma humidade da chuva que tenha atravessado o revestimento. Desta forma, o isolamento térmico e o pano interior encontram-se perfeitamente protegidos contra a humidade. Podem assim ser utilizados certos materiais de isolamento térmico, que por serem mais sensíveis à humidade, não são utilizados correntemente no isolamento das fachadas convencionais, por exemplo, a cortiça e a fibra de coco.

Um aspecto muito importante para garantir uma correcta ventilação da lâmina de ar, é o seu correcto dimensionamento. A lâmina de ar deverá ter uma espessura mínima de 2 cm, mesmo em zonas mais estranguladas, e a sua ventilação deverá ser assegurada por aberturas na base e topo da fachada, com as secções dadas pela equação seguinte (equação 1).

$$S = \left(\frac{H}{3} \right)^{0,4} \times 50 \quad (1.)$$

em que:

- S – secção de cada uma das aberturas de ventilação, expressa em cm² por cada metro de largura da fachada;
- H – altura da fachada, expressa em metros.

o que corresponde sensivelmente a:

- 50 cm² para uma altura não superior a 3 m;
- 65 cm² para uma altura de 3 m a 6 m;
- 80 cm² para uma altura de 6 m a 10 m;
- 100 cm² para uma altura de 10 m a 18 m.

Excepcionalmente, nos casos em que o sistema seja permeável ao ar (devido à existência de juntas abertas), estas secções poderão ser reduzidas. Para alturas superiores a 18 m convém proceder ao fraccionamento do espaço de ar, de forma a evitar velocidades excessivas de circulação de ar. Deve garantir-se que as aberturas de ventilação não venham a ser bloqueadas por cimento, gelo, etc., e que é impedida a entrada de pássaros e grandes insectos. Uma rede com malha nominal de 4 mm permite cumprir estes requisitos sem oferecer resistência à passagem de ar.

2.3.2. CLASSIFICAÇÃO COM BASE NO MATERIAL DAS PLACAS DE REVESTIMENTO

As fachadas ventiladas podem ser classificadas segundo diversos critérios sendo os mais importantes os seguintes:

- Suporte existente;
- Modo de aplicação do isolamento térmico;
- Sistema de fixação do revestimento;
- Material constituinte das placas de revestimento exterior.

Dos critérios referidos pode considerar-se que o mais significativo é o material constituinte das placas. Isto resulta do facto de as fachadas ventiladas, devido ao modo de fabrico e montagem e ao elevado grau de pré-fabricação a que normalmente estão associadas, recorrerem sistematicamente a componentes de revestimento sob a forma de placas. Estas podem ser de maior ou menor dimensão, em função do peso e fragilidade, e também fabricadas com base em materiais de diversas origens:

- Placas de betão polímero;
- Placas em alumínio perfilado;
- Chapas de vidro;
- Pedra natural;
- Painéis de madeira e resinas fenólicas;
- Placas cerâmicas.

Apresentam-se em seguida de forma esquemática os aspectos mais relevantes das principais soluções usadas em fachadas ventiladas organizadas com base nos materiais com que são realizadas as placas exteriores de revestimento. Esta enumeração destina-se a permitir avaliar simplificadaamente as principais vantagens e inconvenientes de cada solução.

Quadro 2.3 – Comparação das principais soluções de revestimento exterior fachadas ventiladas

Material de revestimento exterior	Aspectos mais relevantes
Placas de betão polímero	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistência mecânica ▪ Resistência a ciclos gelo-degelo ▪ Material leve, impermeável e pouco poroso ▪ Fácil manutenção ▪ Elevada durabilidade
Placas de alumínio perfilado	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elevado desempenho térmico e acústico ▪ Elevada durabilidade (resistência aos agentes atmosféricos e químicos, resistência à corrosão)
Chapas de vidro	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dificuldades de manutenção (limpeza)
Pedra natural	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elevado valor estético
Painéis de madeira e resinas fenólicas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistência química e mecânica
Placas cerâmicas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elevado desempenho térmico e acústico

2.3.3. CLASSIFICAÇÃO COM BASE NO TIPO DE FIXAÇÃO MECÂNICA AO SUPORTE

As fachadas ventiladas podem ser classificadas segundo o tipo de fixação do revestimento exterior. A durabilidade das fixações deve ser idêntica à do suporte por não serem acessíveis para manutenção periódica, pelo que estas devem ser bem tratadas contra a corrosão ou qualquer outro processo de deterioração. Os processos de fixação tornam possível a inserção de um isolante térmico entre o revestimento e o suporte, mas a interrupção do isolante provocada pelos dispositivos de fixação é muito distinta consoante a solução seleccionada.

Através da forma como se ligam as peças de revestimento à estrutura de suporte, é possível distinguir dois tipos de sistemas de fixação:

- Sistemas de encaixe visível;
- Sistemas de encaixe invisível.

Nos sistemas de encaixe visível, a fixação do revestimento à estrutura de suporte é realizada através de grampos visíveis protegidos contra a corrosão. Os sistemas de encaixe visível são uma solução económica, versátil e flexível em obra, pois a peça de revestimento não precisa de vir acoplada a algum tipo de dispositivo de ligação, tal como acontece nos sistemas de encaixe invisível. Para evitar vibrações do sistema devido ao vento, devem utilizar-se juntas – por exemplo, de neopreno – entre os grampos e as peças, ou então efectuar-se uma selagem com silicone (figuras 2.7 e 2.8).

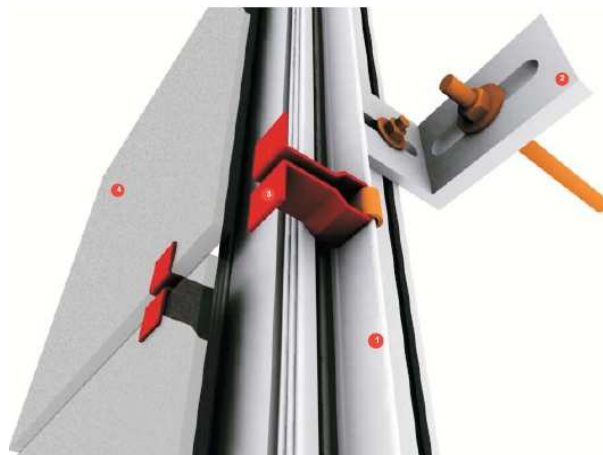


Fig.2.7 – Fixação visível - revestimentos de espessura reduzida



Fig.2.8 – Fixação visível – painéis cerâmicos sobrepostos

Nos sistemas de encaixe invisível tem de se aplicar previamente na peça de revestimento um dispositivo que permita a sua fixação à estrutura – o grampo de sustentação. É recomendável a utilização de um encaixe roscado, pois é o que garante maior estabilidade. As peças são fixadas aos perfis horizontais, encaixando os grampos nesses perfis (figura2.9).

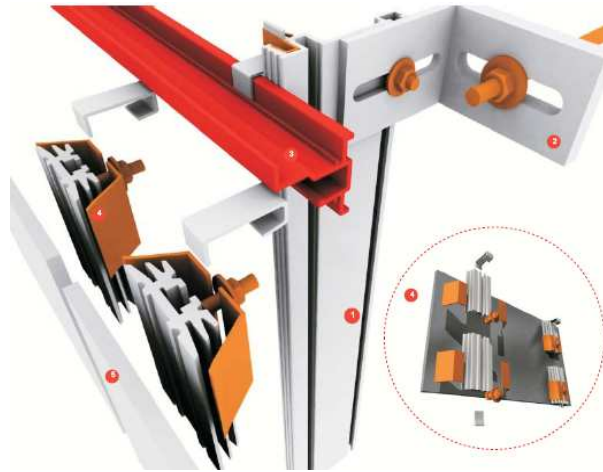


Fig.2.9 – Fixação invisível (oculta) – revestimentos de pequena espessura (<20 mm)

2.3.4. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO DAS FACHADAS VENTILADAS

O grupo de exigências de desempenho mais importantes aplicadas ao sistema de fachadas ventiladas, é o seguinte:

- Resistência mecânica e estabilidade;
- Segurança em caso de incêndio;
- Higiene, saúde e ambiente;
- Segurança na utilização;
- Protecção contra o ruído;
- Economia de energia e comportamento higrotérmico;
- Conforto visual;
- Durabilidade;
- Montagem, manutenção e reparação.

No quadro seguinte (quadro 2.4) é feita, para cada exigência, uma descrição dos principais parâmetros.

Quadro 2.4 – Lista das exigências de desempenho para as fachadas ventiladas

Exigências principais	Parâmetros
Resistência mecânica e estabilidade	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não aplicável;
Segurança em caso de incêndio	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reacção ao fogo (E365 a E371 do LNEC);
Higiene, saúde e ambiente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Odores; ▪ Resistência ao enodoamento; ▪ Limpeza; ▪ Aptidão para a reutilização;
Segurança na utilização	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistência mecânica do suporte (DTU 20.1); ▪ Resistência ao vento; ▪ Fixação do revestimento ao suporte; ▪ Resistência ao choque (suporte e revestimento); ▪ Resistência às deformações e variações dimensionais; ▪ Alteração das características mecânicas das placas de revestimento no estado húmido; ▪ Resistência à suspensão de cargas; ▪ Perfil geométrico da superfície; ▪ Resistência à peladura (temperatura máxima atingida pelo revestimento em exposição solar: 60 °C);
Protecção contra o ruído	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão;
Economia de energia e comportamento higrotérmico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ventilação da lâmina de ar;
Conforto visual	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reacção do revestimento exterior à água; ▪ Planeza das superfícies; ▪ Verticalidade; ▪ Rectidão das arestas; ▪ Regularidade e perfeição das juntas de dilatação; ▪ Homogeneidade de cor e brilho;
Durabilidade	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durabilidade do revestimento exterior; ▪ Durabilidade dos dispositivos de fixação; ▪ Resistência à erosão; ▪ Resistência aos agentes climáticos; ▪ Resistência aos produtos químicos do ar;
Montagem, manutenção e reparação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Facilidade de transporte dos componentes; ▪ Aptidão para a armazenagem; ▪ Facilidade de montagem; ▪ Facilidade de reparação; ▪ Facilidade de manutenção;

Em relação à durabilidade, tema desta dissertação, o sistema de isolamento de fachadas de ventiladas terá que satisfazer as exigências para as quais foi dimensionado:

- Durabilidade das placas de revestimento – referência ao período de tempo que o revestimento mantém o seu desempenho em condições normais de uso e conservação.

- Durabilidade dos dispositivos de fixação – a sua durabilidade deve ser idêntica à do suporte por não ser acessíveis para manutenção. Normalmente são constituídos por materiais que resistem à agressividade do meio, nomeadamente o aço inoxidável ou até alumínio.
- Resistência à erosão – as placas de revestimento não podem diminuir a sua espessura pelo contacto com o ambiente.
- Resistência aos agentes climáticos – definição do número de ciclos e períodos de exposição que as placas de revestimento resistem sem se deteriorarem (ensaios de ciclo gelo – degelo).
- Resistência aos produtos químicos – definição do período de tempo de exposição em ambiente agressivo que as placas de revestimento resistem sem se deteriorarem.

2.3.5. VANTAGENS E INCONVENIENTES DO SISTEMA DE FACHADAS VENTILADAS

Este sistema permite que o isolamento térmico se faça pelo exterior da parede, garantindo assim acréscimos de inércia térmica e melhoria do desempenho térmico do edifício.

A utilização de sistemas de fachada ventilada permite proteger as paredes do edifício das rápidas variações de temperatura, permitindo a redução da expansão/contracção térmica dos materiais da parede e a redução da possibilidade de passagem de humidade pela fissuração do edifício, se ocorrer. A envolvente exterior do edifício mantém-se assim sempre relativamente seca.

Outra vantagem deste tipo de fachada é a facilidade de adoptar juntas de dilatação que absorvam os efeitos tridimensionais resultantes de expansão/retracção das placas.

Uma fachada ventilada deve permitir a protecção contra os agentes meteorológicos (chuva, neve e gelo) que constituem uma das maiores causas de deterioração das fachadas. Uma protecção eficaz aumenta o tempo de vida útil de um edifício sem aumentar os respectivos custos de manutenção. Em resumo, as vantagens mais significativas da aplicação deste sistema de isolamento térmico pelo exterior são as seguintes:

- Processo largamente aplicável em construção nova e reabilitação;
- Economia de energia;
- Facilidade de inspecção e manutenção;
- Maior conforto ambiental no interior dos edifícios;
- Aumento da durabilidade das fachadas.

Por fim, as fachadas ventiladas apresentam a possibilidade de se utilizar o espaço vazio, entre o elemento de suporte e o revestimento, para a passagem de instalações hidráulicas e/ou eléctricas. O dimensionamento adequado do afastamento entre os paramentos possibilita o alojamento de instalações, as quais podem ser visitáveis em caso de avaria e/ou manutenção.

No entanto, o sistema de fachadas ventiladas apresenta algumas desvantagens, entre elas:

- Condiciona o aspecto exterior do edifício;
- Eventual dificuldade na execução de remates, zonas de cunhais e saliências;
- Custo geralmente mais elevado, comparando com outros sistemas semelhantes;
- Maior risco de degradação por vandalismo;
- A lâmina de ar, se não for seccionada, actua como propagador vertical de fogo.

2.4. SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO SEM LÂMINA DE AR – SISTEMA ETICS

O sistema de isolamento térmico pelo exterior sem lâmina de ar, sistema ETICS, pela sua importância neste trabalho, é alvo de análise no Capítulo 3, onde se refere a sua constituição, as exigências funcionais mais importantes e se faz um enquadramento das normas mais importantes aplicadas ao sistema.

3

SISTEMA ETICS

3.1. INTRODUÇÃO

3.1.1. ABORDAGEM HISTÓRICA

No período após a 2ª Guerra Mundial a Europa atravessou uma difícil crise económica, e consequentemente, o custo dos edifícios e a escassez de combustíveis eram motivos de grande preocupação. Como forma de reduzir o consumo de energia tornou-se inevitável a aplicação de isolamento térmico na envolvente dos edifícios. Estudos da época já indicavam que o isolamento térmico seria mais eficaz se aplicado pelo exterior.

Durante os anos 40 do Século XX, surgiu na Suécia um sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior que era constituído por lã mineral revestida com um reboco de cimento e cal. De acordo com alguns autores, o responsável pelo desenvolvimento dos sistemas de reboco delgado armado sobre poliestireno expandido, tal como o conhecemos, terá sido Edwin Horbach. Foi na sua própria habitação, num pequeno laboratório, que Horbach testou e afinou diferentes composições de reboco, diversos produtos de reforço e materiais de isolamento. Após contactos com um fabricante alemão de poliestireno expandido, o seu sistema de isolamento térmico pelo exterior começou a ser usado e comercializado nos finais da década de 50. Na década seguinte, os ETICS foram sendo gradualmente introduzidos nos Estados Unidos da América por Frank Morsilli. Entretanto o sistema sofreu algumas modificações para se adaptar ao tipo de construção existente e ao mercado americano (por exemplo, menor espessura de reboco). Inicialmente os agentes da construção norte-americanos foram relutantes em relação à utilização dos ETICS, no entanto durante a crise energética do final dos anos 60, aumentou o interesse e a aplicação dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior.

Finalmente, nos finais do século XX verificou-se a introdução no nosso país, de uma forma definitiva, dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior.

3.1.2. GENERALIDADES

O sistema de isolamento térmico pelo exterior, com reboco armado directamente aplicado sobre o isolamento térmico, é designado por ETICS - External Thermal Insulation Composite Systems. No entanto pode assumir outras designações como EIFS (External Insulation and Finish System) nos Estados Unidos ou ainda Sistema Capotto em Itália. Segundo a ETAG 004 [9], ETICS designa os sistemas constituídos por isolamento térmico prefabricado aplicado sobre o suporte, sobre o qual se coloca um reboco armado, com uma ou mais camadas, revestida com um acabamento plástico espesso. A resistência térmica deste sistema deverá ser pelo menos $1\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. O isolamento térmico utilizado

neste sistema é o poliestireno expandido (EPS), podendo no entanto serem utilizados outro tipo de isolamentos térmicos, caso que não será tratado no presente trabalho.

Do ponto de vista teórico, os resultados obtidos com o sistema ETICS são muito satisfatórios com melhorias ao nível estético, durabilidade, impermeabilização e comportamento térmico – aumentando a resistência térmica com o conseqüente aumento do conforto e da poupança de energia. Além disso, o risco de fissuração é baixo e o sistema possui uma pequena capacidade de suportar descontinuidades e movimentos do suporte.

Os riscos de condensação prolongada no seio do isolante poliestireno expandido são muito reduzidos, por ser baixa a permeabilidade ao vapor deste material e porque o revestimento possui elevada permeância ao vapor de água.

3.2. CONSTITUIÇÃO DO SISTEMA

3.2.1. INTRODUÇÃO

O sistema compreende diversas camadas, que se apresentam nas figuras seguintes (figuras 3.1. e 3.2.), cujas características serão analisadas de seguida:

- Suporte (ver 3.2.2.);
- Cola (ver 3.2.3.);
- Isolamento térmico (ver 3.2.4.);
- Camada de base (ver 3.2.5.);
- Rede de fibra de vidro (ver 3.2.6.);
- Camada de acabamento (ver 3.2.7.);
- Acessórios (ver 3.2.8.).

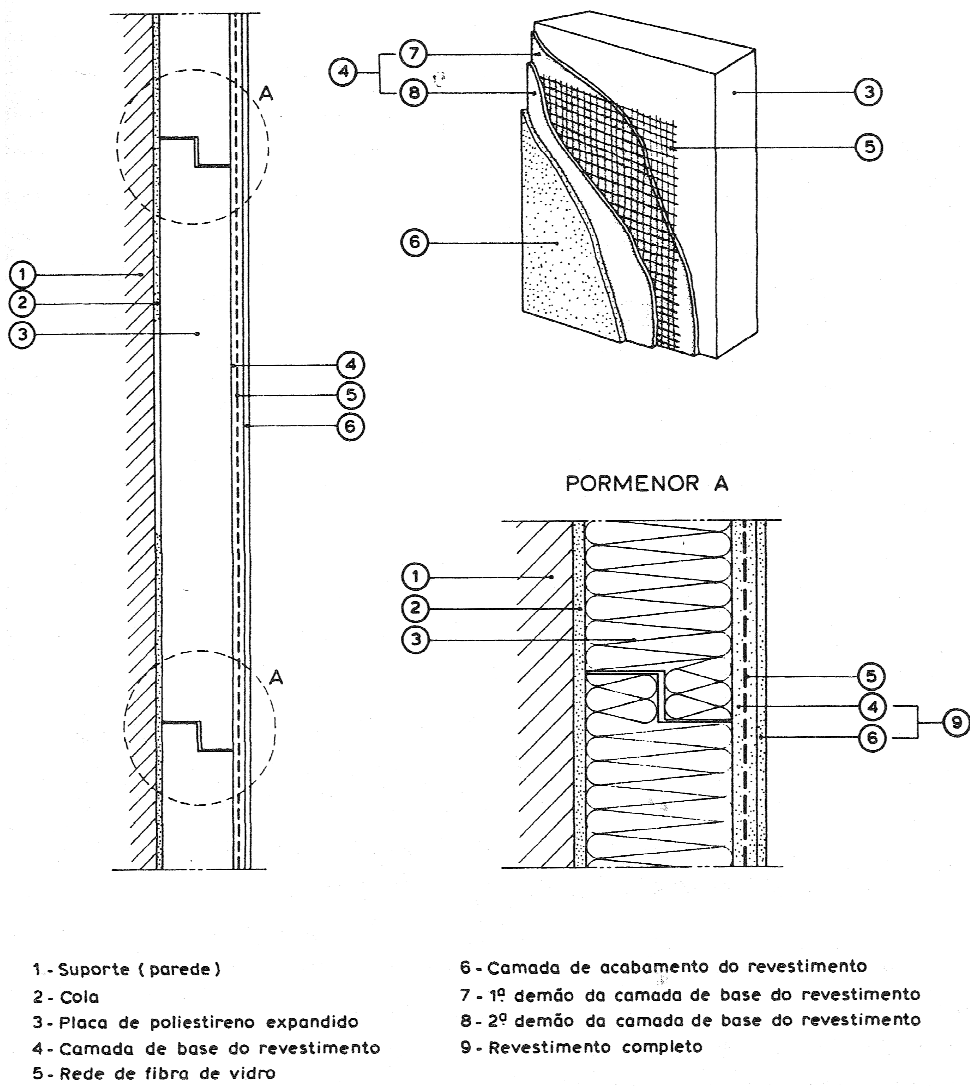


Fig. 3.1 – Sistema de isolamento térmico pelo exterior de fachadas – sistema ETICS

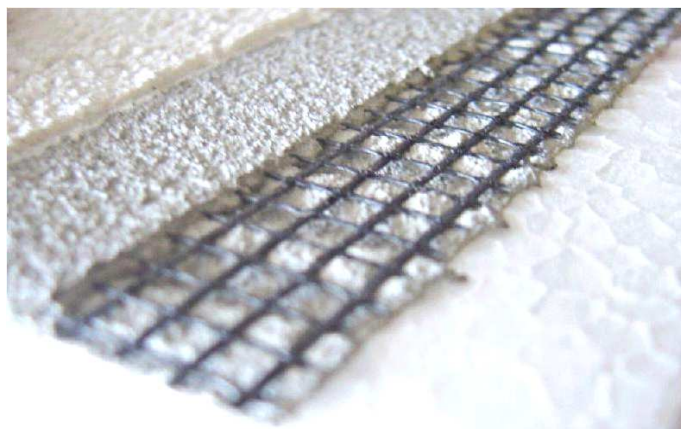


Fig. 3.2 – Ilustração da solução corrente do sistema ETICS

3.2.2. SUPORTE

O suporte condiciona a vida útil do sistema ETICS. A sua espessura pode variar entre 15 cm (betão) a 22 cm (alvenaria). O sistema destina-se a ser aplicado em paredes planas verticais exteriores de edifícios, e também em superfícies horizontais ou inclinadas desde que não estejam expostas à precipitação.

Na construção nova, este tipo de sistema pode ser usado sobre paredes simples de alvenaria rebocada ou de betão, como alternativa à utilização de parede dupla com caixa-de-ar ou às soluções de paramento leve interior, ou ainda nos seguintes casos:

- Paredes de betão moldado “in situ” de inertes correntes ou leves;
- Paredes de painéis prefabricados de betão;
- Paredes de blocos de betão de inertes correntes ou de blocos de betões leves (betão de argila expandida, betão celular autoclavado), revistas ou não com revestimentos de ligantes hidráulicos;
- Revestimento de superfícies horizontais, em varandas, lintéis ou pavimentos sobre passagens abertas.

É também muito comum a sua utilização como técnica de reabilitação nas situações em que se torna necessário o aumento da resistência térmica ou da estanquidade da parede.

3.2.3. COLA

A camada de colagem é constituída por argamassas-colas constituídas por uma mistura de resinas sintéticas em dispersão aquosa com cargas minerais (sílica e calcite) e com cimento. A sua preparação pode ser efectuada por um dos seguintes processos:

- Amassadura com água de um produto em pó pré-doseado em fábrica, constituído por resina em pó, cimento, cargas e adjuvantes;
- Amassadura com uma dispersão aquosa de resina sintética de um produto em pó pré-doseado em fábrica, constituído por cimento, cargas e adjuvantes;
- Amassadura com cimento de um produto em pasta pré-doseado em fábrica, constituído por uma dispersão aquosa de uma resina sintética, cargas e adjuvantes.

É importante salientar que existem algumas variantes do tipo de colagem do sistema ao suporte, por exemplo, por colagem, por fixação mecânica ou por ambas simultaneamente. No presente estudo só se consideram os sistemas colados ao suporte.

A aplicação da cola não regulamentar pode provocar a queda geral do sistema. Uma das propriedades mais importantes é a sua elasticidade para absorver deslocamentos provocados por variações térmicas ou por deformações estruturais.

3.2.4. ISOLAMENTO TÉRMICO – PLACAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

A camada de isolamento térmico, pode ser constituída por diversos materiais, desde a cortiça a poliestireno extrudido. Com poliestireno extrudido devem ser acautelados eventuais danos decorrentes da baixa permeabilidade ao vapor de água das placas e da reduzida aderência (devida à falta de rugosidade das superfícies). O sistema em estudo a camada de isolamento térmico é em placas de poliestireno expandido, de espessura não inferior a 30 mm, com as características seguintes:

- A massa volúmica deve estar compreendida entre 14 kg/m^3 e 20 kg/m^3 (acima deste valor limite serão de reear variações dimensionais excessivas face ao aumento do módulo de elasticidade);
- A dimensão máxima das placas deve ser de 1,20 m (dá-se preferência a placas com bordo lateral macho-fêmea ou meia-madeira para assegurar uma melhor continuidade do sistema).

O EPS aplicado no ETICS é da classe ao fogo M1, e é ainda auto-extinguível, ou seja, consome-se sem provocar chama devido a um inibidor de combustão adicionado à sua composição.

O nível mínimo de aptidão de utilização do isolamento deverá ser $I_2S_4O_3L_4E_2$, satisfazendo as especificações do documento “*Polystyrène expansé moulé certifié ACERMI - Spécifications particulières à l'emploi comme support d'enduit mince (PSE collé et fixe mécaniquement)*”.

3.2.5. CAMADA DE BASE

Em relação à camada de base, normalmente é constituída por uma argamassa sintética semelhante à camada de colagem com espessura entre 2 mm e 5 mm. Deve-se utilizar percentagens de cimento reduzidas na pasta (25 a 30%) para aumentar sua a durabilidade. A redução das percentagens de cimento na pasta permite:

- Reduzir o ataque à rede de fibra de vidro devido ao ambiente alcalino;
- Prevenir humidades elevadas na camada de base;
- Prevenir o aumento de rigidez e a perda de flexibilidade à medida que o cimento hidrata;
- Prevenir o aumento de permeabilidade.

A camada de base deverá ter boas características de aderência ao isolante e a sua espessura deve ser a necessária para embeber totalmente a armadura, quer seja normal ou reforçada, e assegurar a maior parte das funções do revestimento. A espessura mínima admissível é de 2 mm, após secagem, caso contrário poderá assistir-se ao envelhecimento prematuro dos outros materiais do sistema.

3.2.6. REDE DE FIBRA DE VIDRO

A armadura do revestimento é uma rede de fibra de vidro de malha quadrada, revestida com PVC ou resina acrílica, ou ainda malha de polipropileno, com garantia de total imunidade à humidade e ao álcalis. Destina-se a restringir as variações dimensionais da camada de base do sistema, a melhorar a resistência aos choques do sistema e a assegurar a resistência à fissuração do revestimento sobre as juntas entre placas do isolante. A abertura da malha deverá ser suficientemente pequena para que apresente a resistência à tracção exigida, mas também suficientemente grande para permitir uma boa aderência ao material de revestimento, adoptando-se em geral aberturas de 3 mm a 5 mm. Nas zonas de reforço (junto ao solo e em zonas acessíveis) deverá ser usada rede dupla ou malha reforçada de acordo com as indicações do sistema. As armaduras normais deverão apresentar uma resistência à tracção superior a 25 N/mm de largura de faixa. As armaduras submetidas à humidade e ao ataque alcalino perdem uma percentagem da resistência à tracção e do alongamento na rotura inicial, interessando que em obra sejam adequadamente protegidas da água pelo revestimento, implicando uma boa cobertura e a ausência de fissuração.

A rede não deve estar muito próxima da camada de base, recomendando-se que esteja embebida na camada de base cerca de 0,4 mm, para que a sua protecção seja efectiva. A densidade da rede de fibra de vidro utilizado no sistema é 150 g/m^2 .

Resumindo, os factores que afectam a tensão resistente da rede de fibra de vidro, influenciando a durabilidade do sistema são:

- Elevadas percentagens de cimento na camada de base;
- Aplicação de camadas de base muito finas;
- Mau posicionamento da rede;
- Elevada exposição a ambiente alcalino.

Existem dois tipos de rede de fibra de vidro, isto para dotar o sistema de maior resistência aos choques: rede de fibra de vidro normal tecida e reforçada tecida (figura 3.3).

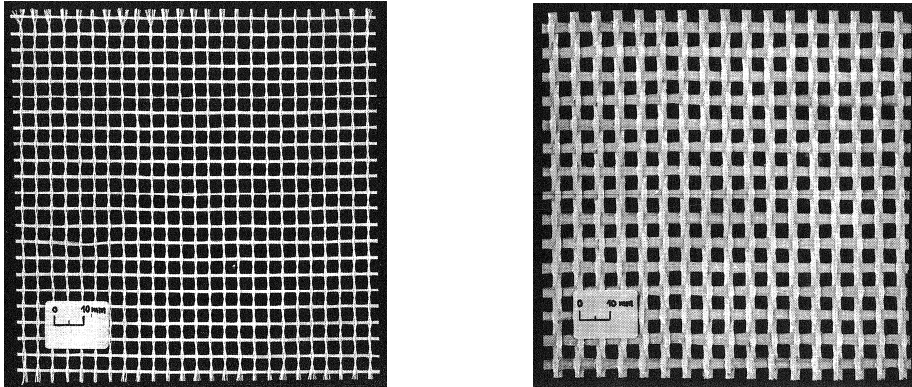


Fig. 3.3 – Rede de fibra de vidro normal tecida (esq.) e rede de fibra de vidro reforçada tecida (dir.) [2]

3.2.7. CAMADA DE ACABAMENTO

A última camada do sistema é a camada de acabamento. É um revestimento delgado de massas plásticas para paredes, constituído por resinas em dispersão aquosa, cargas minerais, pigmentos e adjuvantes diversos. A espessura total sobre o isolante não deve exceder 7 mm. O acabamento é ligeiramente texturado, brilho mate, sem qualquer projecção adicional de grânulos minerais (tipo marmorite). É esta camada que confere o aspecto final ao sistema, através da sua cor e do seu relevo de superfície.

Como será referido em seguida, não deverão ser utilizados materiais cujo coeficiente da absorção da radiação solar, α_s , seja superior a 0,7, excepto se as fachadas estiverem protegidas da radiação.

A camada de acabamento deverá conservar o seu aspecto (cor) resistindo à acção dos raios ultravioleta, deverá apresentar boa flexibilidade e durabilidade, resistindo à penetração da água. É importante salientar que para o bom funcionamento do sistema, a camada de acabamento deverá ser impermeável à água mas permeável ao vapor de água, para fazer “respirar o sistema”.

Esta última camada do sistema está exposta ao ataque de fungos e algas, porque alguns dos produtos utilizados no seu fabrico actuam como nutrientes ao crescimento de microrganismos. Para evitar tal situação é necessário, em fase de projecto, estudar as escorrências das águas da chuva na parede e sobretudo aplicar um fungicida e um algicida após a execução desta camada, para que esta situação seja acautelada.

3.2.8. ACESSÓRIOS

O sistema ETICS necessita de alguns acessórios para a sua protecção, para a execução das ligações com outros elementos das construções e para a resolução das soluções de continuidade (figuras 3.4 a 3.10), entre eles:

- Perfis de reforço: cantoneiras para a protecção dos topos superiores, inferiores ou laterais do sistema. São em geral de alumínio anodizado ou pré-lacado ou mais raramente de aço inox;
- Elementos de recobrimento: peças de capeamento, rufos, perfis de peitoris, peças para beirais ou beirados, etc. São de alumínio, aço inoxidável ou zinco;
- Elementos para juntas: mástiques plásticos (acrílicos ou butílicos), perfis de delimitação de juntas, perfis de cobre-juntas e perfis de fundo de junta. Com a previsão de juntas elásticas nas confinações do sistema com saliências rígidas das paredes e com outros pontos singulares (varandas, enquadramento de vãos, etc.), minimizam-se as consequências das variações dimensionais diferenciais entre o sistema e o suporte.

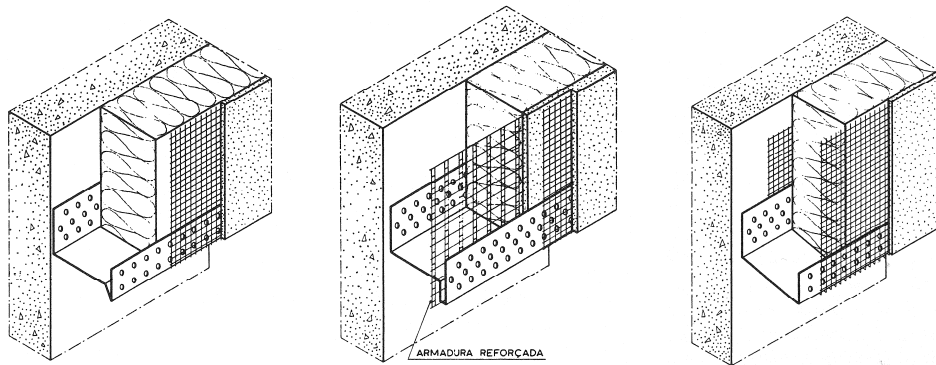


Fig. 3.4 – Perfis de protecção das extremidades inferiores (com lacrimal para armadura normal, com lacrimal para armadura reforçada e sem lacrimal com envolvimento pela armadura) [2]

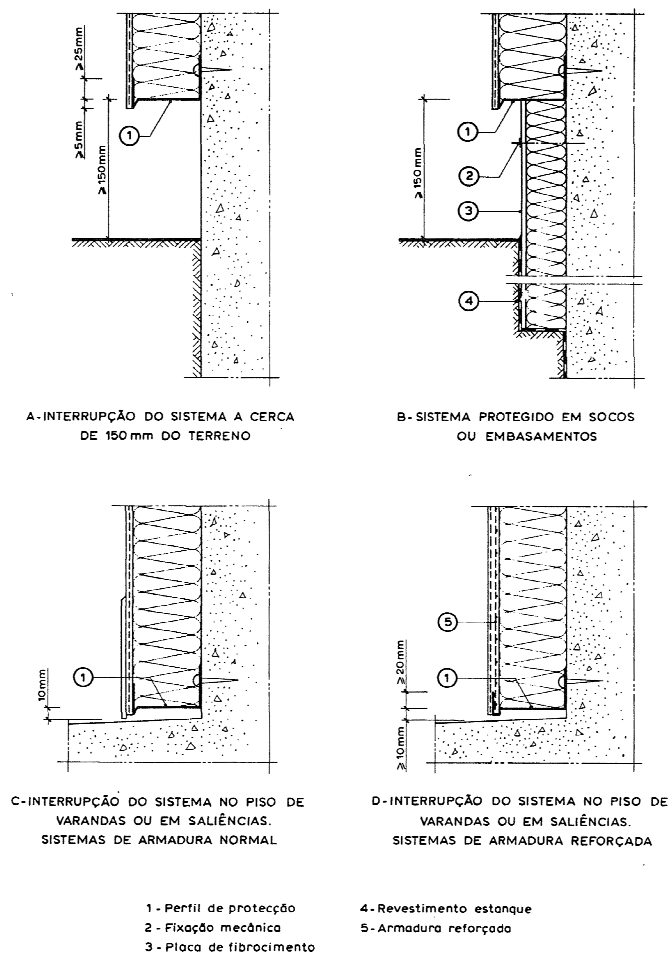


Fig. 3.5 – Perfis de protecção das extremidades inferiores [2]

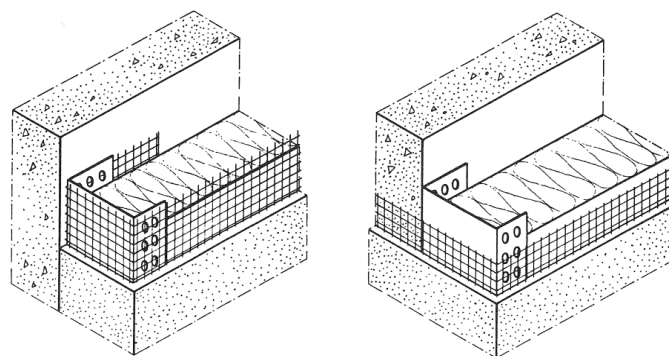


Fig. 3.6 – Perfis de protecção das extremidades laterais [2]

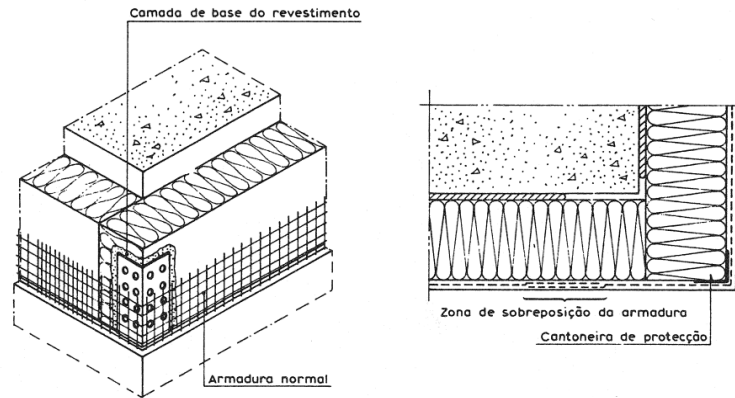


Fig. 3.7 – Perfis de protecção das arestas verticais [2]

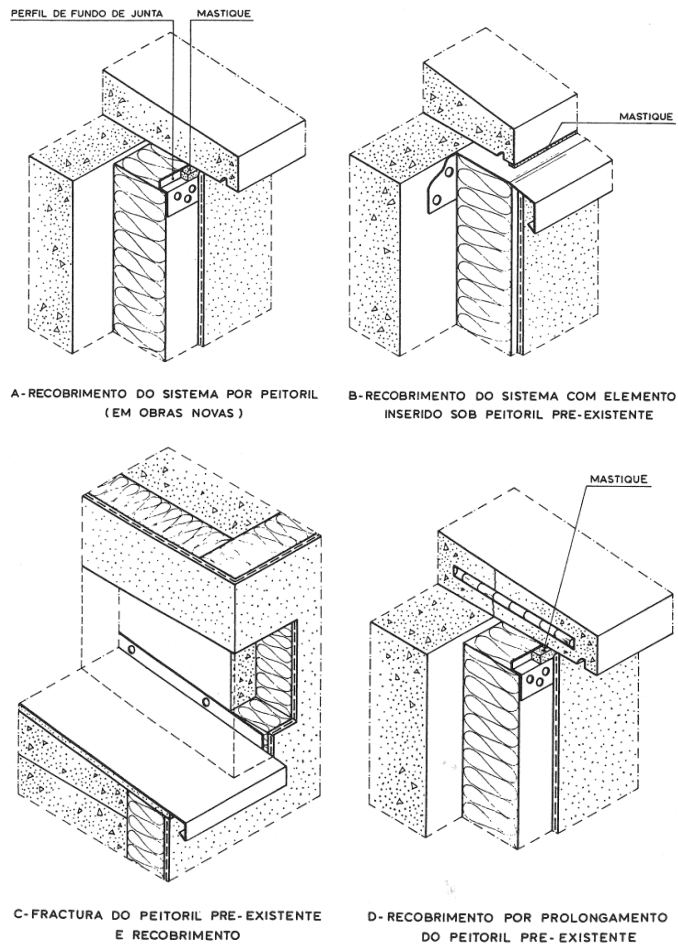


Fig. 3.8 – Elementos de recobrimento ao nível dos peitoris [2]

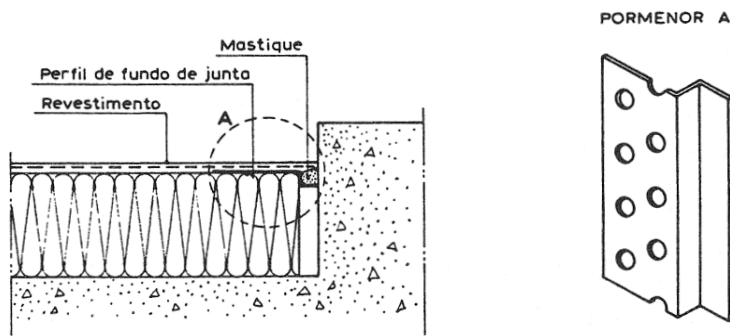


Fig. 3.9 – Junta dessolidarizante do sistema relativamente a um elemento saliente rígido da construção [2]

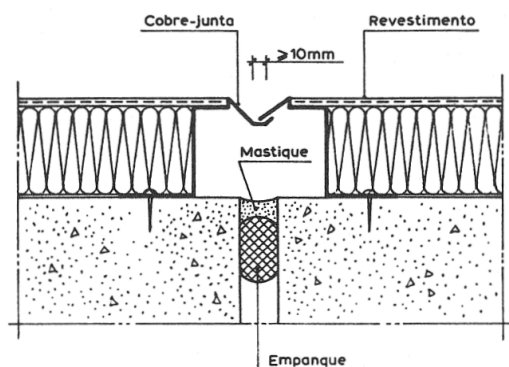


Fig. 3.10 – Perfil de cobre – junta [2]

3.3. APLICAÇÃO DO SISTEMA ETICS

3.3.1. ANÁLISE E TRATAMENTO DO SUPORTE

O sistema ETICS é muito sensível às operações inerentes à sua aplicação. É fundamental para a sua durabilidade que a aplicação seja realizada por pessoal qualificado que esteja consciente das particularidades do sistema. A sensibilidade deste sistema deve-se também ao facto de ser necessário preparar materiais em obra.

A aplicação do sistema por colagem exige que os suportes apresentem uma superfície plana, sem irregularidades significativas ou desníveis superiores a 1 cm sob uma régua de 20 cm.

Na aplicação do sistema em edifícios novos é necessário atender ao seguinte:

- A superfície da fachada não deverá apresentar poeiras;
- O suporte não deverá estar molhado (prevenir se o teor de humidade do suporte é compatível com o sistema – período de secagem mínimo de 45 dias para os suportes em betão e 30 dias para as alvenarias);
- Em paredes de betão, se o produto de descofragem utilizado não for compatível com a cola, a superfície deverá ser decapada;
- Se for necessário regularizar a superfície do suporte, deverá ser utilizado um reboco compatível com a cola do sistema.

Quando se trate de operações de reabilitação de fachadas deverá atender-se às seguintes recomendações:

- O suporte tem que estar estável;
- As fissuras existentes deverão ser tratadas;
- Os suportes em betão que apresentem fenómenos de corrosão das armaduras, deverão ser tratados com produtos compatíveis com a cola;
- Os suportes nos quais tenha sido aplicado um produto hidrófugo de impregnação, deverão ser lavados com vapor ou jacto de água;
- Todas as pinturas ou revestimentos orgânicos existentes devem ser removidos por decapagem. Em função do produtos a eliminar poderá ser utilizada a decapagem química, térmica, mecânica, com jacto de areia ou de água. Deverá ser executada em toda a superfície;
- Em suportes revestidos com elementos cerâmicos só é possível a aplicação do sistema desde que estes apresentem aderência adequada.

3.3.2. APLICAÇÃO DO SISTEMA

A aplicação do sistema não deve ser realizada, de modo nenhum, quando se verificarem as seguintes condições:

- Períodos de chuva;
- Temperaturas inferiores a 5 °C;
- Em superfícies expostas ao sol durante o Verão ou sujeitas a vento forte.

A utilização de andaimes cobertos com toldos permite proteger os trabalhos de alguns destes factores.

Para uma correcta aplicação do sistema deverá estar assegurada, em primeiro lugar, a segurança dos operários. Devem ser utilizados apenas andaimes de plataforma fixa ou móvel, e não andaimes suspensos. Após a montagem dos andaimes e da devida preparação do suporte, poderá ser iniciada a montagem dos perfis de arranque do sistema. Estes são colocados horizontalmente no limite inferior do suporte a revestir.

Na preparação da cola deverão ser rigorosamente respeitadas as dosagens definidas pelo fabricante. A cola deve ser aplicada sobre a placa de isolamento, excepto se tiver sido realizada uma decapagem parcial do suporte, e não deverá ser utilizada para preencher as juntas entre as placas de isolamento (figura 3.11).

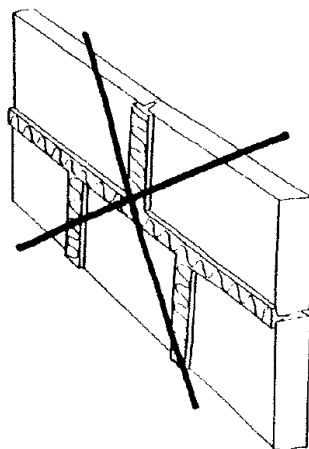


Fig. 3.11 – Erro de aplicação da cola entre as placas de isolamento térmico

A distribuição da cola sobre as placas de isolamento (figura 3.12) poderá ser realizada do seguinte modo:

- Colagem parcial por pontos – 16 pontos por m² (8 a 10 numa placa de 0,5 * 1,0 m);
- Colagem parcial por bandas – as bandas não deverão ser perfeitamente contínuas;
- Colagem contínua com espátula dentada – deverá ser deixada uma faixa com cerca de 2 cm de largura no contorno da placa, para evitar que a cola preencha as juntas entre as placas.

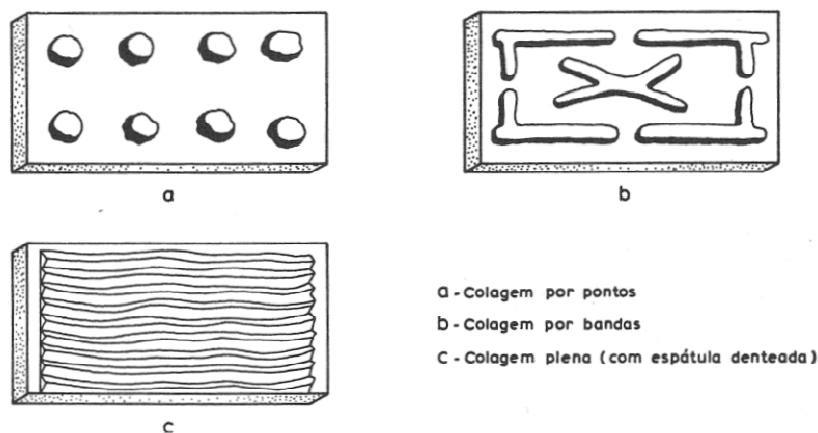


Fig. 3.12 – Soluções possíveis para aplicação da cola no verso das placas [2]

Nos métodos de colagem parcial, a cola deverá ser aplicada, no mínimo em 20 % da superfície da placa de isolamento. A colagem contínua é aconselhada para suportes com superfície regular, por outro lado, para suporte que apresentem irregularidades inferiores a 1 cm) deverá ser utilizada a colagem parcial.

A colagem das placas de isolamento térmico não deve ser realizada durante períodos de chuva ou neve, nem quando a temperatura ambiente for inferior a 5 °C. Deverá ter-se especial atenção com a protecção da parte superior do sistema, de modo a evitar a infiltração de água entre o suporte e o isolamento térmico. Por outro lado, o sistema não deverá ser aplicado em superfícies expostas ao sol, nem sujeitas a ventos fortes.

As placas de isolamento são colocadas topo a topo, em fiadas horizontais, com juntas desencontradas. Não deverá haver coincidência entre as discontinuidades do suporte e as juntas das placas. Não deverão existir desníveis entre placas contíguas (figura 3.13).



Fig. 3.13 – Colocação das placas de isolamento térmico

Um dos pontos fracos do sistema é a sua baixa resistência aos choques por isso é necessário reforçar com armadura os pontos mais débeis do sistema. Por exemplo, deve ser reforçadas as zonas do contorno dos vãos da fachada, com aplicação de faixas de armadura com $0,2 * 0,35$ m, coladas sobre as placas de isolamento (figura 3.14).

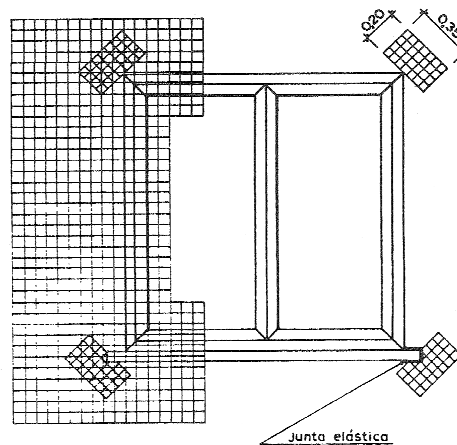


Fig. 3.14 – Armadura no enfiamento dos ângulos dos vãos [2]

Após a colagem das placas e dos elementos de reforço nos pontos singulares, a superfície do isolamento térmico é revestida com a primeira demão da camada de base. A armadura normal é aplicada sobre esta camada ainda fresca. Nas emendas de armadura deverá existir uma sobreposição da mesma de cerca de 10 cm (nunca inferior a 5 cm) (figura 3.15). A armadura deverá envolver as arestas onde existam cantoneiras de reforço. A armadura nunca deve ser aplicada directamente sobre as placas de isolamento.

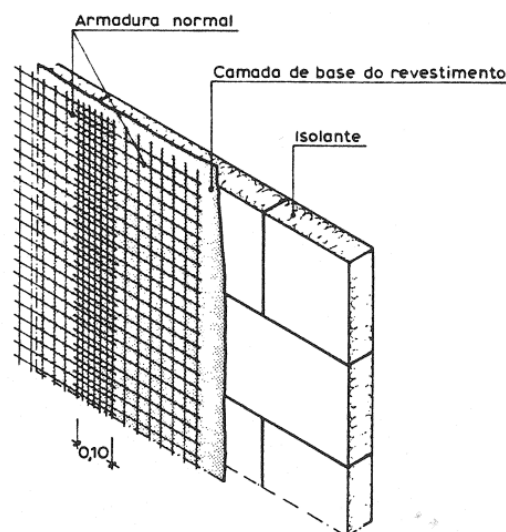


Fig. 3.15 – Sobreposição dos bordos de faixas contíguas de armadura [2]

Após a secagem da primeira demão da camada de base, é aplicada a segunda demão de modo a envolver completamente a armadura, como mostra a figura seguinte (figura 3.16).



Fig. 3.16 – Aplicação da segunda demão da camada de base

Finalmente, a camada de acabamento é aplicada sobre a camada de base armada. É esta camada que vai dar o aspecto final ao sistema.

O sistema deverá ser interrompido nas juntas de dilatação do edifício.

3.4. SELECÇÃO EXIGENCIAL

3.4.1. PERSPECTIVA EXIGENCIAL NA ELABORAÇÃO DE CADERNOS DE ENCARGOS

Graças à evolução tecnológica que impulsiona a indústria da construção civil, vão surgindo novas gamas de produtos, nomeadamente, materiais e sistemas de isolamento térmico, criando condições para uma normalização de dimensões, geometria e exigências. No entanto, esta evolução raramente é acompanhada de um adequado estudo científico que evidencie a análise das suas características correspondentes às exigências funcionais que devem desempenhar de forma a darem resposta às necessidades humanas. Deste modo, as construções, com a introdução desses sistemas, passam a apresentar graves deficiências ao nível, por exemplo, da estanquidade à água, do isolamento térmico e acústico, da estabilidade mecânica, da segurança dos utilizadores e de higiene.

A satisfação das exigências deve ser tomada no seu contexto mais amplo, o do “utente”, considerando-se não apenas o ser humano, mas também a mercadoria, o equipamento, etc. As exigências dependerão naturalmente do tipo de utente, não esquecendo que para o mesmo utente, dependerão das suas necessidades no exercício de diversas funções.

A evolução tecnológica dos materiais de construção foi acompanhada e impulsionada pelas crescentes exigências do homem, e a pela necessidade de economia de energia e de recursos naturais. Deste modo é imperiosa a existência de documentos normalizadores e orientadores para a nova realidade da construção, e que os cadernos de encargos passem a ser formulados com cariz exigencial e não prescritivo, como até aqui se tem vindo a verificar com elevada frequência.

Na construção tradicional a escolha dos materiais e das tecnologias de construção era validada pela experiência, o que levava à elaboração de Cadernos de Encargos prescritivos. Actualmente, na construção, isso já não se verifica, devido sobretudo à industrialização e à diversidade de materiais e sistemas construtivos. Este facto exige uma selecção das soluções, de forma a que garantam um determinado desempenho e evidenciem a aptidão dos sistemas para satisfazer um conjunto de exigências, definidas em normas, regulamentos e especificações técnicas [6].

A selecção exigencial dos elementos de construção pressupõe três fases distintas:

- Definição das exigências a satisfazer pelo elemento de construção;
- Quantificação do desempenho da solução proposta através de ensaios, medições e/ou simulação e a sua comparação com as exigências;
- Compatibilização das múltiplas exigências, em função das tecnologias disponíveis, acompanhada da elaboração de pormenores construtivos.

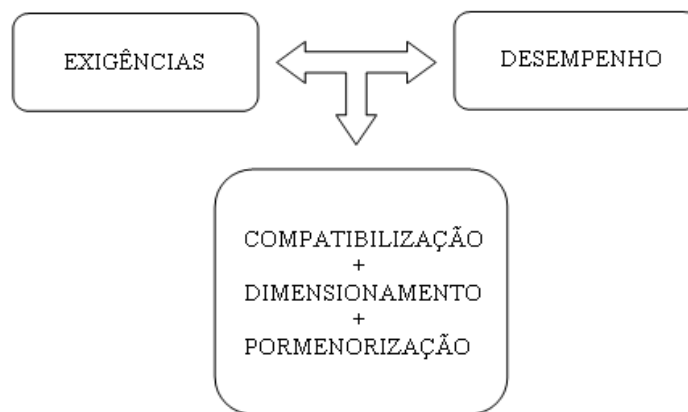


Fig.3.17 – Metodologia para a selecção exigencial [6]

No presente capítulo procuram-se definir as exigências a satisfazer pelos sistemas de isolamento térmico pelo exterior (ETICS), assim como os parâmetros e características que é necessário avaliar com vista ao dimensionamento dos diferentes componentes do sistema. Depois de definidas as propriedades pretendidas para o sistema, caberá ao mercado verificar a adequabilidade dos seus produtos.

Este tipo de abordagem conduzirá, forçosamente, a uma melhoria da qualidade de construção e a uma responsabilização de todos os intervenientes no sector.

3.5. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS DO SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR - ETICS

3.5.1. ASPECTOS GERAIS

As exigências funcionais dos sistemas de isolamento térmico aplicados pelo exterior de fachadas do tipo ETICS são indissociáveis das exigências funcionais das paredes que lhes servem de suporte. Assim, as funções atribuíveis ao conjunto sistema suporte/sistema de isolamento térmico podem ser

desempenhadas através de maior ou menor preponderância de cada um desses elementos. Apesar dessa constatação, existem determinadas funções que competem essencialmente, ou mesmo exclusivamente, a um desses componentes. Podem ser referidos neste caso, por exemplo, as exigências de resistência e de estabilidade estrutural cuja satisfação competirá ao suporte. Por outro lado, a satisfação de exigências de isolamento térmico, de resistência aos choques, de conforto visual e táctil, de regularidade superficial ou de higiene é, geralmente, da exclusiva responsabilidade do sistema de isolamento térmico. Para o conjunto sistema suporte/sistema de isolamento térmico impõem-se, por exemplo, a satisfação das exigências de conforto térmico e acústico, de estanquidade à água e de durabilidade.

Aos sistemas de isolamento térmico aplicados pelo exterior de fachadas do tipo ETICS não contribuem para a estabilidade da fachada, nem participam na resistência que esta deve ter contra as intrusões. No entanto, exige-se que proporcionem à parede resistência térmica, que se mantenham limpos ou, pelo menos, facilitem a sua limpeza, que sejam mecanicamente estáveis, que confirmem à parede de suporte características aceitáveis de planeza, verticalidade e regularidade superficial, que protejam a parede de suporte das acções dos diversos agentes agressivos – água da chuva, choques, produtos químicos presentes no ar, poeiras, etc. – resistindo eles próprios a esses agentes e que contribuam para a estanquidade à água da parede de suporte.

3.5.2. DIRECTIVA EUROPEIA 89/106/CE

Para responder aos entraves existentes à comercialização de produtos de construção na União Europeia, fruto das disparidades que se verificam entre as normas nacionais, aprovações técnicas e outras especificações e disposições técnicas dos diversos Estados-membros, surgiu a Directiva dos Produtos de Construção 89/106/CE.

Esta directiva define o seguinte: os produtos de construção só deverão ser comercializados “se apresentarem características tais que as obras em que sejam incorporados, montados, aplicados ou instalados, se tiverem sido convenientemente planeadas e realizadas, possam satisfazer os requisitos essenciais”.

Os requisitos essenciais são:

- ER1 – Resistência mecânica e estabilidade;
- ER2 – Segurança contra incêndios;
- ER3 – Higiene, Saúde e Ambiente;
- ER4 – Segurança na utilização;
- ER5 – Protecção contra o ruído;
- ER6 – Economia de energia e retenção de calor.

Para além destes requisitos essenciais existem ainda outras exigências que devem ser equacionadas na concepção e projecto de sistemas de isolamento térmico pelo exterior, nomeadamente exigências de durabilidade, compatibilidade com o suporte, de conforto visual e táctil, e de adaptação à utilização normal.

A organização europeia para aprovações técnicas – EOTA – para responder a esta directiva elaborou directrizes europeias para a aprovação técnica de um produto ou famílias de produtos – ETAG. As exigências de desempenho aplicáveis ao sistema ETICS são abordadas num destes documentos, o ETAG 004 [9].

De seguida, procura-se definir quais os parâmetros que importa caracterizar nos diferentes componentes do sistema com vista ao cumprimento de tais exigências e requisitos essenciais.

3.5.3. RESISTÊNCIA MECÂNICA E ESTABILIDADE – ER1

De acordo com a Directiva Europeia dos Produtos da Construção, a resistência dos elementos que não se destinem a garantir a estabilidade estrutural dos edifícios, como é o caso dos ETICS, é analisada no âmbito do requisito essencial de segurança na utilização (ER4), que se descreve mais à frente, no ponto 3.5.6.

3.5.4. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS – ER2

As exigências de reacção ao fogo dos ETICS dependem da legislação, regulamentação e disposições administrativas aplicáveis ao edifício.

Em caso de incêndio as construções devem ser concebidas e construídas para que [6]:

- A estabilidade dos elementos estruturais se mantenha durante um determinado período de tempo;
- O aparecimento e propagação de fogo e de fumo no interior da construção sejam limitados;
- A propagação de fogo para as construções vizinhas seja limitada;
- Os ocupantes possam abandonar a construção em segurança, ou então a sua segurança seja garantida de outra forma;
- A segurança das equipas de salvamento seja tomada em consideração.

O sistema ETICS deve contribuir para minimizar o risco de deflagração e propagação do fogo e para garantir tempos de alarme, evacuação ou sobrevivência dos utentes. Não podem, de forma alguma, favorecer a propagação do fogo, nem proporcionar a desprendimento de gotas inflamadas.

O papel do sistema ETICS no respeito dos requisitos de segurança em caso de incêndio pode ser avaliado através da sua reacção ao fogo, que é um indicador do contributo dos seus materiais constituintes para a origem e desenvolvimento de incêndio.

A qualificação dos materiais de construção do ponto de vista da reacção ao fogo compreende as cinco classes numéricas a seguir indicadas:

- M0 – materiais não combustíveis;
- M1 – materiais não inflamáveis;
- M2 – materiais dificilmente inflamáveis;
- M3 – materiais moderadamente inflamáveis;
- M4 – materiais facilmente inflamáveis.

Existe, ainda, um sistema europeu de classes de reacção ao fogo, conhecidas por Euroclasses, que integra sete classes: A₁, A₂, B, C, D, E, F. Não é contudo possível estabelecer uma equivalência directa entre a classificação actual da legislação nacional e as Euroclasses.

A classe de reacção ao fogo do sistema ETICS depende do suporte em que se encontra aplicado, pelo que, para a avaliação desta exigência, o sistema deve estar aplicado nos suportes previstos para a sua utilização.

As classes mínimas de resistência ao fogo para os revestimentos exteriores de edifícios de habitação, que pode servir de medida comparativa para as restantes situações, são as seguintes como mostra o quadro 3.1 [7]:

Quadro 3.1 – Classes mínimas de resistência ao fogo para revestimentos exteriores

Parâmetros	Classes de resistência ao fogo				
	M0	M1	M2	M3	M4
Habitação unifamiliar				X	
h < 9m				X	
Habitação multifamiliar	9m < h < 28m		X		
	h > 28m*		X		

No entanto, o ITE 25 [8] defende, em relação à quantificação desta exigência, o seguinte:

Quadro 3.2 – Classes mínimas de resistência ao fogo para revestimentos exteriores

Parâmetros	Classes de resistência ao fogo				
	M0	M1	M2	M3	M4
Habitação unifamiliar	não existem edifícios vizinhos a menos de 4m				X
	situação corrente			X	
Habitação multifamiliar	h < 9m		X		
	9m < h < 28m		X		
	28m < h < 60m	X			

É importante referir que o isolamento térmico utilizado (EPS) deverá ter uma classificação M1 (material não inflamável).

3.5.5. HIGIENE, SAÚDE E AMBIENTE – ER3

3.5.5.1. Generalidades

Os edifícios não podem constituir um perigo para a higiene e saúde dos seus ocupantes, nem podem ser perigosos para o meio ambiente que os rodeia. Os trabalhos de construção não deverão libertar poluentes para o ambiente (ar, água e solo). A taxa de libertação de poluentes para o exterior, solo e água, dos materiais de construção usados no sistema, deverão respeitar a legislação, regulamentação e disposições administrativas aplicáveis ao local onde o sistema é aplicado.

O papel dos ETICS, como revestimento exterior das fachadas, no cumprimento deste requisito está essencialmente relacionado com:

- Resistência à humidade proveniente do exterior;
- Evitar condensações superficiais e internas;
- Resistência aos choques.

Estas exigências não se colocam apenas por razões de higiene, mas também por razões de conforto táctil e visual.

O sistema ETICS, em conjunto com o suporte, deve impedir que a humidade proveniente do solo e a precipitação penetrem na construção e se propague a outros elementos, causando graves patologias no sistema e no próprio suporte.

As condensações superficiais normalmente são reduzidas com a aplicação do sistema ETICS. Em relação às condensações internas, em condições normais de utilização, não se verificam. No entanto, nos casos em que exista grande produção de vapor no interior do edifício, deverão ser tomadas precauções adequadas.

O sistema deverá ser projectado para manter o seu desempenho após ter sido sujeito a impactos mecânicos (choques) provocados pela utilização normal e pela circulação de pessoas e equipamentos. Acidentes fortuitos ou causados deliberadamente, não deverão produzir no sistema qualquer dano ou alteração das propriedades. O sistema ETICS deverá também permitir o apoio de equipamentos de manutenção correntes, sem causar qualquer tipo de perfuração ou fissuração do reboco.

Para esta exigência essencial (ER3), o sistema e/ou cada um dos seus componentes deverão ser avaliadas as seguintes características:

- Absorção de água;
- Impermeabilidade à água;
- Permeabilidade ao vapor de água;
- Resistência ao choque;
- Características térmicas (analisadas no ER6 – Economia de energia e retenção de calor).

3.5.5.2. Estanquidade à água

A envolvente dos edifícios deverá constituir uma barreira estanque à água. Numa parede revestida com ETICS não deve haver penetração de água proveniente do exterior, de tal forma que esta não atinja os paramentos interiores ou eventuais camadas sensíveis à humidade. Deve impedir, também, o humedecimento exagerado e prolongado dos elementos construtivos, evitando assim a sua deterioração prematura e aumentando a sua durabilidade.

O sistema deve impedir a acumulação e permanência de água entre ele e o suporte, o que poderá originar seu deslocamento.

Por outro lado, o sistema deve ser suficientemente permeável ao vapor de água para não bloquear a passagem para o exterior do vapor de água produzido no interior dos edifícios, e para permitir que a água por ele absorvida ou que tenha atingido o suporte na sequência duma chuvada possa ser devolvida ao exterior sob a forma de vapor quando as condições atmosféricas forem favoráveis.

Resumindo, interessará que o sistema em estudo seja o mais impermeável possível à água e o mais permeável possível ao vapor de água. Esta situação ideal é difícil de alcançar [8].

Através do teste de capilaridade descrito em [9], a absorção de água após uma hora do sistema deve ser inferior a 1Kg/m^2 .

Para avaliar a impermeabilidade do sistema à água, é necessário realizar testes ao sistema de comportamento higrotérmico e comportamento gelo-degelo. Em relação ao primeiro, o sistema não deve apresentar os seguintes defeitos, durante e após o teste:

- Bolhas ou cascas no produto de acabamento final;
- Fissuras associadas a juntas entre placas de isolamento térmico;
- Descolamento do revestimento do sistema, incluindo a armadura;
- Fissuras permitindo a penetração de água para o isolamento térmico.

Em relação ao segundo, o sistema é avaliado como sendo resistente ao gelo-degelo se a absorção de água for menos de $0,5 \text{ kg/m}^2$, após 24 horas.

3.5.5.3. Resistência ao choque

Os elementos construtivos devem ser capazes de resistir aos choques correntes e excepcionais, como por exemplo a queda de pessoas ou objectos, provenientes do exterior ou do interior, sem pôr em risco a segurança das pessoas.

O sistema deve resistir aos choques acidentais não excepcionais, resultantes da ocupação normal (choques normais), podendo também contribuir para a resistência aos choques excepcionais dos elementos construtivos em que se inserem (suporte).

O comportamento perante acções de choque de corpos duros e pontiagudos – punçoamento dinâmico – é o ponto fraco destes sistemas, pelo que a sua avaliação do ponto de vista de resistência aos choques não pode ser feita apenas através de ensaios correntes.

Os ensaios de choque consistem no impacto de esferas de aço actuando normalmente ao plano do provete. O provete pode ser colocado na posição horizontal ou vertical. Na primeira situação, a acção do choque é exercida pela queda livre de uma esfera libertada, sem velocidade inicial, da altura de queda prevista no ensaio. Na segunda situação, a acção do choque é exercida por uma esfera, que descreve um movimento pendular, sem velocidade inicial, com o centro na vertical do ponto de impacto e um raio não inferior a 1,5 metros. O desnível entre o ponto de impacto e o ponto de libertação da esfera será igual à altura de queda prevista em cada ensaio (figura 3.18).

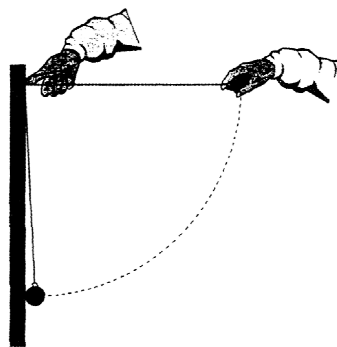


Fig.3.18 – Esquema de princípio de realização de ensaios de choque em paredes

As Directivas UEAtc [15] para a homologação destes sistemas impõem a realização dos seguintes ensaios:

- Choque de corpo duro de 10 J de energia;
- Choque de corpo duro de 3 J de energia;
- Ensaio de punçoamento dinâmico - Perfotest.

Os ensaios de choque de corpo duro devem ser realizados conforme descreve a norma ISO 7892: 1988, “Vertical building elements – Impact resistance tests – Impacte bodies and general test procedures”. Os pontos de impacto são seleccionados tendo em conta a heterogeneidade da parede.

O ensaio de Choque de corpo duro de 10 J é realizado com uma bola de aço de 1 kg, e de uma altura de 1,02 metros. O ensaio de Choque de corpo duro de 3 J é realizado com uma bola de aço de 0,500 kg, e de uma altura de 0,61 metros. O diâmetro do impacto é medido, e é registada a presença de fissuras na zona do impacto.

O ensaio realizado com o aparelho “Perfotest Baronnine”, permite executar acções de choque perfurantes (figuras 3.19 e 3.20). As acções de choque são materializadas por meio de punções cilíndricas ou hemisféricas de diferentes diâmetros, como mostra o quadro seguinte (quadro 3.3):

Quadro 3.3 – Características dos punções cilíndricos

Nº. do punção	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ø (mm)	4	6	8	10	12	15	20	25	30
A (mm)	10	10	15	15	15	15	15	15	15
B (m)	20	20	15	15	15	15	15	15	15

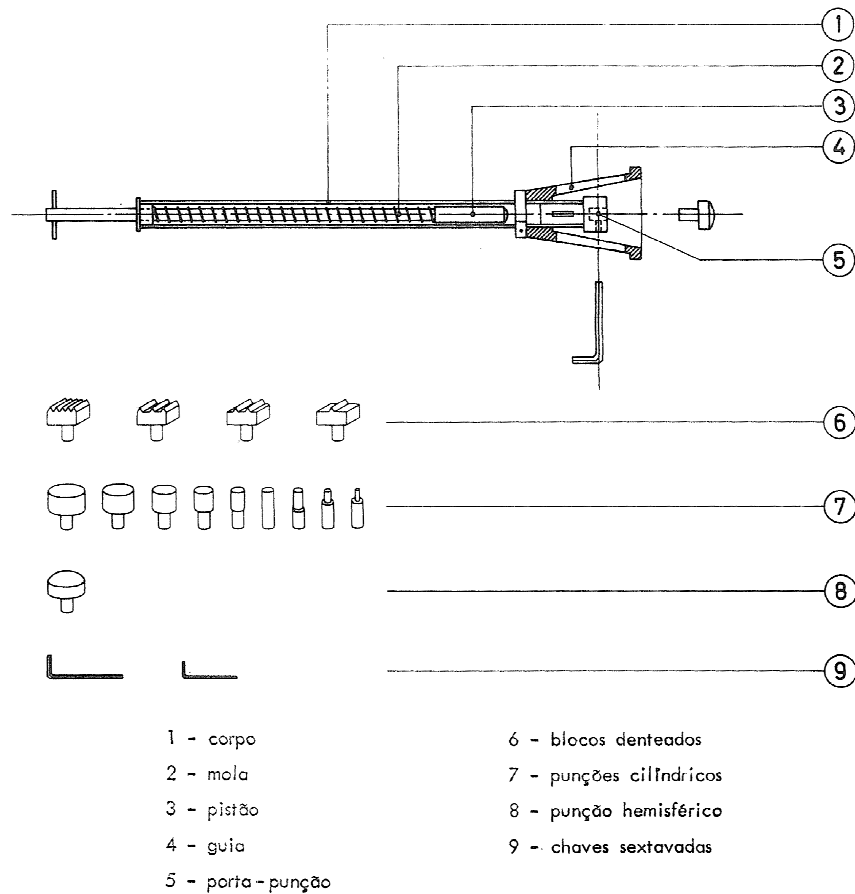


Fig.3.19 – Aparelho “Perfotest Baronnine” [15]

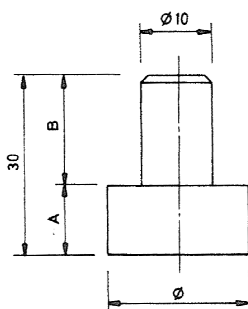


Fig.3.20 – Punções cilíndricas [15]

Foram adoptados três grupos correspondentes ao grau de exposição a que está sujeito o sistema. Esta definição não inclui os actos de vandalismo (quadro 3.4).

Quadro 3.4 – Definição das categorias de uso

Categoria	Descrição
I	Zonas ao nível do chão facilmente acessíveis e vulneráveis a impactos excepcionalmente severos
II	Zonas vulneráveis a impactos de objectos arremessados ou chutados, mas em locais onde a altura do edifício limita a extensão do impacto; ou em pisos inferiores onde o acesso ao edifício é principalmente para pessoas que têm algum cuidado.
III	Zonas não susceptíveis a serem danificadas por impactos normais, causados por pessoas ou por objectos arremessados ou chutados.

Com base no resultado dos ensaios de Choque de corpo duro de 10 J e 3 J, e do ensaio de punçoamento dinâmico – Perfotest – o sistema é classificado num dos grupos anteriores (quadro 3.5).

Quadro 3.5 – Classificação do sistema com base nos ensaios de resistência ao choque

Ensaio	Categoria I	Categoria II	Categoria III
Choque de corpo duro de 10 J	sistema não deteriorado ¹	revestimento do sistema não penetrado ²	-----
Choque de corpo duro de 3 J	sistema não deteriorado	revestimento do sistema não fissurado	revestimento do sistema não penetrado
Ensaio de punçoamento	sistema não	sistema não perfurado	sistema não perfurado

dinâmico - Perfotest	perfurado ³ pela punção de 6 mm	pela punção de 12 mm	pela punção de 20 mm
----------------------	---	----------------------	----------------------

- 1) Dano superficial; desde que não exista uma fissura é considerado não deteriorado.
- 2) O resultado do ensaio é avaliado como sendo “penetrou”, se a fissura causada pelo ensaio permita visualizar o material de isolamento térmico.
- 3) O resultado do ensaio é avaliado como sendo “perfurou”, se a destruição do revestimento mostrar o suporte, ao fim de 3 a 5 impactos.

3.5.6. SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO – ER4

3.5.6.1. Generalidades

Embora o sistema ETICS não tenha uma função estrutural, existem determinadas solicitações a que deverá resistir sem ruptura nem destacamento em relação ao suporte, nomeadamente:

- Peso próprio: o sistema deverá suportar-se a si próprio sem deformações prejudiciais;
- Solicitações higrótérmicas: resultantes das variações de temperatura e humidade;
- Acção do vento: o sistema deverá, com larga margem de segurança, apresentar resistência mecânica apropriada face às acções do vento (forças de pressão, sucção e vibração);
- Deformações impostas de carácter estrutural: movimentos normais da estrutura não deverão dar origem a qualquer tipo de fissura ou perda de adesão.

Os movimentos normais da construção, devidos a retracções, fluência e dilatações, não devem originar a fissuração ou o descolamento do sistema.

Na avaliação da capacidade resistente do sistema podem distinguir-se duas parcelas:

- A resistência do sistema, admitindo que a ligação ao suporte é estável;
- A resistência do sistema de fixação ao suporte (camada de base).

Esta avaliação pode ser efectuada por cálculo, quando existam modelos de simulação adequados, ou experimentalmente. No caso de uma análise experimental, os resultados obtidos deverão ser afectados de um factor de segurança de 2 a 5, de forma a ter em consideração os efeitos da fadiga dos materiais, as dispersões relativas aos produtos e à sua aplicação, e o envelhecimento dos materiais ao longo do tempo.

O julgamento deste sistema do ponto de vista da segurança na utilização será baseado em: ensaios de aderência da cola aos suportes, ensaios de aderência da cola ao isolamento térmico (EPS) e ensaios de aderência entre o isolamento térmico e o revestimento.

Estes ensaios estão descritos no ETAG 004, pelo que a sua descrição se mostra desnecessária no presente trabalho. No entanto, é importante referir os requisitos mínimos exigíveis ao sistema:

- As forças de ligação entre o produto de colagem e o substrato devem ser no mínimo iguais a 0,25 MPa, em ambiente seco;
- As forças de ligação entre o produto de colagem e o isolamento térmico (EPS) devem ser no mínimo iguais a 0,08 MPa;
- As forças de ligação entre a camada de base e o isolamento térmico (EPS) devem ser no mínimo iguais a 0,08 MPa.

3.5.6.2. Solicitações higrotérmicas

As variações de temperatura não devem destruir ou deformar o sistema ETICS. As directivas UEAtc para a homologação do sistema consideram, do ponto de vista de choques térmicos, que - 20°C e + 80°C são os extremos do domínio de variação de temperatura.

Existem também outras situações que não devem provocar degradações no sistema:

- Variação brusca de temperatura da ordem dos 50°C, provocada, por exemplo, por uma insolação prolongada, seguida de forte chuva;
- Diferença de temperatura, da mesma ordem de grandeza, entre zonas que num dado momento se encontrem sob acção directa dos raios solares e zonas que estejam à sombra, no mesmo edifício.

Estas solicitações podem provocar tensões ou deformações elevadas, consoante exista ou não restrição de movimentos incompatíveis com as propriedades dos materiais. A caracterização destas tensões e deformações é importante no dimensionamento do sistema, em particular na fixação do sistema ao suporte.

A superfície exterior do sistema, sujeita à radiação solar, apresenta uma temperatura superior à do ambiente, podendo atingir os valores definidos pela seguinte expressão (equação 2.)

$$t_{se} \cong t_e + \frac{\alpha_s \times R}{h_e} \quad (2.)$$

Em que:

t_{se} – temperatura da superfície exterior (°C)

t_e – temperatura do ambiente exterior (°C)

α_s – coeficiente de absorção da radiação solar (-)

R – Radiação solar global (W/m²)

h_e – condutância térmica superficial exterior (W/m².°C)

A temperatura do ambiente exterior (t_e) apresenta variações acentuadas durante o ano, como mostram as duas figuras seguintes (figuras 3.21 e 3.22).

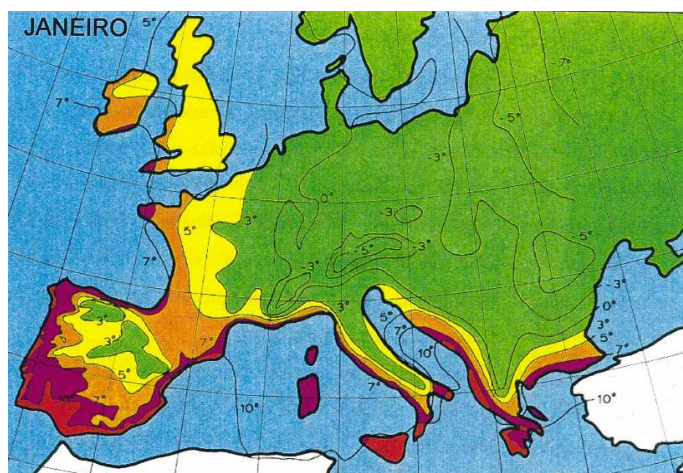


Fig.3.21 – Temperaturas médias diárias do ar na Europa, em Janeiro

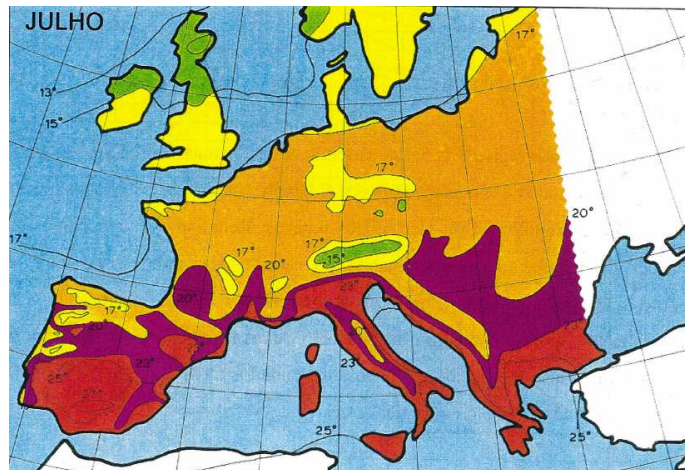


Fig.3.22 – Temperaturas médias diárias do ar na Europa, em Julho

De um modo geral pode considerar-se que $h_e = 25 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$, enquanto o valor de α_s é, sobretudo, condicionado pela cor do paramento. No quadro seguinte (quadro 3.6), apresentam-se alguns valores de α_s , em função da cor da superfície.

Quadro 3.6 – Valores do coeficiente de absorção da radiação solar – α_s – em função da cor

Cor da superfície	Valor de α_s
Branco	0,2 a 0,3
Amarelo, cor-de-laranja e vermelho claro	0,3 a 0,5
Vermelho escuro, verde-claro, azul claro	0,5 a 0,7
Castanho, verde-escuro, azul vivo, azul-escuro	0,7 a 0,9
Castanho-escuro e preto	0,9 a 1

Os valores de α_s próximos de zero significam que as superfícies praticamente não absorvem a radiação solar, enquanto os valores próximos da unidade significam que a superfície absorve grande parte da radiação incidente.

A intensidade da radiação solar global depende de diversos factores, entre eles:

- A latitude geográfica;
- A altitude do local;
- A estação do ano;
- A hora do dia;
- A orientação e inclinação da superfície que recebe a radiação;

- A poluição atmosférica;
- O ambiente circundante, nomeadamente o sombreamento que provoca sobre a superfície.

Em Portugal Continental, os valores máximos de radiação global incidente sobre as superfícies exteriores, em função da orientação, são os que se apresentam no quadro seguinte (quadro 3.7).

Quadro 3.7 – Valores máximos de radiação global incidente sobre superfícies exteriores, em Portugal Continental

Estações do ano	Radiação solar global máxima – R (W/m ²)						
	Orientação						
	N	E	SE	S	SO	O	H
Inverno	90	680	940	1050	920	670	750
Primavera/Outono	150	720	980	790	940	700	-
Verão	180	900	880	460	800	780	1100

Não deverão ser utilizados revestimentos cujo coeficiente da absorção da radiação solar, α_s , seja superior a 0,7, excepto se as fachadas estiverem protegidas quer da radiação directa, quer da difusa.

É normalmente considerado que a máxima temperatura superficial a que o sistema resiste é de 80 °C.

3.5.6.3. Acção do vento

Como foi dito anteriormente, o sistema deverá apresentar resistência mecânica apropriada face às acções do vento: forças de pressão, sucção e vibração.

Normalmente esta solicitação apenas se torna condicionante nos sistemas de isolamento térmico pelo exterior com lâmina de ar, como é o caso das fachadas ventiladas, uma vez que nos sistemas aderentes ao suporte – sistema ETICS – as tensões geradas são bastante inferiores à resistência dos produtos de colagem.

O RSA divide o território de Portugal Continental em duas zonas distintas como mostra a figura seguinte (figura 3.23):

- Zona A – a generalidade do território, com excepção das regiões pertencentes à zona B;
- Zona B – os arquipélagos dos Açores e da Madeira e as regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5 km de largura ou a altitudes superiores a 600 m.

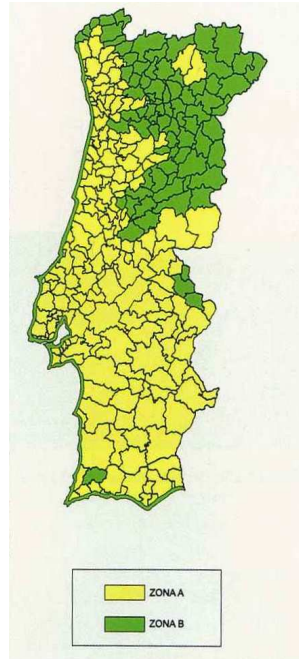


Fig.3.23 – Zonamento do território de Portugal Continental face à acção do vento, de acordo com o RSA [10]

3.5.7. PROTECÇÃO CONTRA O RUÍDO – ER5

A concepção e execução das construções deve ser realizada para que o ruído perceptível pelos ocupantes se mantenha em níveis tais que a sua saúde não seja afectada e que lhes permita dormir, repousar, e trabalhar em condições satisfatórias.

Para tal é necessário garantir [6]:

- Protecção do interior das construções contra o ruído proveniente do exterior;
- Protecção dos espaços interiores contra o ruído proveniente de outros espaços fechados;
- Protecção contra o ruído emitido por equipamentos;
- Protecção dos espaços contra o ruído resultante de reverberação excessiva (eco) dos próprios espaços;
- Protecção do ambiente contra o ruído emitido por fontes interiores da construção ou a ela associadas.

As exigências relativas à protecção contra o ruído não são consideradas, uma vez que estas deverão ser satisfeitas pelo conjunto sistema ETICS/suporte, incluindo janelas e outras aberturas.

3.5.8. ECONOMIA DE ENERGIA E RETENÇÃO DE CALOR – ER6

3.5.8.1. Isolamento térmico

Os edifícios devem ser concebidos de modo a que as condições de conforto térmico no seu interior possam ser asseguradas sem gastos excessivos de energia, atendendo às condições climáticas da zona de implantação. O contributo do sistema ETICS para este objectivo é crucial, assim como o contributo do próprio substrato (figura 3.24).

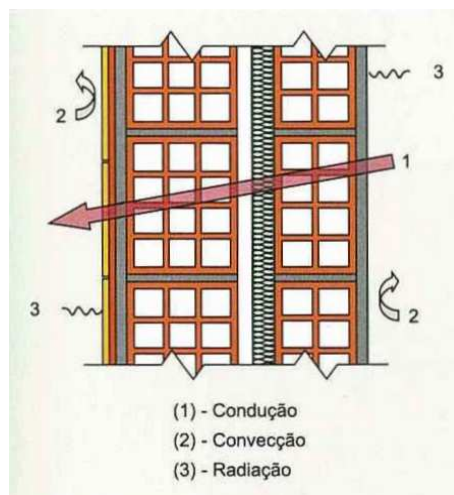


Fig.3.24 – Processos de transmissão de calor [6]

O RCCTE apresenta dois valores para o coeficiente de transmissão térmica que se devem ter em conta no projecto da envolvente opaca dos edifícios, que são os valores máximos admissíveis e os valores de referência (quadro 3.8). Os valores máximos têm por objectivo controlar as condensações superficiais, enquanto os valores de referência pretendem ser um indicativo sobre a qualidade mínima, do ponto de vista térmico da envolvente do edifício. Recomenda-se que no sistema ETICS, ou em qualquer outro elemento da envolvente opaca, a selecção do isolamento térmico seja efectuada em função do nível de qualidade pretendido.

Quadro 3.8 – Valores máximos e de referência do coeficiente de transmissão térmica das paredes da envolvente exterior, em função da zona climática

Coeficiente de transmissão térmica	Zona climática de Inverno		
	I1	I2	I3
Valor de referência – U_{ref} [W/m ² .°C]	0,70	0,60	0,50
Valor máximo admissível – $U_{máx}$ [W/m ² .°C]	1,80	1,60	1,45

Os ETICS melhoram o isolamento térmico e permitem reduzir as necessidades de aquecimento e arrefecimento dos edifícios. A resistência térmica dos ETICS deverá ser avaliada para que possa ser introduzida no cálculo térmico, exigido pela regulamentação nacional. No ETAG 004 é referido que o sistema deverá ter pelo menos uma resistência térmica de 1m²C/W.

A espessura do isolamento térmico, definida no dimensionamento térmico, é função do nível de qualidade pretendido, da zona climática onde está implantado o edifício, do tipo de parede de suporte e das espessuras disponíveis no mercado. Em situações extremas varia entre 0,04 m e 0,11 m. O isolamento térmico do sistema em estudo é o poliestireno expandido (EPS), que tem uma condutibilidade térmica (λ) de 0,04 W/m.°C.

A resistência térmica adicional fornecida pelo sistema ETICS ao substrato é calculada a partir da resistência térmica do material de isolamento térmico (EPS), como descrito nas seguintes normas:

- EN ISO 6946-1: Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method;

- pr EN 12524: Building materials and products – Energy related properties – Tabulated design values;
- EN ISO 10211-1: Thermal bridges in building – Heat flows and surface temperature – Part 1: General calculation methods.

Por outro lado, a resistência térmica do isolamento térmico é determinada de acordo com as seguintes normas:

- pr EN 12667: Building materials – Determination of the thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods – Products of high and medium thermal resistance;
- pr EN 12939: Building materials – Determination of the thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods – Thick products of high and medium thermal resistance.

3.5.8.2. Pontes térmicas

Uma ponte térmica é toda e qualquer zona da envolvente dos edifícios em que a resistência térmica é significativamente alterada. Essa alteração pode ser causada pela existência localizada de materiais de diferentes condutibilidades térmicas e/ou por uma modificação na geometria da envolvente, como é o caso das ligações entre diferentes elementos construtivos. A figura seguinte (figura 3.25) mostra alguns exemplos de pontes térmicas não tratadas:

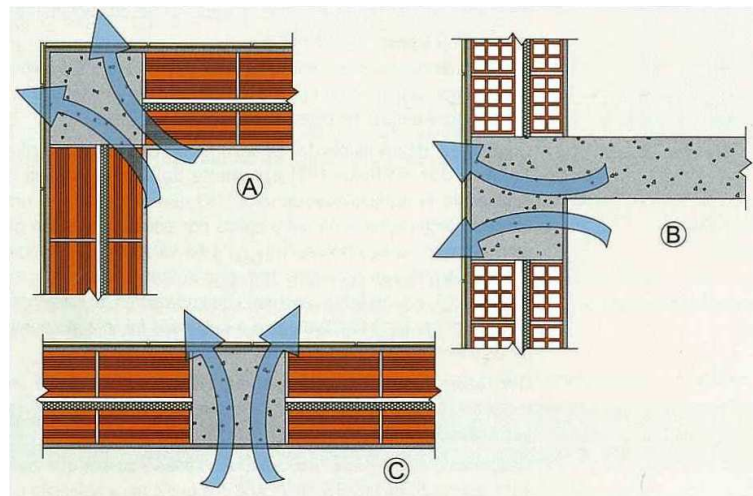


Fig.3.25 – Exemplos de pontes térmicas não tratadas

Como foi referido no capítulo 2, o sistema ETICS reduz eficazmente as pontes térmicas existentes na envolvente do edifício. O que evita de certa medida, as condensações superficiais interiores. Na avaliação dos riscos de condensações internas em elementos construtivos, destaca-se o método de Glaser que serve de base à metodologia da EN ISO 13788.

3.5.9. CONFORTO VISUAL E TÁCTIL

3.5.9.1. Exigências de conforto visual

As superfícies revestidas com o sistema ETICS devem ser agradáveis à vista. Para tal devem apresentar-se:

- Planas, com juntas e arestas rectas;
- Sem defeitos de superfície inaceitáveis, tais como fissuras, destacamentos, irregularidades excessivas, etc;
- Com homogeneidade de cor e brilho;
- Limpas e sem zonas de enodoamento preferencial.

O revestimento final do sistema não deve originar reflexões especulares da luz do sol que possam constituir causa de incómodo para os utentes de edifícios vizinhos. Não deve também, permitir a visualização das juntas entre placas do isolante, e deve apresentar textura regular e contínua, e coloração uniforme.

O aspecto do revestimento não deve ser alterado quando é humedecido, para que não se verifiquem grandes diferenças de tonalidade entre zonas do paramento, que num dado momento estejam a ser batidas pela chuva e outras que estejam abrigadas.

A conservação do aspecto inicial do sistema é directamente dependente da estabilidade das suas cores à luz e à água e da sua propensão ao enodoamento. A experiência mostra que os ETICS são em geral muito susceptíveis ao enodoamento.

Em relação às exigências de planeza, as paredes revestidas com este sistema devem apresentar planeza, isto é, ausência de ondulações. O paramento revestido apenas com as placas de isolante, sem que tenha sido aplicado o revestimento final, deve apresentar planeza compatível com a espessura deste. A planeza do sistema pode ser avaliada com um ensaio “in situ” com uma régua de 2 m de comprimento. Numa fachada plana a flecha máxima admissível sob uma régua de 2 m de comprimento para o sistema é 7 mm.

As superfícies devem ter limitações relativas a defeitos e largura de fendas. Estas não deverão atingir mais de 30% da área das superfícies e com uma largura máxima de 1 mm. Para este efeito pode utilizar-se a observação visual e o fissurómetro ou monitorização, caso se considere necessário.

Em relação à homogeneidade do enodoamento pela poeira, é importante salientar a importância de evitar a deposição de substâncias na superfície do sistema, por razões de higiene, mas também para que não ocorram manchas de forma diferencial. De facto, a heterogeneidade das temperaturas superficiais nos elementos construtivos, em particular os elementos da envolvente, pode originar a formação de zonas de fixação preferencial de poeiras nas partes mais frias, fenómeno designado por termoforese.

3.5.9.2. Exigências de conforto tátil

As superfícies revestidas com o sistema ETICS acessíveis aos utentes não devem ser pegajosas nem apresentar aspereza, arestas ou outras discontinuidades incómodas para os utentes.

A existência de paramentos excessivamente ásperos ou de superfície pegajosa é também indesejável do ponto de vista das exigências de higiene.

3.5.10. COMPATIBILIDADE COM O SUPORTE

3.5.10.1. Compatibilidade mecânica

As características mecânicas, nomeadamente o módulo de elasticidade e a resistência à tracção, do sistema e do suporte devem ser compatíveis para que não ocorra a degradação de um deles provocada por tensões que se instalem no outro. É o caso, por exemplo, de um suporte de baixa resistência mecânica que fissurará se o sistema de revestimento aplicado tiver elevada resistência.

3.5.10.2. Compatibilidade geométrica

A compatibilidade geométrica traduz-se na necessidade do suporte apresentar planeza e regularidade superficial adequadas à espessura e à técnica de aplicação do sistema. Atendendo a este factor, podem classificar-se os suportes em função dos desvios de planeza existentes, como se descreve no quadro seguinte (quadro 3.9).

Quadro 3.9 – Classificação do suporte em função dos desvios de planeza

Tipo de suporte	Desvio de planeza (mm)
I	<6
II	≥6 e <10
III	≥10

O desvio de planeza é medido com uma régua de 2 m de comprimento.

3.5.10.3. Compatibilidade química

A incompatibilidade química entre o sistema ETICS e o suporte pode originar expansões, empolamentos ou descolamentos do sistema. Um exemplo deste tipo de problemas verifica-se entre argamassas de cimento e produtos à base de gesso quando são colocados em contacto com de água. Normalmente, este aspecto não é preocupante nas situações correntes de aplicação do sistema ETICS.

3.5.11. DURABILIDADE

3.5.11.1. Introdução

A durabilidade de um sistema corresponde ao período de tempo durante o qual se mantêm inalteradas, em condições normais de uso e manutenção, as performances desse sistema. Os ETICS devem cumprir as exigências acima mencionadas face às solicitações a que estão correntemente submetidos durante o seu período de vida, sem sofrerem deterioração significativa, desde que sujeitos a manutenção adequada. É importante referir que o substrato pode influenciar a durabilidade do sistema.

A durabilidade de um produto não deve ser interpretada como uma garantia dos fabricantes, mas apenas como um instrumento para a escolha dos produtos mais adequados face à durabilidade economicamente razoável prevista para as construções. A EOTA apresenta uma classificação para a durabilidade dos produtos, em função da durabilidade das construções (ver capítulo 4).

Podemos dividir a análise da exigência de durabilidade em dois pontos: a durabilidade do sistema ETICS e a durabilidade dos seus componentes. Em relação à durabilidade do sistema ETICS, é importante salientar:

- Os ETICS devem ser estáveis às alterações de temperatura e humidade;

- As altas e as baixas temperaturas não devem exercer um efeito destrutivo ou uma deformação irreversível no sistema;
- Como foi dito anteriormente, as baixas temperaturas do ar, da ordem dos -20 °C, e as elevadas temperaturas do ar, + 50 °C, são geralmente considerados como os extremos de variação de temperatura. No entanto, no norte da Europa a temperatura pode descer até aos -40 °C;
- A radiação solar aumenta a temperatura da superfície dos ETICS. Esse aumento depende do fluxo de radiação e da absorção de energia da superfície (cor). É normalmente considerado, que a temperatura superficial máxima é de 80 °C;
- Uma mudança brusca na temperatura da superfície, da ordem dos 30 °C, não deve causar qualquer dano, por exemplo devido a uma súbita mudança provocada pela exposição prolongada à radiação solar seguida de uma forte chuvada;
- Além disso, deverão ser tomadas medidas para evitar a fissuração do sistema nas proximidades das juntas estruturais, e onde a fachada é constituída por materiais diferentes (ligação das janelas).

Todos os componentes do sistema cuja substituição, pela sua dificuldade, não se possa considerar do âmbito da manutenção normal, devem conservar as suas características iniciais de modo a que a qualidade do sistema permaneça garantida:

- Todos os componentes do sistema cuja substituição não possa ser considerada como manutenção devem possuir uma estabilidade físico-química, razoavelmente previsível, tendo em conta as interações que se podem desenvolver entre os materiais. Devem satisfazer esta condição sobretudo os materiais de isolamento térmico, de revestimento e de colagem;
- Todos os componentes do sistema devem ser tratados ou protegidos contra a corrosão por via húmida, seca ou electrolítica, contra o ataque de insectos e roedores, contra o desenvolvimento de fungos, etc;
- Todos os componentes do sistema devem ser compatíveis;
- Os materiais constituintes da camada de acabamento devem apresentar durabilidade pelo menos equivalente à do sistema – 25 anos [9].

O método de verificação destas exigências, descrito no ETAG 004, é o ensaio da força de ligação entre o revestimento final e o isolamento térmico, após envelhecimento. A força de ligação após o envelhecimento deverá ser no mínimo igual a 0,08 Mpa.

As solicitações que mais põem em causa a durabilidade do sistema, algumas das quais já foram analisadas anteriormente, são as seguintes:

- Solicitações de natureza higrotérmica, nomeadamente a temperatura, humidade relativa, vento, chuva, neve ou gelo;
- Acção da água e de produtos quimicamente agressivos, inerentes às normais operações de limpeza e manutenção;
- Choques;
- Agentes que provocam a degradação do aspecto do sistema, em particular as poeiras, os microrganismos e a poluição atmosférica.

3.5.11.2. Resistência à fixação de poeira

O sistema ETICS deve ser concebido de modo a não favorecer a fixação de poeiras. Para evitar esse risco, o revestimento do sistema não deve ser excessivamente áspero ou pegajoso, sobretudo nas zonas que pela sua orientação fiquem particularmente expostas à poluição atmosférica ou à poeira transportada pelo vento e não possuam condições favoráveis à auto-limpeza pela água da chuva.

Caso ocorra essa fixação de poeira as nódoas daí resultantes não devem ser definitivas. Para que assim seja, o sistema quando sujeito a um processo de limpeza adequado deve retomar um aspecto tão próximo quanto possível do apresentado antes do enodoamento.

A avaliação deste parâmetro é feita através de ensaios normalizados, em que se determinam os factores de reflexão difusa da luz a 0° e a 45° para o sistema novo (S_0), para o sistema enodado (S_1) e para o sistema depois de submetido ao processo de limpeza (S_2). Este ensaio de avaliação da “sujabilidade” e da “lavabilidade” consiste na projecção de um pó, normalmente pó de grafite, actuando em jacto durante 10 minutos, e o processo de limpeza consta apenas de uma escovagem a seco durante 5 segundos. [8]

A partir dos três factores atrás descritos é possível determinar a “sujabilidade” (P_1) e a “lavabilidade” (P_2) do sistema, através das seguintes expressões:

$$P_1 = \left(1 - \frac{S_1}{S_0}\right) \times 100 \quad (3.)$$

$$P_2 = \left(1 - \frac{S_2}{S_0}\right) \times 100 \quad (4.)$$

Em função de P_1 e P_2 são definidas nove classes de resistência ao enodoamento, como se pode ver no quadro seguinte (quadro 3.10):

Quadro 3.10 – Classes de resistência ao enodoamento pela poeira [8]

Classes de resistência ao enodoamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lavabilidade (P_2 , %)		70	85	75	85	90	85	90	95
Sujabilidade (P_1 , %)			30				15		
Tradução em linguagem corrente	Superfície deteriorada			Superfície ligeiramente deteriorada			Superfície não deteriorada		

3.5.11.3. Resistência à fixação e desenvolvimento de microrganismos

A fixação e o desenvolvimento de microrganismos ocorre preferencialmente em superfícies que permaneçam húmidas por períodos de tempo prolongados. A norma EN ISO 13788 refere que nas superfícies em que a humidade relativa permanece acima dos 80% durante longos períodos de tempo, existe grande probabilidade de desenvolvimento de microrganismos.

Por outro lado, deve procurar-se que o revestimento final do sistema seja o mais liso possível, e que os materiais desse revestimento não constituam alimento para os microrganismos.

No exterior dos edifícios, as zonas mais afectadas são as que se encontram protegidas do vento e da radiação solar (paramentos voltados a Norte), assim como as superfícies sujeitas a salpicos de água, como os embasamentos das fachadas.

A aplicação de produtos fungicidas apenas poderá retardar a fixação e desenvolvimento de microrganismos, uma vez que a sua eficácia tem geralmente uma durabilidade limitada.

3.5.11.4. Resistência aos produtos químicos do ar

O sistema deve resistir aos produtos químicos habitualmente presentes no ar ambiente das zonas onde venha a ser utilizado. Podem ser produtos constituintes da própria atmosfera – oxigénio, ozono, dióxido de carbono, dióxido de azoto – ou produtos contaminantes – dióxido de enxofre, trióxido de enxofre e sais dissolvidos na água.

Existem de facto diferenças significativas de durabilidade dum mesmo sistema conforme o tipo de ambiente em que tenha sido aplicado – ambiente marítimo, industrial, urbano ou rural.

3.5.11.5. Manutenção

Para que o sistema conserve o seu aspecto, a camada de acabamento deve ser objecto de manutenção, devendo efectuar-se com produtos que não prejudiquem o sistema. A reparação de actos de vandalismo, danos devido ao punçoamento dinâmico, ou outras situações das quais resulte a destruição do sistema, deverão ser alvo de intervenção imediata.

Para zonas de fachada não directamente acessíveis, o período normal de manutenção é de 10 ou mais anos, não podendo em caso algum ser inferior a 5 anos. A falta de manutenção poderá levar à total degradação do sistema.

3.6. ANOMALIAS MAIS FREQUENTES DO SISTEMA

As paredes dos edifícios possuem um desempenho frequentemente desadequado e anomalias frequentes. Nas figuras seguintes verifica-se que estas são responsáveis por 25% das anomalias em edifícios. Das anomalias nas paredes exteriores, cerca de 90% estão associadas com fendilhação e infiltrações de humidade. É importante referir que o desempenho das paredes exteriores depende dos sistemas estruturais e das fundações adoptadas para o edifício, sendo habitual que as anomalias estejam associadas a um comportamento deficiente vigas, lajes e fundações, por retracção, fluência, movimentos térmicos, deformações excessivas e assentamentos do terreno.

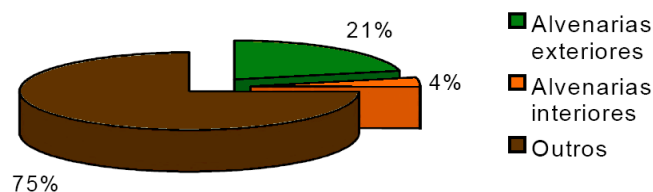


Fig.3.26 – Anomalias em edifícios

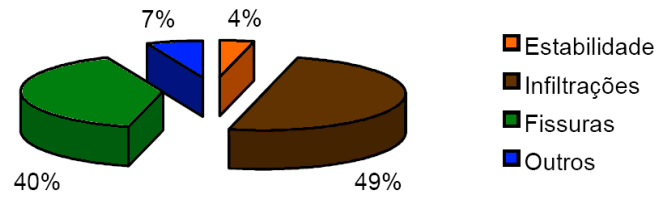


Fig.3.27 – Anomalias em paredes exteriores

Anteriormente já foram referidas as vantagens que os sistemas de isolamento térmico pelo exterior têm para o utilizador e para a durabilidade do edifício. No entanto, a experiência das últimas décadas mostra que o sistema ETICS apresenta algumas patologias que requerem alguma atenção por parte dos agentes do sector da construção.

O Prof. Vasco Peixoto Freitas [4] elaborou um relatório acerca dos ETICS onde constam os resultados de um estudo francês com os dados relativos às anomalias de 211 casos entre 1979 e 1985, declarados às companhias de seguros. Os resultados desse estudo estão ilustrados na figura seguinte (figura 3.28):

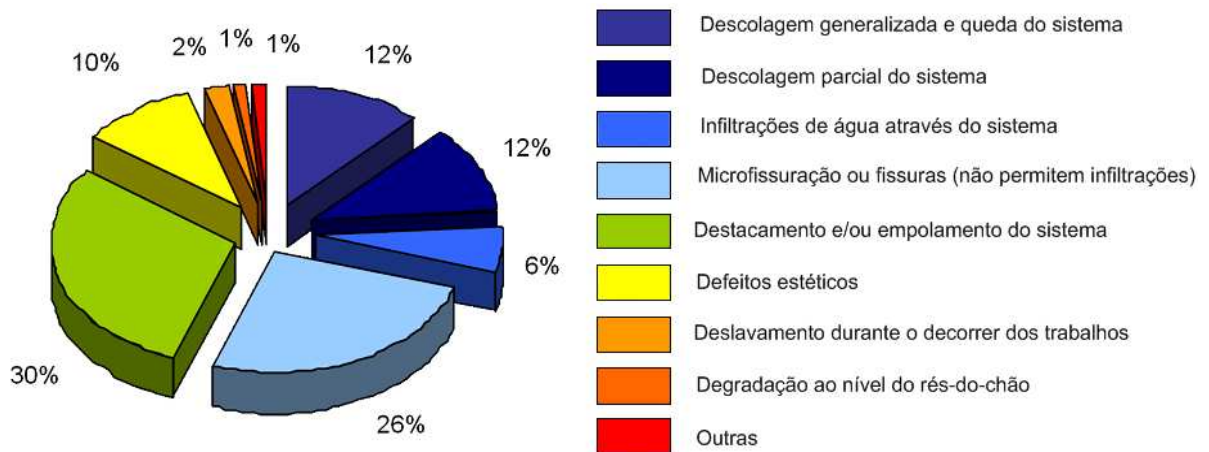


Fig.3.28 – Patologias associadas ao sistema ETICS

A análise da figura mostra que a anomalia mais frequente é “destacamento e/ou empolamento do sistema” com 30%, logo seguida da “microfissuração”.

Em seguida apresenta-se um quadro resumo (quadro 3.11) das anomalias do sistema ETICS, assim como as prováveis causas [5].

Quadro 3.11 – Anomalias e prováveis causas

Anomalias	Prováveis causas
Descolamentos parciais do sistema	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deficiente preparação do suporte; ▪ Falta de produto de colagem; ▪ Movimentos acentuados do suporte; ▪ Acção da água no tardo (infiltração pelo bordo superior).
Destacamentos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deficiências no comportamento higrotérmico do revestimento; ▪ Ciclos de molhagem e secagem das placas; ▪ Entrada de água pelo tardo das placas; ▪ Esforços provocados por fixação mecânica de andaime ou outro equipamento semelhante;
Empolamentos das placas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acumulação de água entre o revestimento e o isolante ou entre a argamassa e o isolamento, devido a uma permeabilidade ao vapor de água reduzida, provocando a formação de “bolhas” por perdas de aderência localizadas, podendo evoluir em destacamentos.
Perfuração do sistema	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Choques devido ao uso em zonas de paredes acessíveis aos utentes; ▪ Choques devidos ao uso de andaimes do tipo bailéu durante aplicação; ▪ Encosto de escadas em acções de manutenção; ▪ Atravessamento indevido da parede com cablagem; ▪ Acções de vandalismo e acções de acidente (ex: choque de veículos).
Deficiência de planeza do sistema	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deficiente planeza do suporte; ▪ Choques repetidos de andaimes do tipo bailéu sobre o sistema; ▪ Remates nas zonas de fixação dos andaimes às paredes;

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aplicação irregular da camada de colagem; ▪ Recobrimento insuficiente das placas; ▪ Falta de regularidade dimensional das placas.
Fissuração do sistema	<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 produto de revestimento; ▪ Espessura excessiva de revestimento para correcção de deficiências de planeza; ▪ Acabamentos de cor escura em paredes muito expostas à acção do sol; ▪ Coexistência de cores escuras e cores claras no mesmo pano de fachada; ▪ Colocação defeituosa das cantoneiras metálicas de canto; ▪ Isolante demasiado rígido ou revestimento pouco flexível.
Visualização das juntas das placas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deficiências de regularidade dimensional das placas do isolante; ▪ Falta de estabilidade dimensional das placas; ▪ Ciclos de molhagem e secagem das placas; ▪ Negligência na aplicação.
Anomalias	Prováveis causas
Alteração de cor das superfícies, textura, manchas e irregularidades (modificação do aspecto)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fixação de poeiras nas zonas de escorrência preferencial da água; ▪ Manchas provenientes da oxidação de metais (caixilhos e capeamentos); ▪ Repinturas parciais; ▪ Manchas provocadas pela poluição atmosférica; ▪ Deficiências de aplicação do sistema: <ul style="list-style-type: none"> - Fixação pouco rigorosa das placas do isolante – as juntas entre elas poderão ser visíveis através do revestimento, devido às irregularidades entre si e/ou a um fenómeno de deposição diferencial de poeiras; - Colocação pouco cuidada dos perfis de protecção de arestas; - Realização de correcções <i>a posteriori</i> no acabamento, tornadas visíveis.
Desenvolvimento de vegetação parasitária (bolor e algas)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proximidade de vegetação; ▪ Maior desenvolvimento sobre revestimentos muito texturados; ▪ 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 (deficiência de armazenamento); ▪ Na camada de acabamento do revestimento, a temperatura pode baixar muito rapidamente ao pôr-do-sol, atingindo o ponto de orvalho. Assim haverá condensações frequentes na superfície desta camada e uma vez que a sua textura geralmente é rugosa, tende a

	manter-se húmida durante longos períodos de tempo.
Deterioração do recobrimento das cantoneiras de reforço	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acabamento de espessura reduzida (em toda a parede ou sobre a cantoneira); ▪ Dilatação e contracção térmica incompatível entre cantoneira e revestimento; ▪ Inadequação da furação da cantoneira para garantir a aderência do revestimento; ▪ Falta de recobrimento da cantoneira com a armadura do revestimento.

Para além deste conjunto de anomalias mais frequentes verificadas no sistema ETICS, existem outras que se podem manifestar ao nível do edifício, por efeito secundário:

- Infiltrações para o interior, através do sistema;
- Pontes térmicas;
- Diminuição do desempenho térmico do edifício;
- Diminuição do nível estético do edifício.

Podemos classificar as anomalias em quatro níveis consoante a degradação do sistema, como mostra a figura seguinte (figura 3.29) [5]:

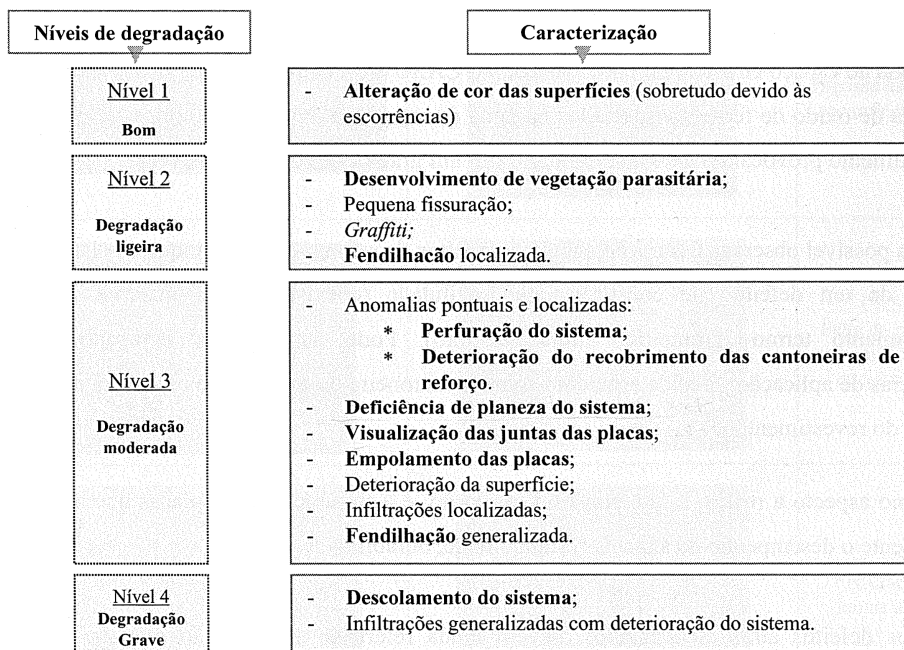


Fig.3.29 – Critérios de classificação das anomalias

4

DURABILIDADE – APLICAÇÃO DO MÉTODO FACTORIAL

4.1 INTRODUÇÃO

O estudo da durabilidade da construção, entendida como a capacidade de um edifício ou de partes de um edifício de desempenhar a sua função durante um determinado intervalo de tempo, sob condições de serviço, exige um conhecimento prévio das características dos materiais e componentes da construção e das características dos ambientes a que estão sujeitos. [11]

Até final do século XIX, a construção era feita por tentativa e erro, por imitação de técnicas antigas, seleccionando-se aquelas que melhor respondiam às necessidades das pessoas e, gradualmente, abandonando-se as técnicas ou sistemas que falhavam. Com a revolução industrial e, sobretudo, no pós-guerra, desenvolveram-se técnicas e produtos novos, de aplicação pioneira na indústria da construção, o que levou em muitos casos ao aumento da degradação das construções.

A consciência da importância da durabilidade começou a surgir nos anos 60, nas nações mais desenvolvidas, com parques construídos mais completos, mas com problemas de degradação, com consequências directas ao nível económico, do bem-estar físico e psicológico das populações e no impacto da imagem das cidades.

Em particular após as crises petrolíferas dos anos 70, tornou-se claro que, tão importantes como o valor do investimento inicial de uma construção, dever-se-ia considerar – e se possível antecipar – desde a fase de planificação e projecto os custos relacionados com a *performance* global das edificações: consumo energético, despesas de manutenção, capacidade de resistência à deterioração ou níveis de poluição relacionados com a construção, o uso e a demolição das construções - conceitos que, hoje em dia, se encontram relativamente aceites na ideia de sustentabilidade das construções.

Neste sentido, o estudo da durabilidade das construções ganhou uma nova ênfase. Por um lado, verificava-se que a maior parte do parque construído das nações mais desenvolvidas já estava efectivamente construído, para durar dezenas de anos, sendo necessário estudar e minorar o impacto da sua degradação. Por outro, em teoria, qualquer novo investimento seria tanto melhor rentabilizado, quanto maior fosse a durabilidade da construção.

Actualmente, qualquer análise económica relacionada com o investimento ou a sua amortização na construção só poderá ser feita se for feita uma determinação num horizonte de tempo que limite as projecções desejadas, independentemente de se tratar de edifícios existentes ou obra nova.

A durabilidade é hoje um dos conceitos mais importantes na construção, fundamental para entidades que giram grandes parques construídos ou em áreas como seguradoras, que já aplicam, de forma

sistemática, métodos de diagnóstico e de estimativa da vida útil de edifícios e das suas componentes como instrumentos para a fixação dos respectivos prémios.

O prolongamento da vida das construções existentes, sobretudo as recentes, é uma área determinante. Sobretudo se considerarmos que em Portugal grande parte do parque construído cresceu nos últimos 50 anos sem se atender a preocupações de durabilidade. Se nada for feito para alterar esta situação, poderemos assistir a graves problemas sociais e urbanos, com centenas ou milhares de edifícios a precisar de recuperação urgente.

A longo prazo, esta ausência de visão estratégica comporta elevados custos económicos, decorrentes dos prejuízos causados pela falta de durabilidade das construções e dos sistemas construtivos, e pelo custo necessário para a sua reabilitação.

4.2. DURABILIDADE

4.2.1 DEFINIÇÃO

Durabilidade, segundo o dicionário, é “a duração”, ou ainda a “qualidade daquilo que é durável”. Este conceito está associado à longevidade e à qualidade convivendo-se com a ideia “mais durável = mais qualidade”.

A norma ISO define durabilidade como “capacidade do edifício ou seus elementos de desempenhar as funções requeridas durante um determinado período de tempo sobre influência dos agentes actuantes em serviço”

A norma americana ASTM E632 apresenta uma definição ligeiramente diferente para durabilidade: “capacidade de manter um produto, componente, sistema ou construção em serviço durante um período definido de tempo”. Assim o conceito de durabilidade está intimamente relacionado com vida útil.

A ISO 15686 define vida útil como “período de tempo, após a construção, em que o edifício ou seus elementos, igualam ou excedem os requisitos mínimos de desempenho”.

Já a EOTA, no documento guia GD002 [12] apresenta a seguinte definição: “período de tempo durante o qual o desempenho dos produtos se mantém a um nível compatível com a satisfação dos requisitos essenciais”

Resumindo, um edifício que esteja degradado não significa que tenha chegado ao fim da sua vida útil.

A durabilidade das construções representa um dos sectores estratégicos para o desenvolvimento dos países. O estudo da durabilidade permite [1]:

- Avaliar e prever a vida útil dos materiais, componentes, sistemas e edifícios (Método Factorial);
- Definir estratégias de manutenção e substituição dos elementos de construção;
- Prever o impacte ambiental e energético das construções ao longo do tempo;
- Estimar o custo da manutenção, remodelação ou substituição dos edifícios ou das suas partes, ao longo da sua vida útil
- Estimar os custos e as metodologias requeridas para o prolongamento da vida útil das construções;
- Desenvolver ferramentas de análise e diagnóstico de grandes parques construídos, na perspectiva da sua gestão;

- Definir estratégias de projecto e obra, com vista a uma maior sustentabilidade e qualidade das construções.

O quadro seguinte (quadro 4.1) adaptado da GD002 [12], relaciona a durabilidade das construções com a durabilidade dos produtos de construção.

Quadro 4.1 - Durabilidade dos produtos em função da durabilidade das construções (anos)

Durabilidade das construções ou partes		Durabilidade dos produtos de construção		
		Categoria (anos)		
Categoria	Anos	Reparáveis ou de fácil substituição	Reparáveis ou substituíveis com mais algum esforço	Para toda a vida da construção*
Pequena	10	10	10	10
Média	25	10	25	25
Normal	50	10	25	50
Longa	100	10	25	100

* Situações em que não são reparáveis

A norma ISO 15686-1 [13] estabelece valores mínimos para a durabilidade do edifício e seus componentes, como mostra o quadro seguinte (quadro 4.2)

Quadro 4.2 - Valores mínimos para a durabilidade do edifício e seus componentes (anos) [13]

Durabilidade do edifício	Elementos estruturais ou sem acesso	Elementos cuja substituição é onerosa	Elementos facilmente substituíveis	Serviços
Ilimitada	Ilimitada	100	40	25
150	150	100	40	25
100	100	100	40	25
60	60	60	40	25
25	25	25	25	25
15	15	15	15	15
10	10	10	10	10

4.2.2 ENQUADRAMENTO NORMATIVO

Nas últimas décadas, têm sido publicadas algumas normas, ao nível de cada país e ao nível internacional, sobre durabilidade e métodos de estimar a vida útil dos edifícios e/ou componentes.

A nível nacional as abordagens mais importantes são:

- Regulamento Japonês de 1980, com tradução inglesa “Principal Guide for Service Life Prediction of Building (1993)”; com aprovação em 2000 de duas leis (“Housing Quality Assurance Law” e “Building Standard Law”), o Japão deu os primeiros na regulamentação para a estimativa da vida útil das construções;
- Reino Unido: “Guide to Durability of Building and Building Elements, Products and Components (BSI 1992)”;
- Canadá: “Canada Standard S478 – Guideline on Durability of Buildings (CSA, 1995)”
- Nova Zelândia: integra a durabilidade nos regulamentos da construção desde 1992;
- Noruega: tem publicado textos de especificação para manutenção e inspecção de estruturas.

A nível internacional as abordagens mais importantes são:

- Conferência do Rio de Janeiro, sob a égide da ONU (UNCED Environment and Development) que definiu a necessidade de se alcançar uma maior sustentabilidade das construções, ao longo da sua vida útil;
- International Council for Building Research Studies and Documentation (CIB), nas subcomissões:
 - W60 – Performance concept in building
 - W70 – Management, maintenance and modernisation of building facilities
 - W80 – Prediction of service life of building materials and components
 - W94 – Design
- ISO 15686-1 Performance Standards in Buildings.

4.3 QUANTIFICAÇÃO DA DURABILIDADE

4.3.1 MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA DURABILIDADE

De entre os métodos existentes para a previsão da vida útil, normalmente distinguem-se duas abordagens principais:

- *Métodos determinísticos*: de acordo com os quais a vida útil de um elemento é função de uma durabilidade de referência (por exemplo, indicações do fabricante), posteriormente modificada através de factores, de acordo com as condições de serviço espectáveis, obtendo-se um valor absoluto indicativo da durabilidade do elemento estudado;
- *Métodos probabilísticos*: normalmente baseados em cálculo matricial ou probabilístico, que definem a probabilidade de ocorrência de uma mudança de estado de um elemento, procurando deste modo ultrapassar a incerteza relacionada com a sua forma de degradação e a própria imprevisibilidade das respectivas condições de serviço.

Actualmente procura-se criar um nível intermédio entre estes dois grandes grupos, através de “engineering methods” que, partindo de metodologias mais simples (determinísticas) lhes permitam integrar um pouco da variabilidade associada à incerteza do mundo real, sem se tornarem excessivamente complexos [1].

4.3.2 MÉTODO FACTORIAL – REGULAMENTO JAPONÊS

A metodologia desenvolvida pelo *Architectural Institute of Japan* é pioneira a nível mundial e representa a génese da maioria dos trabalhos e estudos sobre durabilidade.

É um método que consiste na multiplicação da vida útil de referência por factores que têm em conta as condições particulares que se verificam em serviço, permitindo uma estimativa da vida útil de um determinado elemento ou componente de construção, sob determinadas condições ambientais. Partindo de uma duração da vida útil de referência (que será esperada em condições padrão), obtém-se uma estimativa da vida útil para as condições particulares pretendidas através da multiplicação da vida útil de referência por uma série de factores, relacionados com diversos aspectos determinantes para a durabilidade. Os factores a considerar são os seguintes [14]:

- A – qualidade do componente;
- B – nível de qualidade do projecto;
- C – nível de qualidade da execução;
- D – características do ambiente interior;
- E – características do ambiente exterior;
- F – características do uso;
- G – nível de manutenção.

Teremos assim a aplicação da seguinte fórmula:

$$ESL = RSL \times \prod_{i=1}^n A_i \times \prod_{i=1}^n B_i \times \prod_{i=1}^n C_i \times \prod_{i=1}^n D_i \times \prod_{i=1}^n E_i \times \prod_{i=1}^n F_i \times \prod_{i=1}^n G_i \quad (5.)$$

Em que:

- ESL – Vida útil estimada (anos);
- RSL – Vida útil de referência (anos);
- A, B, C, D, E, F e G – Factores modificadores da vida útil de referência (valores entre 0,8 e 1,2).

Devido à complexidade e às diferenças das camadas que constituem o ETICS foi necessário subdividir estes factores para possibilitar uma melhor classificação e clarificação das diversas influências.

4.3.2.1 Vida útil de referência (RSL)

O valor a considerar para a vida útil de referência pode ser baseado em:

- Dados fornecidos pelo fabricante ou resultados de um laboratório de ensaios (para um produto novo, normalmente, apenas se tem acesso a dados do fabricante);
- Dados de experiências anteriores ou observações de construções similares ou que se encontram em condições similares;
- Informação recolhida em bibliografia relacionada com o tema da durabilidade.

Sempre que possível o valor da vida útil de referência deverá ser obtido através de uma metodologia de previsão da vida útil como apresentada anteriormente. Da adequação do valor da vida útil de referência depende a fiabilidade do valor a calcular pelo método factorial.

Tanto quanto possível, o valor da vida útil de referência deverá aplicar-se a condições ambientais próximas ou comparáveis com as especificações da situação a estimar. Assim, os factores a adoptar na estimativa serão o mais próximo possível da unidade, minimizando os erros introduzidos pelo método.

Quando se utilizam dados de fabricantes ou fornecedores deverá tentar-se conhecer as condições relativas às suas previsões e quais os métodos utilizados. Deverá haver o cuidado, por exemplo, de não duplicar a quantificação do efeito de determinadas variáveis. Por exemplo, se na quantificação da vida útil de referência foi já considerada a variabilidade do desempenho do material, esse aspecto não deverá ser tido em conta, novamente, na estimativa da vida útil de para a nossa situação específica.

No presente trabalho confrontei-me com vários documentos que propõem valores diferentes para a vida útil de referência dos ETICS. O CSTB e a UEAtc sugerem um valor de 30 anos, enquanto o ETAG 004 (edition March 2000) propõe um valor mais baixo, de 25 anos como vida útil de referência:

“ The provisions , test and assessment methods in this guideline or referred to, have been written, based upon the assumed intended working life of the ETICS for the intended use of at least 25 years, provided that the ETICS is subject to appropriate use and maintenance (cf. chapter 7). These provisions are based upon the current state of art and the available knowledge and experience.

An “assumed intended working life” means that it is expected that an assessment following the ETAG-provisions is made, and when this working life has elapsed, the real working life may be, in normal use conditions, considerably longer without major degradation affecting the essential requirements.

The indications given as to the working life of a ETICS cannot be interpreted as a guarantee given by the producer or the approval body. They should only be regarded as a means for the specifiers to choose the appropriate criteria for ETICS in relation to the expected, economically reasonable working life of the works.”

O sistema ETICS em estudo, correctamente concebido e aplicado, deve ter uma vida útil de referência superior a 25 anos, com a devida manutenção necessária para manter a aparência e funcionalidade do sistema. Adoptei este valor uma vez que o respectivo documento é o guia técnico em vigor para toda a União Europeia, em matéria de ETICS.

4.3.2.2 Factores modificadores

A escolha dos valores poderá ser baseada em experiências anteriores. É importante identificar os efeitos de cada uma das condições ambientais sobre a vida útil do sistema ETICS. Para isso é, também, necessário recorrer a informações do fabricante, a documentos de laboratórios ou a bibliografia especializada.

Aqui, também, deverá haver cuidado para não duplicar a contabilização da influência de uma determinada condição. Por exemplo, dúvidas quanto à qualidade de produtos fabricados em obra poderão ser consideradas na qualidade dos materiais ou na qualidade da execução, mas nunca nos dois.

Os valores a adoptar representam um desvio em relação às condições de referência e, por isso, andarão sempre bastante próximos da unidade (1). Por exemplo, se um determinado factor tem uma influência negativa sobre o elemento em estudo o factor poderá tomar o valor de 0,8, no entanto se essa influência for positiva poderá ser de 1,2.

O factor A representa a qualidade dos materiais ou componentes, nas condições em que são fornecidos à obra, segundo as especificações do projectista.

O factor B exprime o nível de qualidade do projecto. Este factor tem a ver com a adequação da escolha de uma solução construtiva específica, das medidas de protecção previstas, etc.

O factor C refere-se à qualidade da execução. A avaliação deste factor deverá reflectir o grau de confiança da mão-de-obra, mas também a existência ou não de uma fiscalização rigorosa.

O factor D e E dizem respeito às características dos ambientes interior e exterior, respectivamente. Para a sua quantificação deverão ser tidos em conta os agentes de degradação.

O factor F reflecte o efeito do uso na degradação do material ou componente. Aqui é, geralmente, importante a distinção entre uso comum e uso privado.

Finalmente, o factor G é relativo à manutenção e deve dar conta da probabilidade da existência de uma manutenção adequada.

No quadro seguinte (quadro 4.3) são descritos e quantificados os factores modificadores relativos à qualidade dos componentes do sistema ETICS.

Quadro 4.3 – Factores modificadores associados à qualidade dos componentes (A)

A ₁ – Características do produto de colagem			Valor proposto
K ₁	Boa qualidade	Utilização de produtos de colagem homologados com elevada qualidade	1,2
K ₂	Situação corrente	Utilização de produtos de colagem homologados	1
K ₃	Má qualidade	Utilização de produtos não homologados (risco de incompatibilidade com o sistema)	0,8
A ₂ – Características do material de isolamento térmico (EPS)			Valor proposto
K ₁	Boa qualidade	Nível mínimo de aptidão I ₂ S ₄ O ₃ L ₄ E ₂ ; massa volúmica entre 14 kg/m ³ e 20 kg/m ³ . Bordo lateral macho-fêmea.	1,2
K ₂	Situação corrente	Nível mínimo de aptidão I ₂ S ₄ O ₃ L ₄ E ₂ ; massa volúmica entre 14 kg/m ³ e 20 kg/m ³ .	1
K ₃	Má qualidade	Espessura de isolamento < 30 mm; utilização de outros materiais de isolamento não homologados.	0,8
A ₃ – Características da camada de base			Valor proposto
K ₁	Boa qualidade	Respeito pela espessura adequada (2 a 5 mm); utilização de percentagens de cimento reduzidas (25 a 30%)	1,2
K ₂	Situação corrente	Respeito pela espessura adequada (2 a 5 mm); constituição adequada.	1
K ₃	Má qualidade	Desrespeito pela espessura e constituição da camada; elevadas percentagens de cimento na sua constituição.	0,8

A ₄ – Características da rede de fibra de vidro			Valor proposto
K ₁	Boa qualidade	Protegida da humidade e do ataque alcalino. Embebida na camada de base pelo menos 0,4 mm. Cuidados na execução das sobreposições e embebimentos. Resistência à tracção superior a 25 N/mm de largura de faixa.	1,2
K ₂	Situação corrente	Protegida da humidade e do ambiente alcalino. Densidade e resistências correntes. Cuidados na execução das sobreposições e embebimentos	1
K ₃	Má qualidade	Sem protecção à humidade e exposta a ambiente alcalino. Mau posicionamento da rede.	0,8
A ₅ – Características da camada de acabamento			Valor proposto
K ₁	Boa qualidade	Espessura adequada (< 7mm); coeficiente de absorção $\alpha_s < 0,7$ (cores claras); cor sem grande contraste na mesma fachada.	1,2
K ₂	Situação corrente	Espessura adequada (< 7mm); coeficiente de absorção $\alpha_s < 0,7$ (cores claras); cor sem grande contraste na mesma fachada;	1
K ₃	Má qualidade	Desrespeito pela espessura e pelo coeficiente de absorção.	0,8
A ₆ – Características dos acessórios do sistema			Valor proposto
K ₁	Boa qualidade	----	1,2
K ₂	Situação corrente	Utilização de acessórios de acordo com as especificações do fabricante e dos documentos técnicos.	1
K ₃	Má qualidade	Não utilização de acessórios	0,8

No quadro seguinte (quadro 4.4) são descritos e quantificados os factores modificadores relativos à qualidade do projecto do sistema ETICS.

Quadro 4.4 – Factores modificadores associados à qualidade do projecto (B)

B ₁ – Qualidade geral do projecto			Valor proposto
K ₁	Boa qualidade	Pormenores construtivos que evitem escorrência de água nas fachadas e a acumulação de sujidade. Dimensionamento do sistema (espessura do EPS) de acordo com os regulamentos em vigor.	1,1
K ₂	Situação corrente	Dimensionamento do sistema (espessura do EPS) de acordo com os regulamentos em vigor.	1
K ₃	Má qualidade	Não existência de acessórios. Qualidade geral do projecto má ou muito má.	0,8
B ₂ – Protecções nas zonas com risco elevado de choques			Valor proposto
K ₁	Boa qualidade	Embasamento junto ao solo de 1m de altura; utilização de rede de fibra de vidro reforçada nas zonas com elevado risco de choques	1,2
K ₂	Situação corrente	Utilização de rede de fibra de vidro reforçada nas zonas com elevado risco de choques	1
K ₃	Má qualidade	Inexistência de qualquer protecção	0,8
B ₃ – Características do suporte			Valor proposto
K ₁	Boa qualidade	Suporte novo em óptimas condições de estabilidade, limpeza, regularidade e humidade. Óptima aderência. Sem fissuras	1,2
K ₂	Situação corrente	Suporte novo ou existente: estável, limpo de poeiras e de partículas friáveis, seco no momento de aplicação do sistema, limpo e decapado de pinturas ou produtos orgânicos; boa aderência; fissuras <2mm.	1
K ₃	Má qualidade	Suporte instável e constituído por materiais não regulamentares; fraca aderência; fissuras > 2mm.	0,8
B ₄ – Pormenorização construtiva			Valor proposto
K ₁	Boa qualidade	Pormenorização cuidada e completa.	1,1
K ₂	Situação corrente	Pormenorização geral.	1
K ₃	Má qualidade	Deficiente pormenorização.	0,9

No quadro seguinte (quadro 4.5) são descritos e quantificados os factores modificadores relativos à qualidade de execução do sistema ETICS.

Quadro 4.5 – Factores modificadores associados à qualidade de execução (C)

C ₁ – Direcção técnica da obra e fiscalização			Valor proposto
K ₁	Boa qualidade	----	1,1
K ₂	Situação corrente	Existência de técnico qualificado, engenheiro ou arquitecto na direcção da obra. Existência de controlo de qualidade e de fiscalização independente.	1
K ₃	Má qualidade	Não existência de técnico qualificado na direcção da obra nem de fiscalização independente.	0,9

C ₂ – Mão-de-obra			Valor proposto
K ₁	Boa qualidade	Mão-de-obra especializada e experiente	1,2
K ₂	Situação corrente	Mão-de-obra experiente	1
K ₃	Má qualidade	Mão-de-obra inexperiente	0,8

C ₃ – Condições de aplicação			Valor proposto
K ₁	Boa qualidade	Bom tempo e temperaturas amenas; Protecção da fachada a revestir com toldos para evitar a exposição à luz directa do sol. Não utilização de andaimes suspensos.	1,2
K ₂	Situação corrente	Temperaturas acima dos 5 °C; Se houver períodos de chuva ou sol, existe protecção dos trabalhos com toldos nos andaimes. Não utilização de andaimes suspensos.	1
K ₃	Má qualidade	Períodos de chuva; temperaturas inferiores a 5 °C; superfícies expostas ao sol no Verão ou sujeitas a ventos fortes. Utilização de andaimes suspensos.	0,8

Factores modificadores associados ao ambiente interior (D): não aplicável. No quadro seguinte (quadro 4.6) são descritos e quantificados os factores modificadores relativos ao ambiente exterior a que estará sujeito o sistema ETICS.

Quadro 4.6 – Factores modificadores associados ao ambiente exterior (E)

E ₁ – Água			Valor proposto
K ₁	Boa qualidade	Sistema abrigado da água da chuva e com protecções ao nível do solo (salpicos); não há penetração de água no sistema	1,2
K ₂	Situação corrente	Sistema impermeável à água proveniente do exterior	1
K ₃	Má qualidade	Penetração de água no sistema proveniente do exterior	0,8

E ₂ – Temperatura ambiente			Valor proposto
K ₁	Temperaturas muito moderadas	Sistema sujeito a variações de temperatura reduzidas.	1,2
K ₂	Situação corrente	Variações de temperatura inferiores a 50 °C. Sistema raramente sujeito a temperaturas negativas, e nunca inferiores a -20 °C.	1
K ₃	Grandes extremos de temperatura	Variações bruscas de temperatura superiores a 50 °C; sistema sujeito a temperaturas inferiores a -20 °C.	0,8
E ₃ – Exposição solar			Valor proposto
K ₁	Boa qualidade	Sistema parcialmente abrigado da exposição solar (palas, etc.). Temperaturas superficiais do sistema baixas.	1,2
K ₂	Situação corrente	Sistema exposto ao sol, mas a temperatura superficial não atinge 80 °C.	1
K ₃	Má qualidade	Temperatura superficial do sistema superior a 80 °C	0,8
E ₄ – Nível de poluição			Valor proposto
K ₁	Abrigado	Situação corrente ou edifícios fora de centros urbanos de média ou grande dimensão	1,1
K ₂	Exposição moderada	Situação corrente para edifícios em grandes centros urbanos ou próximos de vias de circulação principais	1
K ₃	Exposição elevada	Edifícios localizados em zonas industriais, perto de fontes poluentes ou de circulares urbanas com tráfego elevado	0,9
E ₅ – Orientação da fachada			Valor proposto
K ₁	Norte (N)		0,8
K ₂	Nordeste (NE), Este (E), Sudeste (SE), Sudoeste (SO), Noroeste (NO) e Oeste (O)		1,1
K ₃	Sul (S)		1
K ₅	Superfícies horizontais e inclinadas*		0,8

* desde que não estejam expostas à precipitação

E ₆ – Fixação de desenvolvimento de microrganismos			Valor proposto
K ₁	Boa qualidade	Superfície lisa, sem vegetação circundante, com boa exposição ao sol e ao vento (Sul), com tratamento fungicida ou algicida adequado. Humidade relativa baixa.	1,2
K ₂	Situação corrente	Superfície lisa, sem vegetação circundante, com exposição ao sol e ao vento moderada, sem tratamento fungicida ou algicida. Humidade relativa da superfície abaixo dos 80%	1
K ₃	Má qualidade	Superfície rugosa, próximo de vegetação, com fraca exposição solar (Norte), abrigada do vento, sem tratamento fungicida ou algicida. Humidade relativa na superfície do sistema acima dos 80% durante longos períodos.	0,8

No quadro seguinte (quadro 4.7) são descritos e quantificados os factores modificadores relativos ao efeito do uso na vida útil do sistema ETICS.

Quadro 4.7 – Factores modificadores associados ao efeito do uso (F)

F ₁ – Condições e tipo de uso			Valor proposto
K ₁	Boa qualidade	Sistema em locais não acessíveis ou locais com uso restrito	1,2
K ₂	Situação corrente	Sistema em locais com uso público ou privado, protegidos de actos de vandalismo	1
K ₃	Má qualidade	Sistema em locais com usos excepcionalmente agressivos, potencialmente alvos a actos de vandalismo	0,8

F ₂ – Choques (punçãoamento dinâmico)			Valor proposto
K ₁	Boa qualidade	Zonas não susceptíveis a serem danificadas por impactos normais, causados por pessoas ou por objectos	1,2
K ₂	Situação corrente	Zonas vulneráveis a impactos de objectos, mas em locais onde a altura do edifício limita a extensão do impacto; ou em pisos inferiores onde o acesso ao edifício é principalmente para pessoas que têm algum cuidado.	1
K ₃	Má qualidade	Zonas ao nível do chão facilmente acessíveis e vulneráveis a impactos excepcionalmente severos	0,8

No quadro seguinte (quadro 4.8) são descritos e quantificados os factores modificadores relativos à manutenção do sistema ETICS.

Quadro 4.8 – Factores modificadores associados à manutenção (G)

G ₁ – Tipo e frequência da manutenção			Valor proposto
K ₁	Nível elevado	Operações regulares de manutenção preventiva, reparações e limpeza geral em cada 5 anos	1,2
K ₂	Situação corrente	Manutenção correctiva ou reactiva, com reparações em cada 10 anos	1
K ₃	Sem manutenção	Ausência de manutenção, com substituição total ou parcial dos ETICS após o final do seu período de vida útil	0,8

G ₂ – Acessibilidade para manutenção			Valor proposto
K ₁		Edifícios facilmente inspeccionados	1,2
K ₂	Corrente	Edifícios até 4 pisos, facilmente inspeccionáveis a partir do exterior.	1
K ₃	Desfavorável	Edifícios de 5 ou mais pisos, com uma configuração ou implantação que dificulte uma simples inspecção visual	0,8

4.3.2.3 Quantificação da ESL

Através dos factores descritos e quantificados em 4.2.3.1. é possível, aplicando a equação seguinte, estimar a vida útil do sistema ETICS – ESL.

$$ESL = RSL \times \frac{\sum_{i=1}^6 A_i}{6} \times \frac{\sum_{i=1}^4 B_i}{4} \times \frac{\sum_{i=1}^3 C_i}{3} \times \frac{\sum_{i=1}^6 E_i}{6} \times \frac{\sum_{i=1}^2 F_i}{2} \times \frac{\sum_{i=1}^2 G_i}{2} \quad (6.)$$

No melhor cenário onde todos os factores modificadores assumem o valor máximo, 1,2 ou 1,1 conforme os casos, a vida útil do sistema ETICS é estimada em 67,8 anos. Aplicando o método factorial este é o valor da durabilidade máxima do sistema. No entanto, é apenas um valor indicativo pois só em raras excepções será possível atingi-lo.

$$ESL_{m\acute{a}x} = 25 \times \left(\frac{1,2 \times 6}{6}\right) \times \left(\frac{1,1 \times 2 + 1,2 \times 2}{4}\right) \times \left(\frac{1,1 + 1,2 \times 2}{3}\right) \times \left(\frac{1,2 \times 4 + 1,1 \times 2}{6}\right) \times \left(\frac{1,2 \times 2}{2}\right) \times \left(\frac{1,2 \times 2}{2}\right) = 67,8 \text{ anos}$$

Por outro lado, num cenário onde todos os factores modificadores apresentam o valor mais baixo, 0,8 ou 0,9 conforme os casos, a vida útil do sistema é estimada em 7,2 anos.

$$ESL_{m\acute{i}n} = 25 \times \left(\frac{0,8 \times 6}{6}\right) \times \left(\frac{0,8 \times 3 + 0,9}{4}\right) \times \left(\frac{0,9 + 0,8 \times 2}{3}\right) \times \left(\frac{0,8 \times 5 + 0,9}{6}\right) \times \left(\frac{0,8 \times 2}{2}\right) \times \left(\frac{0,8 \times 2}{2}\right) = 7,2 \text{ anos}$$

Os valores calculados anteriormente são estimativas da vida útil do sistema para situações extremas, em que são utilizados valores de 0,8 ou de 1,2 conforme o factor tenha um efeito negativo ou positivo na vida útil, respectivamente.

Geralmente, o sistema ETICS não está sujeito a essas situações extremas. O factor que mais influencia a durabilidade do sistema é o E (ambiente exterior), concretamente, a capacidade do sistema resistir aos agentes climáticos, à água, aos produtos químicos do ar e à fixação e desenvolvimento de microrganismos.

Para condições normais de escolha dos materiais (A), de projecto (B), de execução e aplicação (C), de uso (F) e de manutenção (G), o sistema apresenta a seguinte estimativa para a vida útil, considerando que os factores relativos ao ambiente exterior lhe são favoráveis:

$$ESL = 25 \times 1,167 = 29,2 \approx 30 \text{ anos}$$

4.3.2.4 Fragilidades do Método Factorial

Apesar destes aspectos, o Factor Método é criticado por diversos autores por não ser um método sensível à incerteza associada à variabilidade dos fenómenos que ocorrem nos processos de degradação. De facto, pela aplicação deste método, obtém-se apenas um valor absoluto (expresso em anos) que representa o limite expectável da vida útil do elemento analisado, mas não informa da possível dispersão de resultados, não tem em conta a sinergia existente entre os diversos factores, nem o nível de risco associado ao resultado obtido. Este facto decorre de diversos factores, entre os quais se destacam [1]:

- Utilização dos factores de modificação como variáveis absolutas, o que pressupõe uma certa constância no ritmo de degradação contrária ao que se verifica na realidade;
- Utilização apenas de operações de multiplicação como forma de relacionar factores – sobretudo nos seus desenvolvimentos, uma vez que o próprio Regulamento Japonês preconiza a utilização de factores de adição;
- A não hierarquização das variáveis, como distinção das que mais poderão afectar a vida útil do elemento e da sua velocidade de actuação
- Por fim, note-se que, no estado actual do conhecimento, a determinação dos factores é feita sobretudo de forma empírica, o que pode introduzir pequenas variações ao nível da sua quantificação que se traduzem em grandes diferenças de resultado final (decorrentes da multiplicação de factores), não expressa na apresentação de resultados.

À semelhança de outros métodos para a estimativa da vida útil, alguns destes aspectos só poderão ser ultrapassados com a produção de grandes bases de dados que validem os resultados obtidos.

No entanto, e apesar das críticas que lhe são feitas, os métodos factoriais baseados na metodologia do *Architectural Institute of Japan* são aqueles que maior aceitação têm ao nível da comunidade científica, sem dúvida decorrente da sua clareza e facilidade de aplicação.

4.3.2.5 Desenvolvimentos do Método Factorial

Da literatura sobre os métodos factoriais, destacam-se algumas pistas de desenvolvimento no sentido de lhes permitir incorporar a variabilidade da realidade, dentre as quais se destacam a manipulação dos factores considerados nos seguintes pontos [1]:

- Aumento do número de factores na equação base, distinguindo as particularidades dos casos estudados;
- Distinção hierárquica entre factores;
- Identificação de novas formas de combinação de factores (novas operações, na equação base e sub equações por factor);
- Introdução dos níveis de risco ou incerteza relacionados com os factores;
- Introdução de factores dependentes de observações de campo.

5

CONCLUSÕES

5.1. CONCLUSÕES

A durabilidade ou fim da vida útil não é um conceito de leitura unívoca por representar o fim do usufruto de determinado material ou sistema construtivo. No entanto, é possível estimar o período de tempo durante o qual um sistema mantém um nível de desempenho satisfatório.

Através do Método Factorial foi possível estimar a vida útil do sistema ETICS, quantificando os factores relativos a Materiais (A), Projecto (B), Execução (C), Ambiente exterior (E), Uso (F) e Manutenção (G) que interferem decisivamente na mesma.

Foi calculada a vida útil para situações extremas e chegou-se aos seguintes valores:

- $ESL_{\text{máx}} = 67,8$ anos;
- $ESL_{\text{mín}} = 7,2$ anos.

E para condições normais de utilização, manutenção, execução e projecto do sistema ETICS, intervindo apenas os factores relacionados com o ambiente exterior, chegou-se aos seguintes valores:

- $ESL = 30$ anos.

A vida útil do sistema é muito dependente de todos os agentes estudados, embora se considere que o factor que influencia mais a durabilidade dos ETICS é o ambiente exterior.

O método referido possibilita estimar a vida útil do sistema, sendo esta uma informação bastante útil na diferenciação dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior que actualmente existem.

Por outro lado, esta informação permite planear as operações de manutenção a que o sistema estará sujeito durante a sua vida útil.

O objectivo deste estudo não é ser um ponto de chegada mas sim um ponto de partida para desenvolvimentos futuros.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Gaspar, P. Manuel. *Metodologia para o cálculo da durabilidade de rebocos exteriores correntes*. Dissertação elaborada para a obtenção do grau de Mestre em Construção pelo IST. Dezembro 2002.
- [2] Lucas, José A. Carvalho. *Classificação e descrição geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou de betão*. LNEC, Lisboa, 1990.
- [3] Mateus, Ricardo Filipe. *Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, 2004.
- [4] Freitas, Vasco Peixoto de. *Isolamento térmico pelo exterior. Reboco delgado armado sobre poliestireno expandido – ETICS*. Maxit Group. Dezembro de 2002
- [5] Falorca, Jorge Gabriel Furtado, *Modelo para plano de inspecção e manutenção em edifícios correntes*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, FCTUC-DEC , 2004.
- [6] APICER – Associação Portuguesa da Industria de Cerâmica, *Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos*. APICER, Coimbra, 2003
- [7] Regulamento de Segurança contra Incêndio. *Decreto-Lei n.º 64/90 de 21 de Fevereiro, Decreto-Lei n.º 61/90 de 15 de Fevereiro*. Resolução do Conselho de Ministros n.º 31/89, Porto Editora, 1991.
- [8] Lucas, José A. Carvalho. *Exigências Funcionais de Revestimentos de Paredes*. LNEC, Lisboa, 1996.
- [9] European Organization for Technical Approvals (EOTA). *Guideline for european technical approval of Exterior Thermal Insulation Composite Systems with rendering, ETAG 004*, EOTA, Brussels, 2000;
- [10] RSA – Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes. *Decreto-lei n.º 235/83, de 31 de Maio*. Imprensa Nacional – Casa da Moeda, Lisboa, 1984.
- [11] Quintela, Marisa Betânia de Oliveira Antunes. *Durabilidade de Revestimentos Exteriores de Parede em Reboco Monocamada*. Dissertação elaborada para a obtenção do grau de Mestre em Construções de Edifícios pela FEUP. Porto, Março 2006.
- [12] EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS (EOTA). *Assumption of Working Life of Construction Products in Guideline for European Technical Approval, European Technical Approvals and Harmonized Standards – Guidance Document 002*. EOTA, Bruxelas, December 1999.
- [13] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). *Buildings and constructed assets – Service Life Planning — Part 1: General principles. ISO 15686-1:2001*. First edition, B.S.I., United Kingdom, September 2000.
- [14] Corvacho, M.^a Helena. *Durabilidade da Construção. Metodologia do projecto para a durabilidade. Planeamento da vida útil de um edifício*. Texto de apoio à disciplina de Patologia da Construção do Mestrado em Reabilitação do Património Edificado, FEUP. Porto, 2000.
- [15] LNEC – Laboratório de Engenharia Civil, *Directivas UEAtc para a homologação de sistemas de isolamento térmico exterior de fachadas por revestimento delgado sobre isolante*, LNEC, Lisboa, 1980.