



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Civil



Reabilitação térmica de edifícios residenciais: propostas de intervenção

JOÃO CARLOS MARTINS LOPES DA SILVA
(Licenciado)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Civil

(Documento Definitivo)

Orientador:

Mestre Manuel Brazão de Castro Farinha

Júri:

Presidente: Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos

Vogais:

Mestre Manuel Brazão de Castro Farinha

Mestre Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva

Dezembro de 2012

RESUMO

O parque edificado português, no que concerne ao setor residencial é genericamente um parque envelhecido. Uma parte significativa encontra-se bastante degradada, exigindo intervenções que visem melhorar as suas características de habitabilidade, sendo que muitos deles por terem sido construídos antes da existência de qualquer regulamentação térmica, apresentam uma deficiente qualidade térmica e energética, que se traduz, fundamentalmente, em envolventes com um isolamento térmico insatisfatório ou inexistente.

A reabilitação térmica e energética de edifícios constitui uma importante via para a correção de situações de inadequação funcional, proporcionando uma melhoria na qualidade térmica e nas condições de conforto dos ocupantes, permitindo reduzir o consumo de energia para aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação, possibilitando ainda em muitos casos, a correção de patologias ligadas à presença de humidade e à degradação do aspeto nos edifícios.

No trabalho, graças à investigação bibliográfica, publicações da especialidade, comunicações em seminários e sites comerciais, foram identificadas as principais patologias que podem ocorrer na envolvente opaca exterior de edifícios residenciais e apresentadas propostas de reabilitação térmica para os diversos elementos que a constituem (paredes, coberturas e pavimentos). Estudou-se mais pormenorizadamente as paredes, elementos da envolvente que regra geral apresentam maior área em contato com o ambiente exterior, apresentando soluções que recorrem à utilização de isolamento térmico pelo exterior, como é o caso dos ETICS e dos revestimentos aderentes constituídos por argamassas isolantes.

Concluiu-se que, qualquer que seja o elemento a reabilitar, dispomos de soluções para a sua reabilitação térmica, a qual deve considerar aspetos técnicos, económicos, sociais e ambientais.

Palavras chave: Reabilitação térmica, reabilitação energética, patologia, ETICS, argamassa térmica, qualidade térmica,

ABSTRACT

The portuguese existing buildings may in general be considered outdated in what concerns the residential sector. A significant part of it is deteriorated and in need of several interventions in order to improve habitability characteristics. Besides, as many of the houses were built before the existence of any kind of thermal regulation, they present a deficient thermal and energetic quality which is particularly reflected in poor or nonexistent thermal insulation envelopes.

Thermal and energetic building rehabilitation represents an important way to correct situations of functional inadequacy, offering an improvement in thermal quality and in the comfort of people living conditions, by reducing energy consumption for heating, cooling, ventilation and lighting and in many cases giving the opportunity to correct pathologies connected with humidity and with the deterioration of the appearance of the buildings.

In this study, with the help of bibliographic research, specialized publications, attendance of seminars and commercial websites, it was possible to identify the main pathologies that may occur on the external opaque envelope of residential buildings and to present proposals of thermal rehabilitation for its different elements (walls, roofing and pavements). The walls were studied in detail, as elements of the envelope that in general present a larger area of contact with the outdoor environment and solutions that use thermal insulation from the outside, such as the ETICS and the adherent coverings made of insulated mortars were presented.

To conclude it is clear that no matter the element for rehabilitation is, there are solutions for its thermal rehabilitation which must consider technical, economic, social and environmental aspects.

Keywords: thermal rehabilitation, energetic rehabilitation, pathology, ETICS, thermal mortar, thermal quality

AGRADECIMENTOS

Sendo uma dissertação de mestrado o culminar de um trabalho desenvolvido ao longo de vários anos, existem contributos de diversa natureza que não posso deixar de referir, pelo que desejo expressar os meus agradecimentos:

Ao Mestre Manuel Brazão de Castro Farinha pela disponibilidade que demonstrou desde o primeiro momento e pela valiosa contribuição que deu ao longo da realização da presente dissertação.

Aos meus Amigos, que foram companhia, apoio e amizade durante este percurso.

Aos meus familiares pela motivação, incentivo e apoio.

ÍNDICE DO TEXTO

1.	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento do tema.....	1
1.2	Objetivos do TFM.....	2
1.3	Metodologia.....	2
1.4	Estrutura do TFM.....	3
2.	Caracterização do comportamento térmico de edifícios.....	4
2.1	Trocas de calor em edifícios.....	5
2.1.1	Trocas por condução através da envolvente.....	5
2.1.1.1	Zonas correntes.....	5
2.1.1.2	Pontes térmicas.....	5
2.1.1.3	Trocas de calor através do solo.....	6
2.2	Trocas de calor por renovação do ar.....	7
2.3	Ganhos solares através dos envidraçados.....	7
2.4	Ganhos internos.....	8
2.5	Inércia térmica.....	8
3.	Patologias.....	9
3.1	Patologias inerentes a fenómenos higrotérmicos.....	9
3.1.1	Condensações superficiais.....	9
3.1.2	Desenvolvimento de bolores.....	9
3.1.3	Aparecimento de manchas.....	10
3.1.4	Degradação de revestimentos.....	10
3.1.5	Condensações internas.....	11
3.2	Patologias não inerentes a fenómenos higrotérmicos.....	12
3.3	Fenómenos responsáveis por patologias em zonas de pontes térmicas.....	14
3.3.1	Ações de origem térmica.....	15
3.3.2	Variações do teor de humidade dos tijolos cerâmicos.....	21
4.	Reabilitação energética de edifícios.....	24
4.1	Reabilitação térmica da envolvente.....	25
4.1.1	Reabilitação térmica das partes opacas.....	25
4.1.2	Reforço das propriedades dos vãos envidraçados.....	26
4.1.3	Recurso a soluções solares passivas.....	26
4.2	Recurso a tecnologias solares ativas.....	27
4.3	Reabilitação energética dos sistemas e instalações.....	28
4.3.1	Melhoria das condições de iluminação.....	28
4.3.2	Melhoria da eficiência dos sistemas de climatização.....	28
4.3.3	Melhoria da eficiência dos equipamentos para produção de AQS.....	29

5.	Soluções de reabilitação térmica da envolvente opaca exterior	30
5.1	Reabilitação térmica das paredes exteriores	30
5.1.1	ETICS	31
5.1.1.1	Vantagens dos ETICS.....	31
5.1.1.2	Desvantagens dos ETICS	33
5.1.1.3	Constituição do sistema	34
5.1.1.3.1	Isolamento térmico	35
5.1.1.3.2	Fixações	36
5.1.1.3.3	Armadura do revestimento	36
5.1.1.3.4	Camada de base do acabamento	37
5.1.1.3.5	Primário	37
5.1.1.3.6	Acabamento final.....	37
5.1.1.3.7	Acessórios	38
5.1.1.4	Cuidados de aplicação	39
5.1.1.5	Escolha do revestimento	41
5.1.1.6	Patologias dos ETICS	42
5.1.1.6.1	Visualização das juntas das placas	42
5.1.1.6.2	Alteração das cores da superfície	43
5.1.1.6.3	Crescimento microbiológico	43
5.1.1.6.4	Deficiente planeza do sistema	44
5.1.1.6.5	Fissuração do revestimento	45
5.1.1.6.6	Empolamento do acabamento	48
5.1.1.6.7	Descasque do acabamento	49
5.1.1.6.8	Empolamento das placas	49
5.1.1.6.9	Deterioração do recobrimento das cantoneiras de reforço.....	50
5.1.1.6.10	Perfuração do sistema	51
5.1.1.6.11	Dessolidarização do sistema	52
5.1.2	“Vêture”	53
5.1.3	Fachada ventilada	54
5.1.3.1	Elementos constituintes.....	55
5.1.3.2	Fixação de fachadas	56
5.1.3.3	Revestimento exterior.....	57
5.1.3.4	Patologias em paredes ventiladas	57
5.1.4	Revestimentos aderentes constituídos por Argamassa Isolante	58
5.1.4.1	Sistema ISODUR.....	59
5.1.5	Argamassas Térmicas Sustentáveis	65
5.1.5.1	Materiais de mudança de fase (Phase Change Material)	66
5.1.5.2	Utilização dos PCM’s	67
5.1.6	Painéis isolantes pré-fabricados fixados contra a parede.....	68
5.1.7	Contra-fachada executada pelo lado interior	68

5.1.8	Isolamento na caixa-de-ar.....	68
5.2	Reabilitação térmica das coberturas.....	69
5.2.1	Coberturas inclinadas.....	69
5.2.2	Coberturas em terraço.....	72
5.3	Reabilitação térmica de pavimentos.....	80
5.3.1	Isolante aplicado na zona inferior.....	80
5.3.2	Isolante aplicado na zona intermédia.....	80
5.3.3	Isolante aplicado na zona superior.....	81
6	Conclusões.....	82
6.1	Conclusões do TFM.....	82
6.2	Recomendações de propostas de estudos futuros.....	83
	Referências Bibliográficas.....	84
	ANEXO A.....	I
	ANEXO B.....	II
	ANEXO C.....	III
	ANEXO D.....	IV
	ANEXO E.....	V
	ANEXO F.....	VII
	ANEXO G.....	IX
	ANEXO H.....	XI
	ANEXO I.....	XII

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1	Balanco térmico de um edifício	4
Fig. 2.2	Ponte térmica devido à transição entre diferentes materiais (pilar de betão).....	6
Fig. 2.3	Ponte térmica devida a alterações de espessura	6
Fig. 2.4	Ponte térmica num cunhal	6
Fig. 2.5	Ponte térmica devida à ligação da laje com fachada.....	6
Fig. 3.1	Condensações e bolores em zonas de ponte térmica.....	10
Fig. 3.2	Manchas na superfície exterior: "fantasmas"	10
Fig. 3.3	Fissuração horizontal e desprendimento do revestimento	13
Fig. 3.4	Desprendimento e destacamento das forras cerâmicas de correção térmica.....	13
Fig. 3.5	Deslocamento do pano exterior no topo de laje e ao longo da forra exterior	13
Fig. 3.6	Fissuração dos revestimentos e da alvenaria em zona de cunhal	13
Fig. 3.7	Fissuração verificada na zona da parede apoiada em laje em consola	14
Fig. 3.8	Colapso de um pano de parede.....	14
Fig. 3.9	Fissuração típica devida aos movimentos da laje de cobertura	17
Fig. 3.10	Expansão bidimensional: Efeito nos cunhais.....	17
Fig. 4.1	Integração de células fotovoltaicas em envidraçados	27
Fig. 5.1	Continuidade do isolamento térmico permite reduzir as pontes térmicas	32
Fig. 5.2	Comparação entre gradientes de temperaturas	32
Fig. 5.3	Sistema de isolamento térmico por revestimento espesso.....	35
Fig. 5.4	Composição esquemática de um ETICS constituído por reboco delgado	35
Fig. 5.5	Limite inferior do sistema numa zona enterrada.....	38
Fig. 5.6	Junta de dilatação estrutural com perfil cobre-juntas	38
Fig. 5.7	Junta de dilatação estrutural sem perfil cobre-juntas	39
Fig. 5.8	Ligação do sistema com um vão mantendo o peitoril original	39
Fig. 5.9	Visualização das juntas das placas	43
Fig. 5.10	Manchas de escorrimento.....	43
Fig. 5.11	Crescimento microbiológico	44
Fig. 5.12	Falta de planeza do sistema	45
Fig. 5.13	Vários tipos de fissuração	45
Fig. 5.14	Posicionamento das placas do isolante do ETICS	46
Fig. 5.15	Reforço das juntas entre perfis de arranque e laterais	46
Fig. 5.16	Reforços da armadura no contorno dos vãos de fachada	47
Fig. 5.17	Empolamento do acabamento	48
Fig. 5.18	Descasque do acabamento	49
Fig. 5.19	Empolamento das placas	50
Fig. 5.20	Degradação do recobrimento do perfil de arranque	50
Fig. 5.21	Pormenor da solução proposta	51

Fig. 5.22 Perfuração do sistema	51
Fig. 5.23 Dessolidarização e queda generalizada do sistema.....	52
Fig. 5.24 Tipo de revestimentos pré-fabricados com isolante	53
Fig. 5.25 Esquema de componentes pré-fabricados	53
Fig. 5.26 Esquema de um sistema de fachada ventilada	55
Fig. 5.27 Exemplos de fixação oculta	56
Fig. 5.28 Exemplos de fixação à vista.....	57
Fig. 5.29 Possibilidades de aplicação do sistema ISODUR	60
Fig. 5.30 Projeção mecânica do reboco térmico.....	61
Fig. 5.31 Regularização e aperto da argamassa Isodur	61
Fig. 5.32 Sistema Isodur em duas camadas.....	61
Fig. 5.33 Aplicação da camada de regularização e acabamento Flexdur	62
Fig. 5.34 Acabamento areado do Flexdur	62
Fig. 5.35 Aplicação do primário SecilTEK AD 20.....	63
Fig. 5.36 Sistema Isodur com acabamento em acrílico	63
Fig. 5.37 Sistema Isodur com acabamento estanhado (liso).....	64
Fig. 5.38 Aplicação do cimento cola ADHERE Multiflex	64
Fig. 5.39 Sistema Isodur com revestimento cerâmico ou pedra natural.....	64
Fig. 5.40 Estrutura dos PCM's	65
Fig. 5.41 Variação de temperaturas ao longo de 24 horas	67
Fig. 5.42 Contra-fachada com isolante na caixa de ar	68
Fig. 5.43 Cobertura inclinada com desvão habitável	70
Fig. 5.44 Esquema de ventilação sob as telhas.....	71
Fig. 5.45 Cobertura com desvão não-habitável: isolamento na esteira horizontal	71
Fig. 5.46 Cobertura invertida sobre impermeabilização existente ou nova	74
Fig. 5.47 Cobertura invertida sobre isolante suporte de impermeabilização	74
Fig. 5.48 Cobertura invertida sobre proteção pesada rígida existente	75
Fig. 5.49 Aplicação sobre uma impermeabilização existente	75
Fig. 5.50 Aplicação sobre uma solução de isolante suporte de impermeabilização	76
Fig. 5.51 Aplicação de nova solução sobre proteção pesada rígida existente	76
Fig. 5.52 Diferentes camadas de cobertura verde	79
Fig. 5.53 Pavimento sobre espaço exterior ou não-aquecido.....	80
Fig. 5.54 Pavimento sobre espaço exterior ou não-aquecido.....	81

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1	Patologias em zona de ponte térmica.....	12
Quadro 4.1	Condutibilidade térmica de alguns isolantes.....	25
Quadro 4.2	Níveis de qualidade térmica da envolvente opaca	26
Quadro 4.3	Exemplos de sistemas passivos	27
Quadro 5.1	Algumas informações relativas aos principais agentes microbiológicos	44
Quadro 5.2	Soluções de reforço de isolamento térmico	69
Quadro 5.3	Soluções de isolamento térmico para coberturas inclinadas.....	72
Quadro 5.4	Soluções de isolamento térmico para coberturas horizontais	72
Quadro 5.5	Soluções de isolamento térmico de pavimentos sobre espaços exteriores	81

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 5.1 Grau de confiança em função da natureza do suporte.....	55
Tabela 5.2 Características físicas e mecânicas.....	58
Tabela 5.3 Características físicas	59

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACERMI - Association pour la Certification des Matériaux Isolants

AQS - Águas Quentes Sanitárias

ATE - Aprovações Técnicas Europeias

EOTA - European Organisation for Technical Approvals

EPS - Poliestireno Expandido Moldado

ETICS - External Thermal Insulation Composite System

ICB - Aglomerado de Cortiça Expandida

ICESD - Inquérito ao Consumo de Energia do Setor Doméstico

PCM - Phase Change Material

PIR - Poliisocianurato

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

UETA - Union Européenne pour l'Agrément Technique dans la Construction

XPS - Poliestireno Expandido Extrudido

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	DESIGNAÇÃO	UNIDADES
ΔL	Varição de comprimento	$[m]$
L_0	Comprimento inicial do elemento	$[m]$
α	Coefficiente de dilatação térmica linear	$[W / m^2 \text{ } ^\circ C]$
ΔT	Varição de temperatura do material	$[^\circ C]$
U	Coefficiente de transmissão térmica	$[W / m^2 \text{ } ^\circ C]$
U_{ref}	Coefficiente de transmissão térmica de referência	$[W / m^2 \text{ } ^\circ C]$
λ	Condutibilidade térmica	$[W / m \text{ } ^\circ C]$

1. Introdução

1.1 Enquadramento do tema

O consumo energético dos edifícios na Europa, corresponde a uma parcela de aproximadamente 40% dos consumos totais de energia, sendo que mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética, o que se traduziria numa redução anual de quatrocentos milhões de toneladas de dióxido de carbono, quase a totalidade do compromisso da União Europeia no âmbito do protocolo de Quioto, contribuindo assim de forma muito significativa para a redução das emissões de gases com consequências no aquecimento global.

Em Portugal, segundo informação do Balanço Energético, o consumo de energia no sector doméstico representava, em 2009, 17.7% do total do consumo final de energia, apresentando uma taxa média de crescimento anual de 1.5% entre 1989 e 2009 [1]. No inquérito realizado ao Consumo de Energia no Setor Doméstico 2010, consideraram-se apenas os alojamentos familiares de residência principal, pelo que para efeitos do consumo de energia no setor doméstico, foi considerado um universo de 3 932 010 alojamentos, localizados no Continente, Região Autónoma dos Açores e Região Autónoma da Madeira.

A época de construção dos edifícios é uma variável muito importante no que se refere ao consumo de energia, uma vez que nos edifícios mais antigos as perdas de energia são maiores. Em Portugal, 7,5% dos alojamentos foram construídos anteriormente a 1946, 81.7% entre 1946 e 2000, e 10,8% após o ano 2000. Numa análise em termos regionais, constata-se que no Continente o período de maior construção foi de 1981-1999 (37,6%), seguido do período 1961-1980 (34,9%). Na Região Autónoma dos Açores a construção dos edifícios foi relativamente uniforme para os mesmos períodos, sendo a média aproximadamente de 25%. Na Região Autónoma da Madeira, o período de maior construção foi entre 1981 e 1999 (35,4%), seguido do período de 1961-1980 (25,6%).

Apesar do isolamento dos edifícios ser um dos fatores que mais contribui para a sua eficiência energética, constata-se que a nível nacional, a utilização de isolamentos térmicos nas janelas ainda é reduzida, dado que os alojamentos apresentam maioritariamente “vidros simples” [1]. Também quanto ao isolamento de paredes e cobertura, verifica-se que apenas 21,1% dos alojamentos têm isolamento nas paredes exteriores e, entre os alojamentos que se localizam no último piso (moradias e apartamentos localizados no último andar), só 17% têm isolamento na cobertura.

Ao analisar a possibilidade de incluir medidas de eficiência energética num edifício é importante não só considerar o seu grau de deterioração, devido a diversos fatores como, por exemplo, o envelhecimento natural dos materiais ou a falta de manutenção, mas também as características dos edifícios que podem conduzir a uma redução do seu desempenho térmico e a consumos de energia elevados, tanto na estação de aquecimento, como na estação de arrefecimento. Entre essas características, destacam-se:

- Isolamento térmico insuficiente nos elementos opacos da envolvente;
- Existência de pontes térmicas na envolvente do edifício;
- Presença de humidade;
- Baixo desempenho térmico de vãos envidraçados e portas (perdas de calor desproporcionadas por transmissão térmica e por infiltrações de ar excessivas);
- Falta de proteções solar adequadas nos vãos envidraçados;
- Ventilação não-controlada, criando maiores necessidades energéticas em aquecimento no Inverno, ou ventilação insuficiente, conduzindo a maiores níveis de humidade relativa no Inverno e sobreaquecimento no Verão, e o conseqüente desconforto dos ocupantes, fenómenos de condensação e baixo nível de qualidade do ar interior.

Face ao exposto, pode afirmar-se que o parque residencial português, principalmente o edificado mais antigo, exige intervenções conducentes à melhoria das condições de habitabilidade, constituindo a reabilitação térmica e energética uma via para a melhoria das condições de conforto, permitindo a redução do consumo energético, a correção de patologias relacionadas com a presença de humidade e a degradação do aspeto dos edifícios.

1.2 Objetivos do TFM

Como objetivos da presente dissertação podemos enunciar:

- Identificação das principais causas que originam o aparecimento de patologias na envolvente opaca exterior em edifícios residenciais;
- Identificação das principais patologias;
- Propostas de reabilitação térmica da envolvente opaca exterior destes edifícios.

Constitui ainda objetivo deste trabalho fazer uma abordagem à utilização de soluções não tradicionais, ao nosso dispor, na reabilitação térmica de edifícios.

1.3 Metodologia

A realização da presente dissertação e concretização dos objetivos enunciados anteriormente, baseou-se numa pesquisa bibliográfica recorrendo, entre outras entidades, à biblioteca do Instituto Superior Técnico e aos Serviços de Documentação e Informação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; consulta de diversas publicações e trabalhos realizados, diretamente relacionados com o tema; recurso a artigos publicados por especialistas da Faculdade de Engenharia de Universidade do Porto e da Universidade de Coimbra; utilização de informação disponibilizada em sites da especialidade, nomeadamente Patorreb e Verlag-Dashöfer.

A abordagem às argamassas térmicas baseou-se em artigos publicados por uma equipa de investigadores da Secil e em comunicações apresentadas durante o 4º Congresso Português

de Argamassas e ETICS, que decorreu em Coimbra, no final de Março de 2012. Procedeu-se de modo semelhante, no desenvolvimento da temática das argamassas térmicas sustentáveis, utilizando informação inscrita em artigos publicados por investigadores da Universidade do Minho e em comunicações apresentadas durante o congresso anteriormente referido.

Relativamente às várias soluções construtivas apresentadas no trabalho, parte da informação foi recolhida em vários *sites*, como os da Isodur e Maxit-Weber, entre outros.

Cabe-me salientar que o trabalho desenvolvido não se baseou em estudos práticos ou de estudo de um caso, sendo portanto, um trabalho teórico que pretende sistematizar informação relevante e atual sobre formas de atuação face à reabilitação térmica da envolvente opaca exterior de edifícios residenciais.

1.4 Estrutura do TFM

A presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos, conforme se descreve seguidamente:

Capítulo 1 – Introdução: após uma breve introdução ao tema abordado, identificam-se os objetivos do trabalho, a metodologia utilizada e a estrutura da dissertação.

Capítulo 2 – Caracterização do Comportamento Térmico de Edifícios: neste capítulo faz-se uma breve revisão dos conceitos sobre balanço energético dos edifícios.

Capítulo 3 – Patologias: abordam-se algumas das patologias mais frequentes, que ocorrem na envolvente opaca exterior, inerentes ou não a fenómenos higrotérmicos, assim como os fenómenos físicos responsáveis por patologias em zonas de pontes térmicas

Capítulo 4 – Reabilitação energética de edifícios: apresentam-se as principais medidas de reabilitação energética. Faz-se uma breve referência à condutibilidade térmica de alguns isolantes e aos níveis de qualidade térmica da envolvente.

Capítulo 5 - Soluções de reabilitação térmica da envolvente opaca exterior: neste capítulo apresentam-se soluções de reabilitação térmica de paredes exteriores, coberturas inclinadas, coberturas e terraço e pavimentos. No caso das paredes é feito um estudo mais pormenorizado dos ETICS e do sistema Isodur.

Capítulo 6 – Conclusões e futuros desenvolvimentos: neste capítulo são apresentadas as principais conclusões e sugeridas recomendações para futuros trabalhos.

2. Caracterização do comportamento térmico de edifícios

Num edifício, pode-se assegurar as condições de conforto higrotérmico dos utilizadores através de vários processos. Diferentes formas de envolvente e constituição podem apresentar condições de conforto semelhantes, a que corresponderão, no entanto, custos iniciais e custos de exploração diferentes. Os últimos são particularmente importante entre nós, pelo que devemos ter em atenção as soluções construtivas adotadas, as quais devem proporcionar condições mínimas de conforto, recorrendo com moderação a equipamentos de aquecimento e/ou arrefecimento.

Com a caracterização térmica pretende-se fazer a simulação do balanço térmico entre os ambientes interior e exterior do edifício [2], de modo a que se possa:

- a) Em condições de Inverno:
 - Determinar, em edifícios com ocupação permanente, o fluxo de calor a fornecer e a potência do aquecimento necessária para que a sua temperatura interior seja aproximadamente constante, ou superior a determinado valor mínimo;
 - Determinar, em edifícios com ocupação parcial, o fluxo de calor a fornecer e potência do equipamento necessária para que a sua temperatura interior permaneça aproximadamente constante, em torno de determinado valor limite inferior, ao longo de um determinado período do dia.
- b) Em condições de Verão:
 - Determinar o fluxo de calor necessário evacuar do edifício e definir a potência do equipamento de arrefecimento para que a temperatura do ar interior não exceda determinado valor limite;
 - Determinar a temperatura no interior do edifício, na ausência de meios de climatização artificial.

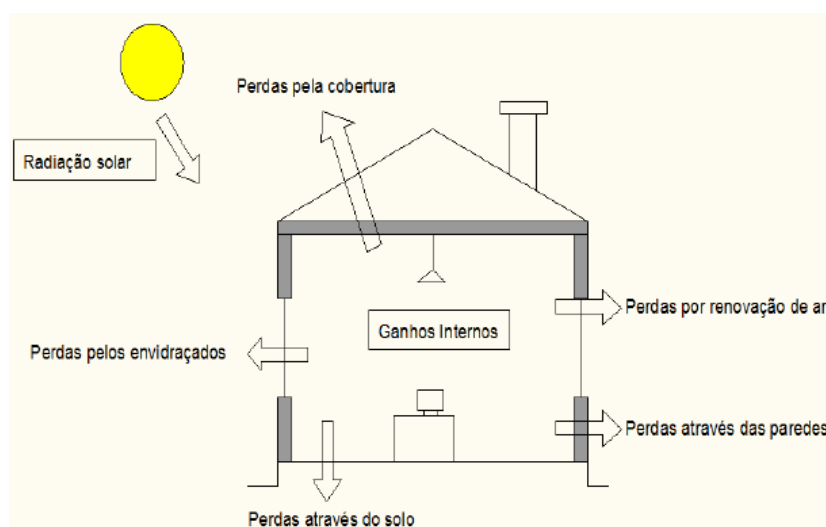


Fig. 2.1 Balanço térmico de um edifício [3]

2.1 Trocas de calor em edifícios

As trocas de calor que ocorrem nos edifícios classificam-se em perdas ou ganhos de calor. Relativamente às primeiras, ocorrem através da envolvente e dividem-se em perdas por condução através dos elementos da construção e perdas devidas à renovação do ar interior.

No que se refere aos ganhos de calor, ocorrem também através da envolvente, havendo ainda a contabilizar uma parcela de ganhos internos, que decorrem da libertação de calor pelo metabolismo humano e por efeito de Joule (com exceção do caso em que é utilizado para efeitos de climatização) associado ao funcionamento dos equipamentos dos edifícios [2]. Relativamente aos ganhos através da envolvente, consideram-se aqueles que ocorrem por condução através dos elementos de construção, os que se devem à renovação do ar interior e os que derivam da radiação solar.

Este balanço, entre perdas e ganhos de calor, é condicionado pelas propriedades e características de constituição dos elementos de construção, que faz com que o comportamento térmico de um edifício seja um processo complexo de prever e quantificar.

2.1.1 Trocas por condução através da envolvente

2.1.1.1 Zonas correntes

O termo *zona corrente* refere-se às zonas dos elementos de construção com um padrão uniforme de geometria e constituição interna.

As trocas de calor por condução, através das zonas correntes da envolvente, dependem em grande medida das propriedades térmicas dos materiais, sendo traduzidas por parâmetros como, por exemplo, a condução térmica e o coeficiente de transmissão térmica, sendo o segundo parâmetro aquele que é geralmente o preferido para contabilizar as trocas de calor através do elemento, pois liga diretamente as temperaturas dos ambientes adjacentes e estas [2].

Salienta-se o facto de, no Inverno, o efeito da radiação solar sobre a envolvente exterior ser favorável sob o ponto de vista das necessidades de aquecimento, não sendo por isso, normalmente, contabilizado. No Verão, a situação inverte-se, uma vez que os níveis de radiação solar que incidem sobre a envolvente exterior podem fazer subir a sua temperatura para valores significativamente mais altos do que a temperatura do ar exterior, o que se torna condicionante em termos dos fluxos de calor por condução gerados [2].

2.1.1.2 Pontes térmicas

Define-se como ponte térmica, toda e qualquer zona da envolvente dos edifícios em que a resistência térmica é significativamente alterada em relação à zona corrente [3]. Teremos então, nas zonas de pontes térmicas, que as linhas de fluxo de calor deixam de ser retilíneas, aspeto característico de um processo unidirecional, e tomam as direções em que a resistência

oferecida à passagem de calor é menor. Esta particularidade transforma a transmissão de calor nessas zonas num processo bidimensional ou mesmo tridimensional [5].

As pontes térmicas resultam numa heterogeneidade, registando-se nessas zonas um acréscimo de trocas de calor pela envolvente. Na sua origem podemos destacar os seguintes fatores:

- Transição entre materiais com diferentes condutibilidades térmicas;
- Alterações na espessura de um elemento;
- Diferenças entre áreas internas e externas, como é o caso que ocorre nos encontros entre paredes (cunhais), entre paredes e tetos e entre paredes e pavimentos.

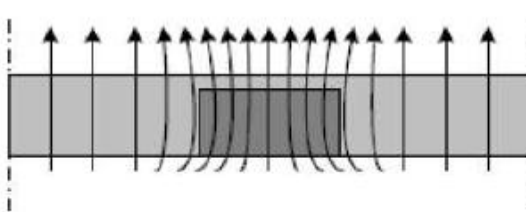


Fig. 2.2 Ponte térmica devido à transição entre diferentes materiais (pilar de betão) [5]

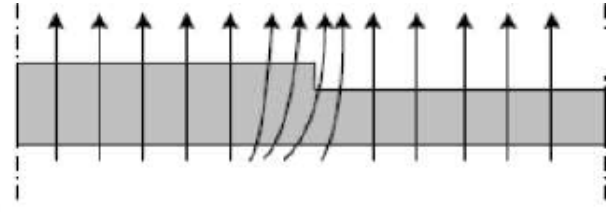


Fig. 2.3 Ponte térmica devida a alterações de espessura [5].

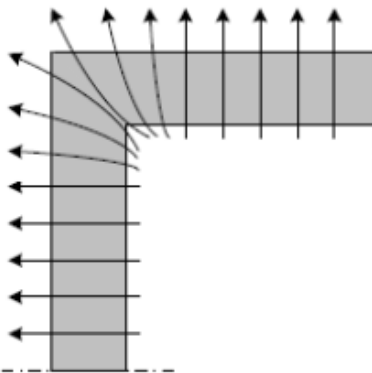


Fig. 2.4 Ponte térmica num cunhal [5]

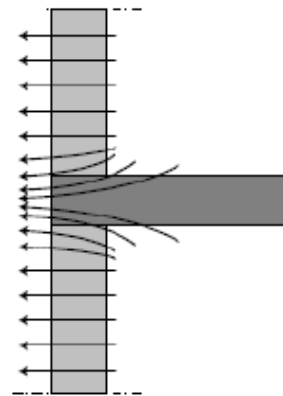


Fig. 2.5 Ponte térmica devida à ligação da laje com fachada [5]

2.1.1.3 Trocas de calor através do solo

Nos elementos de construção (paredes de caves enterradas e pavimentos assentes no terreno) em contacto direto com o solo, cujas temperaturas apresentam características de variações específicas que diferem das do ar ambiente, vão processar-se trocas de calor por condução.

Nestes casos o cálculo das trocas de calor é menos rigoroso do que noutras partes do edifício, uma vez que a avaliação das trocas de calor depende muito do conhecimento da distribuição da temperatura no solo e da sua condutibilidade que é muito variável.

2.2 Trocas de calor por renovação do ar

Por razões de higiene e salubridade do ar interior, os edifícios devem ser ventilados, seja essa ventilação feita por via natural, artificial ou híbrida.

Não se deve esquecer, no entanto, que os caudais de ventilação constituem uma fonte de troca de calor entre o interior e o exterior e de consequentes acréscimos de consumo de energia para manter as condições interiores nos níveis de conforto programados [2], pelo que devem ser reduzidos ao mínimo necessário.

No Inverno, em que a temperatura exterior se situa frequentemente abaixo da temperatura de conforto, a renovação de ar constitui uma perda de calor. De salientar a diversidade de atitudes dos utentes. Enquanto uns mantêm abertos os vãos, durante tempo excessivo, com o consequente desperdício de energia, outros não procedem a qualquer arejamento dos espaços, o que pode originar a diminuição da qualidade do ar interior e a ocorrência de condensações que podem promover o aparecimento de fungos e bolores, prejudiciais para a saúde e conforto dos ocupantes.

No período de Verão, ocorre a situação contrária à de Inverno, ou seja, a ventilação dos diferentes espaços toma um papel fundamental no arrefecimento noturno das construções.

Face ao referido anteriormente, pode afirmar-se que os valores recomendados para as taxas de renovação de ar em edifícios decorram de uma solução de compromisso entre as exigências de higiene do ar e as exigências de conforto térmico [4].

2.3 Ganhos solares através dos envidraçados

Numa construção, os envidraçados assumem particular relevância devido às perdas e ganhos de calor que ocorrem através da sua superfície. De facto, uma escolha inadequada do tipo de vidro, aliado a um uso excessivo de áreas de envidraçados, pode conduzir à necessidade da utilização de recursos de aquecimento e arrefecimento muito dispendiosos, para assegurar condições de conforto.

Na estação de aquecimento (Inverno), tem-se todo o interesse em captar a radiação solar, o que pode ser conseguido pela introdução de vãos envidraçados orientados no quadrante Sul; na estação de arrefecimento (Verão) interessa ter a menor superfície possível do envidraçado exposta a essa mesma radiação, o que pode ser conseguido através de sombreamentos adequados.

Da radiação total incidente no vidro pode afirmar-se que uma parte é refletida instantaneamente para o exterior, outra é absorvida pelo vidro, e uma terceira é transmitida através do vidro para o interior do local [2].

A parcela correspondente à radiação transmitida através do vidro, pode ser decomposta numa parcela instantânea e numa parcela diferida. A primeira passa diretamente através do envidraçado, a segunda constitui a parte de energia acumulada no elemento que depois é transferida para o interior por mecanismos de convecção e radiação [2].

Para contabilizar o total de energia transferida para o interior do local não é suficiente conhecer-se as características de transmissão instantânea do envidraçado, pelo que, para contemplar a totalidade dos efeitos, se recorre a um outro tipo de parâmetro – o fator solar do vidro, que se define como a relação entre o ganho de calor através do vidro e a radiação solar nele incidente [2]. Significa então que o fator solar do vidro, será tanto mais baixo, quanto menores forem os ganhos solares por esse vidro.

2.4 Ganhos internos

Todos os processos que decorram nos edifícios, dos quais resulte conversão de energia química ou elétrica em calor, constituem ganhos internos desses edifícios. Como principais fontes de ganhos internos de calor pode assinalar-se: as próprias pessoas que neles habitam ou trabalham, que libertam calor em resultado da sua atividade metabólica, os sistemas de iluminação elétrica que neles se instalam, e todos os outros equipamentos elétricos que neles funcionam e que dissipam calor em resultado da sua operação. Existem aparelhos que não sendo elétricos também produzem calor, nomeadamente, os fogões e as caldeiras ou esquentadores a gás, que também devem ser levados em conta na contabilização dos ganhos internos.

Considerando que, na estação de aquecimento, a existência de ganhos de calor é favorável, sob o ponto de vista de economia de energia, muitas vezes estes ganhos são ignorados no cálculo das necessidades energéticas. Caso contrário será o da estação de arrefecimento, em que sendo desfavoráveis, deverão ser contabilizados na estimativa das necessidades de arrefecimento.

2.5 Inércia térmica

A inércia térmica refere-se à capacidade de um elemento armazenar calor, libertando-o passado um determinado tempo, pelo que pode ser utilizada para absorver os ganhos de calor durante o dia (reduzindo a carga de arrefecimento) e libertá-los à noite (reduzindo a carga de aquecimento) [2] contribuindo para uma maior estabilidade das temperaturas interiores, relativamente às oscilações térmicas do exterior e permitir uma utilização mais racional de energia na climatização dos espaços.

A inércia térmica depende de vários fatores, nomeadamente, da massa dos elementos da construção e da condutibilidade térmica dos materiais. Para que se possa tirar partido do mecanismo da inércia térmica de um edifício é importante que a massa de armazenamento térmico não esteja impedida de absorver calor, devido à aplicação de revestimentos termicamente resistentes ou de isolamento térmico no seu paramento interior [6].

3. Patologias

A palavra *Patologia*, de origem grega, significa *estudo das origens, sintomas e natureza das doenças*. Abordar-se-ão, neste capítulo, as patologias mais frequentes na envolvente opaca exterior, assim como os fenómenos físicos responsáveis por essas patologias, sendo considerados dois grupos:

- Patologias inerentes a fenómenos higrotérmicos
- Patologias não inerentes a fenómenos higrotérmicos

3.1 Patologias inerentes a fenómenos higrotérmicos

3.1.1 Condensações superficiais

O ar interior dos edifícios contém uma determinada quantidade de vapor de água (que depende entre outros fatores, das condições de ocupação do local, da ventilação dos espaços interiores, da quantidade de vapor trazida pelo ar exterior), à qual corresponde um valor mínimo de temperatura (temperatura de orvalho) abaixo da qual ocorrem condensações.

No Inverno, as superfícies interiores da envolvente do edifício apresentam uma temperatura inferior à do ar interior originando condensações sobre essa superfícies, quando a temperatura superficial descer abaixo da temperatura de orvalho. A possibilidade, nas zonas de ponte térmica, das temperaturas serem inferiores à temperatura de ponto de orvalho é muito maior do que na zona corrente da envolvente. Se isto acontecer estão reunidas as condições para o aparecimento das condensações mencionadas [7].

3.1.2 Desenvolvimento de bolores

A existência da humidade de condensação proporciona condições conducentes ao desenvolvimento de outras patologias, como seja o aparecimento e desenvolvimento de bolores e a degradação dos revestimentos. O aparecimento de bolores pode ocorrer mesmo sem haver condensações visíveis, basta que estejam reunidas algumas condições, como por exemplo:

- Temperatura interior entre os 5°C e os 25°C e existência de oxigénio em quantidade suficiente;
- Níveis sensivelmente constantes e elevados de humidade durante um certo período de tempo;
- Um fundo nutriente apropriado;
- Ausência de luz solar incidente nas zonas de ponte térmica dentro do compartimento;
- Fraca movimentação de ar, condição frequente nas zonas mais problemáticas.

A conjugação da presença de bolores e existência de humidade de condensação conduzem a situações de degradação das pinturas e revestimentos, com efeitos inestéticos desagradáveis e possíveis problemas de saúde nos ocupantes [7].

A figura seguinte mostra patologias ocorridas em zona de ponte térmica.



Fig. 3.1 Condensações e bolores em zonas de ponte térmica [7]

3.1.3 Aparecimento de manchas

O fenómeno da termoforese, consiste na deposição diferencial de poeiras em suspensão, sendo a causa mais frequente do aparecimento das manchas nas paredes. Este fenómeno será tanto mais acentuado quanto maior for a diferença de temperaturas superficiais entre as várias zonas da parede, que resultam dos diferentes valores da resistência térmica que as soluções construtivas das diversas zonas apresentam. Esta patologia não tem quaisquer consequências na qualidade e durabilidade do revestimento, afetando apenas o aspeto estético do edifício. A sua resolução passa pela uniformização da temperatura superficial o que pode conseguir-se pela aplicação de um novo revestimento, podendo recorrer-se à aplicação de um sistema de isolamento térmico pelo exterior, tipo ETICS, ou revestimento descontínuo, do tipo fachada ventilada.



Fig. 3.2 Manchas na superfície exterior: "fantasmas" [8]

3.1.4 Degradação de revestimentos

A degradação dos revestimentos pode ser originada pela heterogeneidade das temperaturas superficiais, pela presença de humidade e pelo desenvolvimento de bolores.

A humidificação dos materiais de revestimento altera a sua condutibilidade térmica. Nos revestimentos cerâmicos podem surgir manchas, enquanto os revestimentos de madeira, cortiça ou similares podem apodrecer. Certos revestimentos e pinturas amolecem sob a ação da humidade [3], alterando o seu brilho, podendo surgir manchas inestéticas, enquanto os papéis de paredes se podem descolar.

O desenvolvimento de bolores acarreta muitas vezes a degradação do revestimento da superfície onde ocorre, nomeadamente, o descasque da pintura.

3.1.5 Condensações internas

Além das condensações superficiais, os elementos construtivos, estão sujeitos à ocorrência de condensações internas que acontecem sempre que num dado ponto a pressão parcial do vapor de água, que atravessa o elemento de construção por difusão, iguala a pressão de saturação correspondente à temperatura nesse ponto [9].

As condensações que ocorrem no interior das paredes normalmente não originam distúrbios visíveis, podendo no entanto provocar o apodrecimento de materiais orgânicos e o destaque de materiais. Também pode acontecer que o acréscimo do teor de água dos materiais que constituem as paredes, devido à absorção da água condensada, diminua a resistência térmica desses materiais o que pode, eventualmente, originar a ocorrência de condensações superficiais.

Para minimizar os riscos de ocorrência deste tipo de condensação, segundo [10], devem seguir-se os seguintes critérios de conceção:

- Adequado controlo do clima interior dos edifícios (aquecimento e ventilação dos espaços);
- Do interior para o exterior de um elemento construtivo, admitindo que o fluxo de vapor se verifica do interior para o exterior, a resistência à difusão de vapor água das camadas deverá diminuir progressivamente. Os componentes com elevada resistência à difusão de vapor (como por exemplo as barreiras pára-vapor) deverão ser aplicados pelo interior das camadas de isolamento térmico, enquanto que pelo exterior se deverão aplicar componentes de elevada permeância ao vapor;
- Os espaços de ar no interior dos elementos construtivos onde se possa verificar a acumulação de humidade deverão ser ventilados pelo exterior das camadas de isolamento térmico e de eventuais barreiras pára-vapor;
- Evitar a aplicação de componentes pouco permeáveis em planos distintos do elemento construtivo, na medida em que a humidade que possa atingir o espaço intermédio tem muitas dificuldades de secagem;
- Nas coberturas em terraço invertidas, o sistema de impermeabilização funciona como barreira pára-vapor colocada pelo interior do isolamento térmico. Deve ser dada atenção às camadas de forma de grande espessura, devendo ser garantida a sua secagem adequada antes da colocação do sistema de impermeabilização;

- Nos pavimentos térreos com revestimento pouco permeável ao vapor e sensíveis à humidade deve-se colocar uma barreira pára-vapor de permeância não superior a $0,001 g / (m^2 \cdot h \cdot mmHg)$ entre o terreno e o revestimento de pavimento.

3.2 Patologias não inerentes a fenómenos higrotérmicos

De uma maneira geral pode afirmar-se que as pontes térmicas se situam em pontos particulares, sendo que essas zonas estão sujeitas a patologias cujas causas são distintas das inerentes ao fenómeno higrotérmico, em si. De facto essas zonas são normalmente constituídas por ligações entre elementos construtivos, pontos preferenciais para a concentração de tensões [7]. Estas patologias podem originar outros problemas ou agravar as anomalias decorrentes da existência de pontes térmicas.

O quadro seguinte apresenta algumas patologias, que têm sido encontradas em zonas de pontes térmicas.

Quadro 3.1 Patologias em zona de ponte térmica

Local	Patologia
Em zona de ligação entre laje de cobertura e fachada	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fissuração horizontal do revestimento e dos elementos da alvenaria ao longo da ligação (Fig. 3.3) ▪ Destacamento e desprendimento dos revestimentos (Fig. 3.3); ▪ Desfasamento para o exterior da zona superior à fissuração.
Em zona de ligação entre laje de nível intermédio e fachada (fachadas com forras cerâmicas pelo exterior ou em sistemas de fachada tijolo de face à vista)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Esmagamento e destacamento das forras cerâmicas, com criação de “barrigas” (Fig. 3.4) ▪ Desprendimento dos elementos da forra cerâmica (Fig. 3.4); ▪ Deslocamento do pano com modificação do apoio do pano e da forra exterior, que resulta numa diminuição do mesmo (Fig. 3.5).
Em zona de cunhal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fissuração vertical do revestimento e da alvenaria, seguindo a direção das juntas de assentamento ou cortando os elementos cerâmicos (Fig. 3.6).
Em paredes de fachada apoiadas em elementos em consola	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fissuração generalizada dos revestimentos e dos elementos de alvenaria, quer na fachada principal quer na fachada lateral (fig. 3.7); ▪ Destaque dos elementos de forra cerâmica ou dos revestimentos.



Fig. 3.3 Fissuração horizontal e desprendimento do revestimento [7]

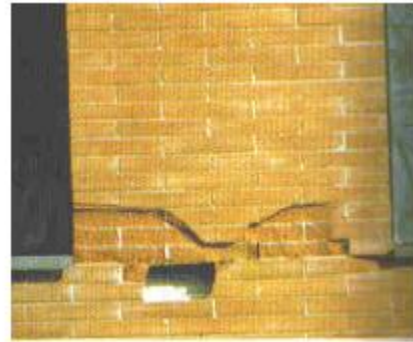


Fig. 3.4 Desprendimento e destacamento das forras cerâmicas de correção térmica [7]

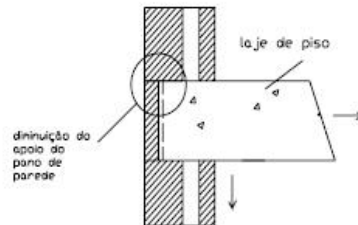


Fig. 3.5 Deslocamento do pano exterior no topo de laje e ao longo da forra exterior [7]

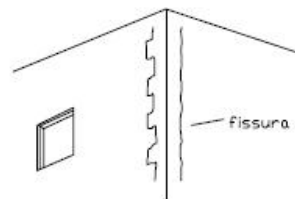


Fig. 3.6 Fissuração dos revestimentos e da alvenaria em zona de cunhal [7]



Fig. 3.7 Fissuração verificada na zona da parede apoiada em laje em consola [7]

A gravidade destas patologias será tanto menor quanto mais cedo forem detetadas e solucionadas, caso contrário podem evoluir para estados mais avançados, tais como rotura e destacamento dos próprios elementos construtivos.



Fig. 3.8 Colapso de um pano de parede [7]

Em zona de ponte térmica o sintoma que mais frequentemente se observa é o da fissuração, que se deve, na maioria dos casos, à fraca resistência mecânica nas zonas de ligação face à concentração de tensões.

A fissuração também é a principal patologia que se verifica com a adoção de soluções de correção térmica cerâmica pelo exterior e com a utilização de sistemas de alvenaria de tijolo à vista. No entanto, a situação pode piorar com o destacamento e descolagem de elementos da forra cerâmica e de elementos da própria alvenaria. É ainda mais gravoso, pela potencial instabilidade dos panos de alvenaria.

Noutras situações constata-se uma insuficiência do apoio do pano exterior, que é por si só, responsável pela instabilidade verificada. Esta insuficiência, pode conduzir ao colapso da alvenaria, por rotação do pano; tal situação raramente acontece no sistema tradicional de panos confinados.

3.3 Fenómenos responsáveis por patologias em zonas de pontes térmicas

Quando se pretende proceder ao estudo de uma patologia, muitas vezes não é fácil distinguir entre causas e efeitos, uma vez que algumas das anomalias que ocorrem são efeitos mas também causas de outras anomalias.

A maioria dos fenómenos físicos dão origem quase sempre a deformações nos elementos, as quais são as grandes responsáveis pelas anomalias mais correntes, provocando a mudança na forma dos elementos construtivos, afetando as suas características geométricas e/ou o seu posicionamento dentro do sistema onde está incluído [7].

As deformações podem ser classificadas em:

- *Deformações cíclicas, diárias, sazonais ou anuais.*
- *Deformações irreversíveis*

As primeiras são originadas pelas variações de temperatura e humidade do ambiente. Incluem-se aqui as solicitações térmicas e as variações de humidade dos materiais em face da sua exposição aos fatores climáticos.

As deformações irreversíveis podem ocorrer durante ou imediatamente após a construção, ou ocorrerem a longo prazo. Incluem-se neste grupo as expansões definitivas por humidade e as deformações por ação continuada das cargas que atuam nos elementos estruturais. As primeiras manifestam-se num período curto logo após finalização da construção, enquanto as segundas se manifestam ao longo do tempo.

3.3.1 Ações de origem térmica

Os diversos elementos construtivos estão sujeitos a variações de temperatura, causadas principalmente por solicitações térmicas exteriores devidas ao clima, e às variações da temperatura interior, estas sem grande significado relativamente às primeiras.

Os efeitos da variação sazonal, diária e horária da temperatura exterior, dependem em grande parte dos seguintes fatores: radiação solar, humidade relativa do ar, velocidade e direção do vento.

Sabe-se que a variação de temperatura conduz a uma deformação, de dilatação ou de contração, cujo valor é obtido pela seguinte expressão:

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T \quad (3.1)$$

em que:

ΔL – Variação de comprimento (m)

L_0 – Comprimento inicial do elemento (m)

α – Coeficiente de dilatação térmica linear do material ($m/m^\circ C$)

ΔT – Variação de temperatura do material ($^\circ C$)

Pode afirmar-se que a deformação verificada depende do tipo ou tipos de materiais constituintes, das dimensões do elemento e das suas condições de exposição. Todos os

elementos da envolvente vão estar sujeitos a deformações e, por consequência interagirão uns com os outros.

Destes elementos, as alvenarias revelam-se os mais sensíveis sendo que as suas deformações se devem, às deformações delas próprias e às deformações dos outros elementos a elas ligados, nomeadamente coberturas e estruturas porticadas. A incompatibilidade das deformações dos vários elementos vai originar o aparecimento de tensões nas ligações, pelo que as mal concebidas e pouco resistentes, ficam sujeitas a fenómenos de fissuração. As fissuras irão afetar a estanquidade das fachadas, facilitando a infiltração de água e humedificação dos materiais, o que, por sua vez, poderá originar mecanismos de variação de volume dos mesmos e consequentemente novos processos de fissuração [7].

3.3.1.1 Variações dimensionais das coberturas

De entre os constituintes da envolvente, as coberturas em terraço são os elementos que estão mais sujeitos a variações dimensionais, o que facilmente se compreende face às suas condições de exposição aos fatores climáticos, em particular durante o Verão, já que durante o dia sofrem a incidência direta da radiação solar, enquanto que à noite o seu arrefecimento também é mais significativo do que o de outros elementos construtivos, devido às trocas de calor com a abóbada celeste. A estas variações de temperatura correspondem dilatações e contrações consideráveis nas estruturas de cobertura em betão armado, uma vez que este material apresenta um elevado coeficiente de dilatação térmica linear. De referir que outros elementos estruturais e construtivos subjacentes não acompanham, normalmente, estes movimentos por estarem sujeitos a menores variações de temperatura, apresentarem um menor coeficiente de dilatação térmica, terem confinamentos e ligações rígidas que impedem o seu deslocamento horizontal [11].

As variações dimensionais da cobertura, ocorrem principalmente na direção horizontal e introduzem esforços consideráveis de corte no cimo das paredes, que têm como consequência o aparecimento de anomalias, sendo a mais frequente a fissuração dos revestimentos e dos elementos cerâmicos com características ativas, ou seja, de abertura e fecho conforme as variações da temperatura na cobertura.

Nos casos em que a ligação da laje se faz diretamente à alvenaria, ocorrerá fissuração nos revestimentos e na alvenaria, pelo exterior e pelo interior. Quando o deslocamento da cobertura é perpendicular ao plano de parede, ocorrerá uma fissura horizontal ao longo do comprimento da parede (Fig. 3.9). Nos casos em que a ligação entre a cobertura e a parede é resistente ao corte, pode apenas ocorrer uma fissura diagonal, em particular junto aos cunhais. Numa situação extrema, a deformação pode dar origem, acima da fissuração horizontal, ao arrastamento da parte superior da parede ou da platibanda.

Quando o deslocamento é ao longo da direção do pano de parede, poderá ocorrer fissuração múltipla e inclinada na zona superior da alvenaria que pode ser acompanhadas de uma única

fissura na diagonal, nos casos em que a ligação é fraca e não exista transmissão significativa de cargas verticais da cobertura para a parede [7].

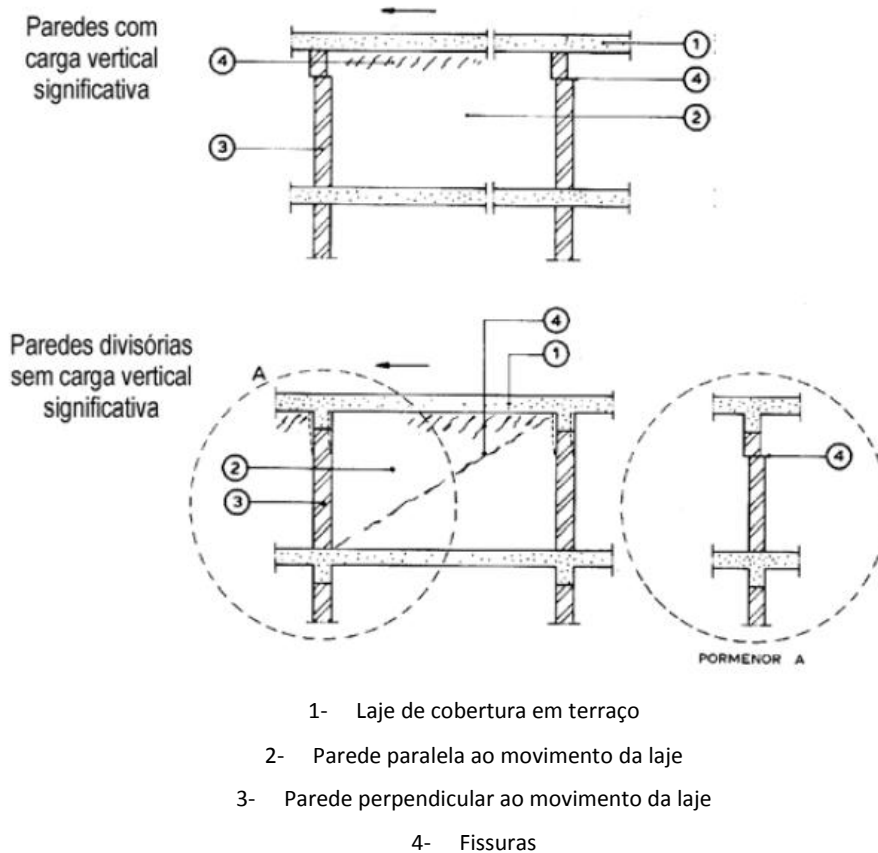


Fig. 3.9 Fissuração típica devida aos movimentos da laje de cobertura [11]

A expansão bidimensional da laje de cobertura provoca a concentração de tensões em zona de cunhal, fazendo com que a laje se deforme em duas direções do plano, ou seja, a laje tenderá a deformar-se no sentido do exterior, originando fissuração inclinada nas duas fachadas, como podemos ver na figura seguinte.

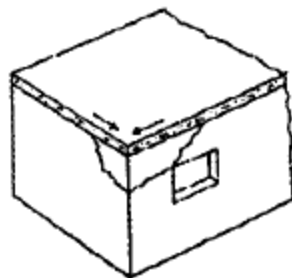


Fig. 3.10 Expansão bidimensional: Efeito nos cunhais [7]

Em lajes com pouca espessura, o aquecimento diferencial, entre a face interior e exterior, pode provocar o seu arqueamento, criando fissuras horizontais no cimo das paredes, com abertura eventualmente variável e de curta duração [10].

A platibanda é uma das zonas bastante afetada pela diferença de movimentos entre os elementos construtivos, podendo ocorrer fissuração vertical ao longo do seu comprimento e a rotura da sua ligação à laje, principalmente quando as deformações se fazem sentir na mesma direção da platibanda [7].

3.3.1.2 Variações dimensionais das paredes

As paredes exteriores de alvenaria são elementos também sujeitos a variações de temperatura. Se essas variações são uniformes, originam concentração de tensões em zonas particulares e frágeis, podendo provocar vários tipos de fissuração [11], nomeadamente:

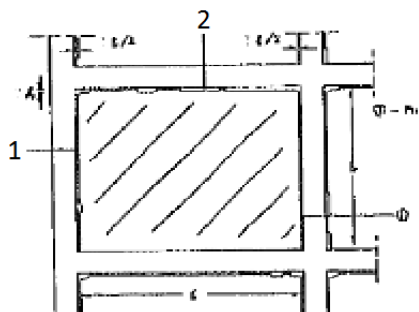
- Fissuração nas zonas de ligação a outros elementos;
- Fissuração de paredes confinantes;
- Fissuração da própria parede nas zonas mais frágeis;
- Esmagamento de juntas, revestimentos ou apoios, por compressão, em paredes não confinadas;
- Fissuração interna da parede, no tijolo, nas juntas ou nas ligações respetivas.

Nas situações em que ocorre o aquecimento diferencial da parede, devido a condições de insolação e sombreamento, da variação de cor ou textura dos revestimentos, da existência de fontes de calor interiores localizadas, da coexistência de zonas com diferente resistência térmica [10], é comum a existência de fissuração nas zonas de transição da temperatura ou na proximidade destas, em pontos frágeis como são por exemplo, aberturas e reduções de espessura. Pode também ocorrer aquecimento diferencial ao longo da espessura de uma parede, ou em parede dupla em cada um dos seus panos, provocando fissuras nas juntas horizontais, arqueamentos ou, caso os panos exteriores estejam mal grampeados ou insuficientemente apoiados, provocar a perda de estabilidade da parede. Saliente-se que o aquecimento diferencial só atinge valores consideráveis em determinadas condições, nomeadamente, em paredes de cor escura e ocorrências de períodos de intensa insolação, paredes com elevada inércia térmica, materiais com baixa condutibilidade e situações de choque térmico.

As patologias originadas pelas variações dimensionais das paredes ocorrem, principalmente, pelo facto destas apresentarem pouca resistência aos esforços horizontais de tração, sendo que a configuração das patologias vai depender do tipo de confinamento da parede. Quando não existem restrições exteriores, são as ações de arrefecimento as que exercem uma ação mais gravosa. Neste caso aparecerão fissuras verticais e espaçadas a distâncias aproximadamente iguais entre si, que dependem do grau de deformação a que a parede está sujeita.

Sendo a alvenaria confinada, ao experimentar uma variação de dimensões, introduzir-se-ão esforços uma vez que as ligações exteriores impedirão a livre deformação da alvenaria, propiciando o aparecimento de fissuração ou encurvadura dos panos. As contrações conduzem a situações mais gravosas, uma vez que se transmitem às ligações esforços de tração, ao

contrário das dilatações que transmitem esforços de compressão e que são absorvidos mais facilmente quer pela alvenaria quer pela argamassa de ligação [12]. A Fig. 3.11 mostra que a fissuração ocorre nas ligações aos pilares e na ligação superior do pano à laje. A zona de apoio inferior do pano normalmente não sofre anomalias.



- 1- Fissura vertical na ligação com os pilares e por efeito da retração horizontal do pano de alvenaria
- 2- Fissura horizontal resultante da retração vertical do pano de alvenaria

Fig. 3.11 Fissuras em alvenaria confinada numa estrutura de betão [12]

No caso de paredes não confinadas, ou parcialmente confinadas, é comum ocorrer fissuração como a que está representada na Fig. 3.12. As fissuras têm origem na zona da laje e apresentam uma orientação predominantemente vertical. Ocorrem porque os movimentos de dilatação da alvenaria são impedidos pela laje, que se encontra a uma temperatura inferior.

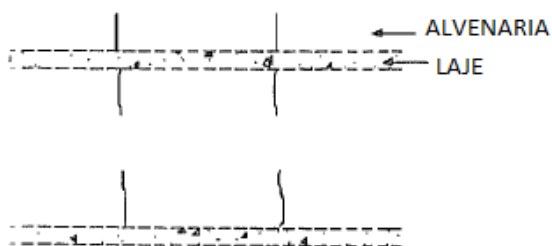


Fig. 3.12 Fissuras verticais numa alvenaria [12]

Quando o pano exterior não estiver suficientemente travado e não tiver o apoio suficiente pode sofrer encurvadura devido à necessidade de dilatar e sofrer o colapso.

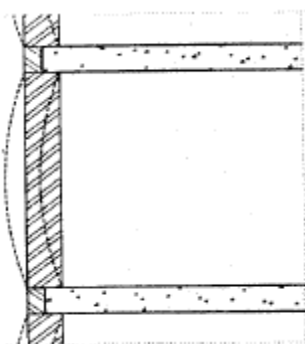


Fig. 3.13 Deformação e encurvadura do pano de parede não confinado [7]

Pode ainda ocorrer outro tipo de fissuração, como o que se representa na Fig. 3.14

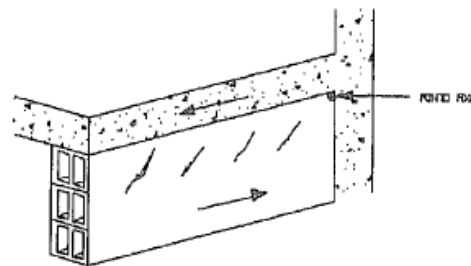


Fig. 3.14 Fendas de corte na ligação alvenaria/laje [12]

Neste caso existe uma retração da alvenaria em relação à laje, indicando as setas da figura os movimentos relativos entre alvenaria e betão. Se existir um ponto fixo, como é o caso de uma estrutura rígida em consola com enchimento em alvenaria, a comparação da largura das fendas indicam o ponto a partir do qual se desenvolvem as variações dimensionais.

Em zona de cunhal os panos mais compridos podem arrastar, nas esquinas, os panos com dimensões inferiores, se não estiverem devidamente travados. As anomalias mais frequentes são: fissuração vertical perto do encontro dos panos, no pano contrário ao pano que sofre maiores deformações; desalinhamento do topo do pano de parede [7].

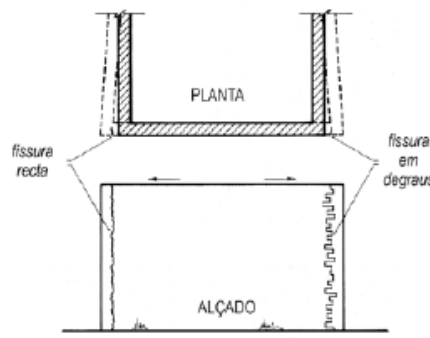


Fig. 3.15 Fissuração e arrastamento dos panos mais curtos em cunhais [11]

Outra anomalia consiste na fissuração que ocorre, principalmente nos cantos, nas paredes de preenchimento entre lajes em consola. Na sequência de dilatações de origem térmica ou higrométrica, instalam-se na ligação das paredes esforços com intensidades e sentidos diferentes, sendo que o esforço resultante provocará a fissuração fazendo com que a alvenaria se “solte” do alinhamento vertical da parede [12].

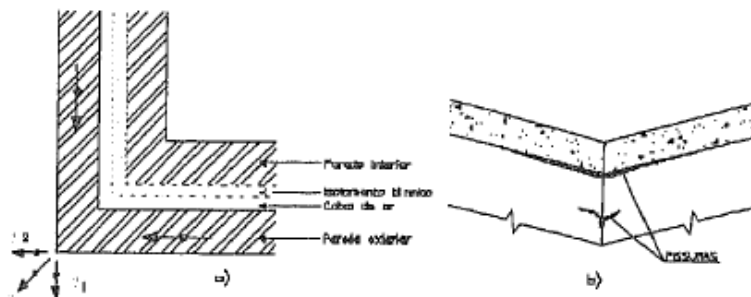


Fig. 3.16 Elemento de parede exterior de enchimento de uma laje em consola: a) planta b) corte [12]

3.3.1.3 Variações dimensionais das estruturas

As estruturas em betão armado também estão sujeitas a efeitos de dilatação e contração térmica, sendo estes efeitos mais acentuados:

- Quando a estrutura é aparente e está revestida por revestimentos escuros;
- Nos pisos superiores que estão mais expostos às ações climatéricas.

A dilatação diferencial que ocorre, entre elementos construtivos, origina frequentemente fissuração:

- Ao longo das ligações entre alvenaria e pilares;
- Oblíqua nos painéis de parede extremos de fachada;
- Vertical a meio vão nos panos centrais.

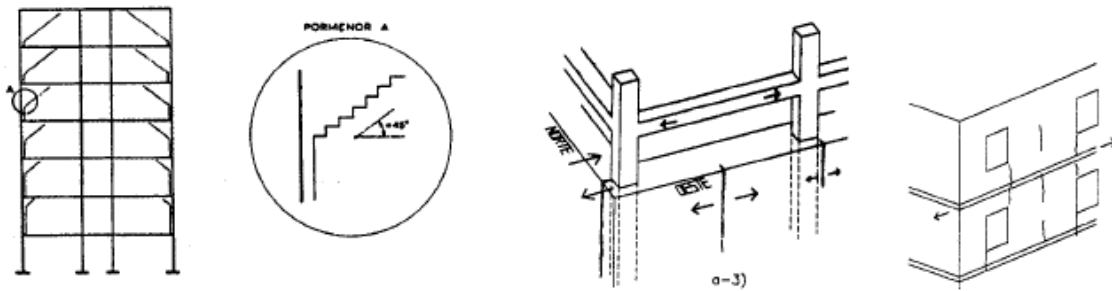


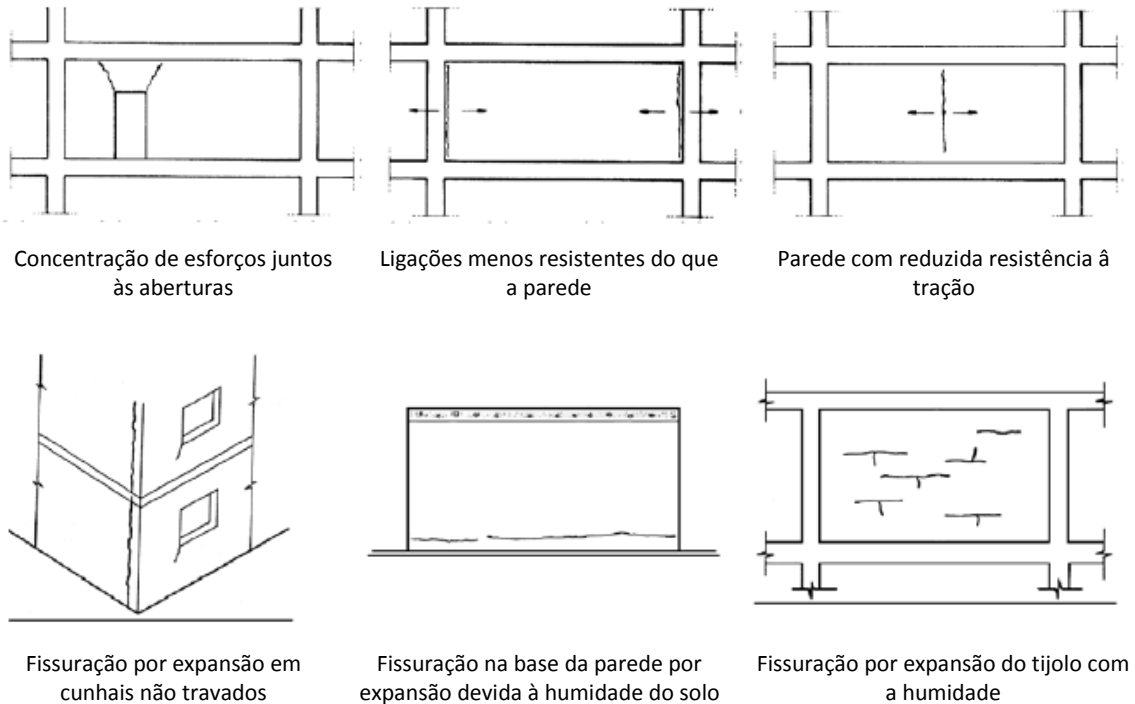
Fig. 3.17 Fissuração nos panos de alvenaria devida a dilatação das estruturas reticuladas [7]

3.3.2 Variações do teor de humidade dos tijolos cerâmicos

O tijolo, imediatamente após o seu fabrico, sofre variações dimensionais de contração e expansão. As primeiras devem-se ao arrefecimento do tijolo, até atingir o valor da temperatura ambiente, enquanto as segundas se devem ao facto do tijolo “procurar” a sua humidade de equilíbrio. Regra geral, estes fenómenos acontecem antes da utilização do tijolo em obra, pelo que não estão na origem de anomalias significativas.

No entanto, durante o processo de fabrico pode ocorrer um deficiente processo de cozedura, o que se traduzirá num insuficiente grau de vitrificação. Neste caso, os tijolos não apresentarão as devidas características de resistência à absorção de água e de suficiente estabilidade dimensional. Os tijolos apresentarão expansões que podem prolongar-se durante anos embora os especialistas refiram que metade ocorre nas primeiras semanas após fabrico [7].

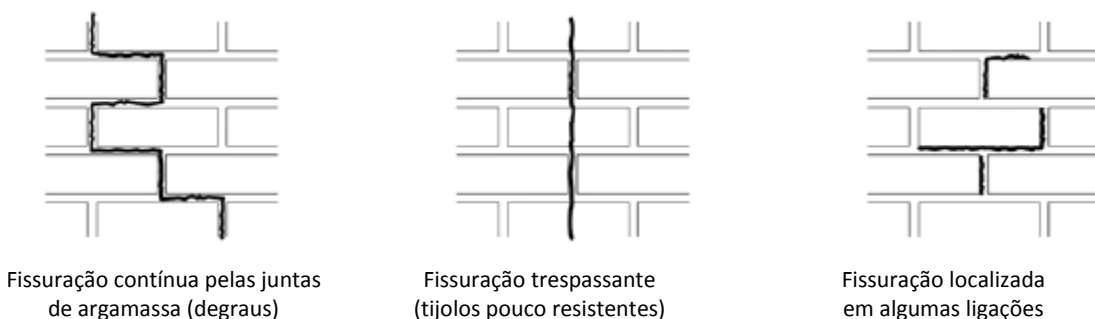
A expansão só provoca fissuração considerável em paredes não confinadas, em fachadas cortina com apoios e grampeamento inadequados ou em elementos construtivos confinantes, nomeadamente em paredes perpendiculares àquelas em que se verifica a expansão [11].



3.18 Fissuração de paredes com origem nos movimentos devidos à variação do teor de humidade [11]

As fissuras de retração são, geralmente, verticais ou pouco inclinadas apresentando um espaçamento regular entre si. No caso de paredes com comprimento inferior a 6 metros, é provável que as fissuras sejam muito finas (0,2 a 0,3 mm) e só ocorram junto às aberturas e outros elementos singulares ou zonas frágeis da parede.

Nas situações em que se utilizam blocos ou tijolos com baixa resistência à tração, a fissuração vertical pode atravessá-los, apresentando larguras mais significativas. Quando os tijolos apresentam maior resistência e a argamassa é mais fraca, a fissura segue o traçado das juntas, o que, na opinião de alguns autores, é favorável uma vez que garante uma melhor distribuição e uma menor abertura das fissuras.



3.19 Fissuração por expansão ou contração em função da resistência relativa dos materiais e das suas ligações [11]

3.4 Anomalias em coberturas inclinadas

As anomalias resultam, de uma maneira geral, da contribuição de vários fatores, os quais se podem enquadrar ao nível da conceção, da qualidade dos materiais, da execução em obra e da posterior manutenção.

As infiltrações de água através da cobertura e a sua manifestação no interior dos espaços subjacente, sob a forma de humidade, são na maior parte dos casos consequências das anomalias verificadas nos revestimentos ou nas camadas subjacentes.

Uma das patologias mais frequentes é a existência de manchas de bolor nos tetos das habitações. Esta situação ocorre devido ao fenómeno de condensações superficiais que por vezes ocorrem nos tetos dos compartimentos sob o desvão da cobertura. Esta patologia, ocorre quando se verificam uma ou mais das seguintes condições:

- Ausência de aquecimento do ambiente interior ou aquecimento insuficiente e intermitente;
- Deficiente isolamento térmico da envolvente;
- Produção de vapor de água no interior da habitação/compartimento significativa;
- Ventilação insuficiente;
- Higroscopicidade inadequada dos revestimentos interiores.

Uma possível solução desta patologia, passa pelo isolamento térmico do teto, criação de um sistema de ventilação geral e permanente (da ordem de 0,8 renovações por hora) e reforço do aquecimento das habitações, devendo garantir-se uma temperatura superior a 18 °C.

No anexo A, apresenta-se a tipificação dos tipos de anomalias mais frequentes em coberturas inclinadas.

3.5 Anomalias em coberturas em terraço

Em Portugal, existem poucos estudos estatísticos das anomalias nas coberturas planas. No anexo B, apresenta-se uma tabela elaborada a partir de mais de duas centenas de casos reais de reabilitação, tendo sido identificadas vinte e cinco causas distintas, que foram classificadas em quatro categorias.

Uma grande incidência dos defeitos ocorre nas zonas periféricas da cobertura, onde a execução é mais difícil, mas também onde a conceção dos pormenores é mais exigente. A maioria dos defeitos fica a dever-se a erros de conceção e aplicação, enquanto que os erros de utilização, que constituem a causa menos significativa, poderão ser reduzidos uma vez que estão relacionados com a falta de manutenção de sistemas de evacuação de águas pluviais e com perfurações acidentais da camada impermeabilizante.

4. Reabilitação energética de edifícios

O principal objetivo da reabilitação é solucionar deficiências e anomalias construtivas, ambientais e funcionais, perspetivando simultaneamente, uma modernização e beneficiação gerais do objeto sobre o qual incide [13].

No campo do edificado pode promover-se vários tipos de reabilitação: estrutural, qualidade do ar, acústica, térmica, energética, segurança contra incêndios, organização de espaços, entre outros.

No que se refere à reabilitação energética dos edifícios podem-se tomar diversas medidas, destinadas a corrigir as anomalias que apresentam, estas podem variar muito de, caso para caso, uma vez que o parque edificado é muito heterogéneo.

Assim é necessário começar por caracterizar o desempenho energético e fazer um diagnóstico correto das deficiências apresentadas, bem como estabelecer a estratégia que melhor sirva os interesses do dono do edifício, tendo em atenção as exigências regulamentares. Seguidamente selecionam-se, de entre as diversas medidas corretivas, aquelas que, com o mínimo de custos, nos permitem atingir os objetivos pretendidos (os custos a considerar devem ser financeiros, estéticos, culturais, ambientais).

Segundo [14] as principais medidas de reabilitação energética podem ser de três tipos :

- a) Reabilitação térmica da envolvente do edifício que se pode realizar através de:
 - Reforço da proteção térmica das partes opacas (paredes exteriores, pavimentos sobre espaços exteriores ou não-aquecidos e coberturas);
 - Reforço das propriedades dos vãos envidraçados (em termos de isolamento térmico, estanquidade ao ar, controlo da radiação solar);
 - Recurso a tecnologias solares passivas (utilização da capacidade de armazenamento térmico dos materiais, ventilação natural, sistemas de sombreamento, etc.).
- b) Recurso a tecnologias solares ativas, nomeadamente a solar térmica e solar fotovoltaica.
- c) Reabilitação energética dos sistemas e instalações, mediante a implantação de equipamentos com melhores rendimentos e menor consumo.

A hierarquização das várias medidas a adotar variam de caso para caso, devendo resultar de análises custo/benefício. A implementação da estratégia de intervenção deverá obedecer a uma metodologia que assegure os resultados pretendidos e que pode ser esquematizada no diagrama de fluxo apresentado no Anexo C.

4.1 Reabilitação térmica da envolvente

4.1.1 Reabilitação térmica das partes opacas

A utilização de isolamento térmico na envolvente opaca das construções constitui uma das medidas mais simples para responder às crescentes exigências de conforto térmico, possibilitando a minimização de trocas de calor com o exterior, reduzindo as necessidades de aquecimento/arrefecimento, assim como permite diminuir os riscos de ocorrência de condensações. Uma percentagem significativa da energia necessária para aquecimento dos espaços é desperdiçada em fugas relacionadas com insuficiência ou ausência de isolamento dos diversos elementos opacos da envolvente e à reduzida utilização de vidros duplos nos vãos envidraçados.

No anexo D indicam-se os principais isolantes térmicos utilizados na reabilitação térmica dos elementos opacos da envolvente. Podem ser classificados quanto ao seu modo de produção, de aplicação, estrutura ou natureza das suas matérias-primas.

Quadro 4.1 Condutibilidade térmica de alguns isolantes [15] [16]

Natureza	Material	λ ($W / m \cdot ^\circ C$)
Sintética	Poliestireno moldado	0.037 – 0.055
	Poliestireno extrudido	0.037
	Poliisocianurato	0.037 – 0.042
	Poliuretano	0.037 – 0.040
Mineral	Lã de vidro	0.040 – 0.045
	Argila expandida	0.16
	Lã mineral	0.040-0.045
	Vermiculite expandida	0.16
Vegetal	Cânhamo	0.040
	Fibras de madeira e celulose	0.040
	Celulose e sais de boro	0.039
	Celulose projetada ou injetada	0.031

Não havendo ainda a nível europeu uma classificação única, os produtos de isolamento térmico comercializados em Portugal, têm uma certificação semelhante à ACERMI. As exigências constantes da certificação preconizada são as seguintes:

- Resistência térmica – R
- Compressibilidade – I
- Estabilidade dimensional – S
- Comportamento à água – O
- Comportamento mecânico – L
- Permeabilidade ao vapor de água - E

Cada exigência é traduzida por vários níveis de aptidão de utilização. No anexo E, apresentam-se os níveis mínimos de aptidão de utilização dos isolantes térmicos a utilizar nos diferentes elementos da envolvente opaca.

Além das exigências mínimas *ISOLE* é necessário especificar, para cada solução da envolvente, a resistência térmica recomendada para o isolamento térmico. São propostos quatro níveis de qualidade para a envolvente dos edifícios, que se encontram indicados no quadro 4.2, sendo definidos em função dos coeficientes de transmissão térmica de referência preconizados no RCCTE.

Quadro 4.2 Níveis de qualidade térmica da envolvente opaca [17]

NÍVEIS DE QUALIDADE	$X = U / U_{ref}$
N ₁	$X > 0.90$
N ₂	$0.70 < X \leq 0.90$
N ₃	$0.50 < X \leq 0.70$
N ₄	$X \leq 0.50$

4.1.2 Reforço das propriedades dos vãos envidraçados

Os vãos envidraçados desempenham várias funções, como sejam a conexão visual com o exterior, iluminação, ventilação e captação de energia solar. O reforço do isolamento dos vãos envidraçados pode ser conseguido através da:

- Substituição dos componentes dos vãos por outros com desempenho térmico melhorado (caixilharia com corte térmico associada a vidros duplos);
- Utilização de envidraçados de elevado desempenho térmico (vidros de baixa emissividade);
- Criação de janelas duplas (incorporação de um segundo caixilho);
- Substituição de vidros simples por duplos.

Outras medidas recomendáveis no âmbito da reabilitação térmica dos vãos envidraçados consistem na aplicação de proteções solares permitindo a oclusão noturna; adição de dispositivos de sombreamento exteriores; isolamento térmico das caixas de estore.

4.1.3 Recurso a soluções solares passivas

Os sistemas passivos são sistemas que, sem recurso à energia mecânica, contribuem para a climatização do ambiente interior e para manter o nível de conforto no interior dos edifícios.

A adoção destes sistemas não permite que as condições de conforto exigidas na nossa época, sejam totalmente garantidas, uma vez que dependendo do Sol e das condições climatéricas, deparam-se com condições exteriores variáveis, pelo que nem sempre podem dar resposta às exigências impostas.

Quadro 4.3 Exemplos de sistemas passivos [18]

Sistemas de aquecimento	Diretos	Envidraçados Lucernário Claraboia
	Indiretos	Paredes Coberturas Pavimento de armazenamento térmico
	Isolados	Estufas Sistemas de termosifão
Sistemas de arrefecimento	Diretos	Proteção solar Ventilação Construções enterradas Evaporação/desumidificação
	Indiretos	Radiação noturna Ventilação dos elementos de armazenamento térmico
	Separados	Ventilação a partir de zonas separadas

4.2 Recurso a tecnologias solares ativas

Uma vez que os sistemas de climatização passivos, não garantem por si só as condições de conforto exigidas, torna-se necessário recorrer à utilização de sistemas ativos que funcionem como apoio. Estes sistemas transformam a energia provenientes de fontes renováveis (solar, eólica, biomassa, geotérmica) em energia final. Os sistemas ativos que normalmente estão integrados nos edifícios são os coletores solares e os painéis fotovoltaicos.

Os coletores solares térmicos que transformam a radiação solar absorvida em calor, o qual é distribuído através de um fluido (ar ou água), destinam-se fundamentalmente ao aquecimento das águas sanitárias

Os painéis fotovoltaicos convertem a energia solar diretamente em eletricidade. O seu grau de eficiência é sensível à intensidade da radiação solar e à temperatura do ar.

Atualmente existem soluções de integração de sistemas ativos que têm, simultaneamente, um efeito passivo. É o caso da integração de células fotovoltaicas em envidraçados com boa exposição solar (Figura 4.1), em que esta “fusão” de sistemas traz benefícios acrescidos se comparado com uma utilização não integrada, uma vez que funciona de forma ativa ao gerar energia e, simultaneamente, de forma passiva, pois restringindo os ganhos solares evita o sobreaquecimento.



Fig. 4.1 Integração de células fotovoltaicas em envidraçados [18]

4.3 Reabilitação energética dos sistemas e instalações

4.3.1 Melhoria das condições de iluminação

As medidas de reabilitação energética passam por uma maior utilização, sempre que possível, da luz natural e pela substituição de lâmpadas existentes por outras com maior eficiência.

Com o passar do tempo os níveis de iluminação iniciais vão diminuindo pelo que a substituição das lâmpadas deverá ser efetuada antes de se atingir o nível mínimo de iluminação, para que se possam realizar as tarefas segundo as necessidades visuais, evitando que se acenda outro ponto de luz.

Quanto mais tempo se utilizar a iluminação artificial, maior será a vantagem da substituição das lâmpadas convencionais por lâmpadas energeticamente eficientes, nomeadamente as lâmpadas fluorescentes tubulares e as lâmpadas fluorescentes compactas. As primeiras, devem ser instaladas com balastos de alta frequência permitindo, deste modo, eliminar o efeito de cintilação e aumentar em cerca de 20% a sua eficiência [19], quando comparados com a utilização de balastos convencionais. As lâmpadas fluorescentes compactas devem substituir as lâmpadas incandescentes, porque apesar de apresentarem um custo inicial superior, podem durar até cerca de 12 vezes mais do que as lâmpadas tradicionais, usando apenas 25% da energia para um fluxo luminoso equivalente.

4.3.2 Melhoria da eficiência dos sistemas de climatização

A utilização de equipamentos de climatização, nomeadamente os de arrefecimento, têm registado um aumento muito significativo na Europa, situação que é preocupante devido ao grande aumento do consumo energético com efeitos negativos na emissão de CO₂, e o conseqüente aquecimento global.

Relativamente ao equipamento de aquecimento, em Portugal, predominam os aquecedores elétricos e aquecedores a gás, enquanto para arrefecimento do ambiente o mais utilizado é o ar condicionado.

No âmbito do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética – Portugal Eficiência 2015, foi criado para a área residencial e de serviços, o Programa Renove Casa e Escritório que visa tornar o parque de equipamentos domésticos (eletrodomésticos e iluminação) mais eficiente, quer através da substituição direta, quer através do desincentivo da compra de novos equipamentos com performances energéticas inferiores às melhores práticas existentes no mercado, quer ainda por via do estímulo a uma mudança de comportamentos na aquisição e no consumo de energia.

Este programa também identifica medidas que visam a recuperação de edifícios com necessidades de reabilitação e que melhoram a sua performance energética, bem como medidas destinadas ao segmento dos serviços relativos aos equipamentos de escritório eficientes, nomeadamente:

- Substituição de equipamentos;

- Desincentivo à aquisição de novos equipamentos ineficientes;
- Medidas de remodelação;
- Renovação de equipamento de escritório

4.3.3 Melhoria da eficiência dos equipamentos para produção de AQS

Pode definir-se Águas Quentes Sanitárias, como a água potável a temperatura superior a 35°C utilizada para banhos, limpezas, cozinha e outros fins específicos, preparada em dispositivo próprio, com recurso a formas de energia convencionais ou renováveis [20].

Nas habitações, o aquecimento de AQS é normalmente produzido recorrendo a esquentadores a gás ou termoacumuladores elétricos. Para construções mais recentes o mesmo Decreto-Lei impõe, em determinadas condições, a obrigatoriedade do recurso a sistemas de coletores solares térmicos para produção de águas de AQS.

Na realidade, o aquecimento de águas com recurso a coletores solares é uma forma de aproveitamento de um recurso energético abundante e gratuito: o sol. Um sistema de energia solar devidamente dimensionado e colocado, pode conduzir a uma poupança de 70% dos custos em energia necessários para a produção de água quente para uso doméstico [19]. Para uma maior eficiência dos sistemas solares para aquecimento de AQS, além do seu correto dimensionamento também se torna indispensável o isolamento das tubagens de fornecimento de água, assim como a manutenção e limpeza dos painéis.

Relativamente aos sistemas de aquecimento convencionais, de referir que a opção pelo gás natural é a mais vantajosa, tanto do ponto de vista económico como ambiental.

5. Soluções de reabilitação térmica da envolvente opaca exterior

Apresentam-se neste capítulo algumas soluções relativas à reabilitação térmica dos vários elementos que constituem a envolvente opaca exterior (paredes, coberturas e pavimentos) de edifícios residenciais. Considerando a diversidade de situações e de soluções, torna-se impossível abordá-las todas neste trabalho, pelo que se optou por uma análise mais pormenorizada das soluções para paredes, em detrimento de coberturas e pavimentos.

5.1 Reabilitação térmica das paredes exteriores

As intervenções em fachadas são designadas conforme a disposição do isolamento térmico, pelo que se tem reabilitação de fachadas com isolamento térmico:

- Pelo exterior;
- Pelo interior;
- Por injeção em caixa-de-ar (limitado ao caso de paredes duplas);

Relativamente ao isolamento térmico pelo exterior os sistemas classificam-se em quatro famílias [21]:

- Revestimentos compósitos de isolamento térmico pelo exterior - ETICS;
- Revestimentos constituídos por isolantes fixados diretamente ao suporte - Vêture;
- Revestimentos de fachada ventilada com isolante na caixa-de-ar;
- Revestimentos aderentes constituídos por argamassas isolantes

A aplicação de isolamento térmico pelo interior corresponde sobretudo a dois tipos de soluções:

- Painéis isolantes pré-fabricados fixados contra a parede;
- Contra-fachadas (com caixa-de-ar simples; interposição de um isolante térmico sem caixa-de-ar; e interposição de um isolante com caixa-de-ar).

Como principais vantagens da execução do reforço do isolamento térmico pelo interior salientam-se:

- As condições climáticas exteriores não afetam a aplicação do sistema nem o seu desempenho futuro;
- Reabilitação térmica de cada fração de um edifício em separado;
- Custo inferior em relação à solução de isolamento pelo exterior e maior facilidade de execução.

Como desvantagens desta solução pode referir-se:

- Não correção das pontes lineares, correspondentes aos topos das lajes de pavimento e de esteira;
- Parede exterior mais sujeita a solicitações de natureza térmica decorrentes particularmente da variação da radiação solar (incluindo o fenómeno de choque térmico);
- Paramento exterior mais suscetível às ações climáticas exteriores;
- Não manutenção da inércia térmica interior;
- Implica o abandono dos habitantes do interior do edifício;
- Diminuição da área útil interior.

O reforço do isolamento térmico das paredes duplas pode realizar-se por incorporação de materiais isolantes soltos ou de espumas injetadas na caixa-de-ar, permitindo manter o aspeto exterior e interior das mesmas e reduzir ao mínimo as operações de reposição dos respetivos paramentos que ficam limitadas à vedação dos furos de injeção.

5.1.1 ETICS

Os ETICS são utilizados desde os anos 60 do século passado, nalguns países da Europa, tendo a sua utilização conhecido um incremento significativo nos anos 70. No nosso país os ETICS têm sido utilizados em construção nova, sobre parede simples de alvenaria rebocada ou de betão, como alternativa à utilização de parede dupla com caixa-de-ar.

Sendo estes sistemas não-tradicionais foram, durante décadas, sujeitos a aprovação técnica nos vários países em que têm sido utilizados: Avis Techniques em França, British Board Agrément no Reino Unido, Documento de Homologação em Portugal, entre outros.

No ano 2000 a EOTA elaborou um guia para ETICS que constitui a base para a avaliação técnica da adequabilidade ao uso dos sistemas deste tipo, em todos os países representados na EOTA, entre os quais se encontra Portugal. As ATE baseadas no guia, são concedidas por qualquer dos Institutos homologadores dos países da EOTA e são válidos em todos os países representados nessa organização, ou seja, em toda a Europa comunitária.

5.1.1.1 Vantagens dos ETICS

Estes sistemas apresentam as seguintes vantagens:

- I. Redução das pontes térmicas, permitindo um revestimento térmico sem interrupções nas zonas estruturais, obtendo-se um coeficiente de transmissão térmica nestas zonas próximo do da envolvente;

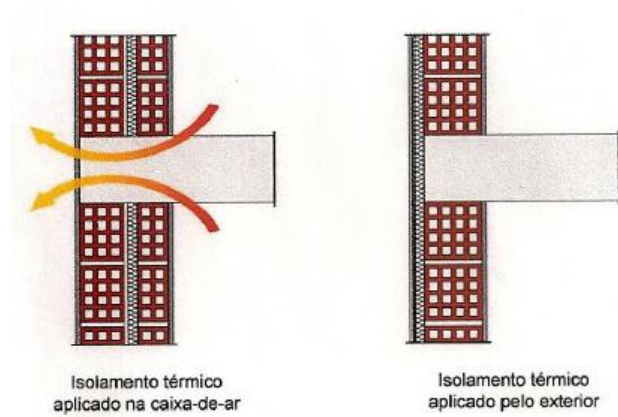


Fig. 5.1 Continuidade do isolamento térmico permite reduzir as pontes térmicas [19]

- II. Economia de energia;
- III. Diminuição do risco de condensações no interior das paredes envolventes ou à sua superfície, uma vez que a temperatura da superfície interior das paredes é mais elevada, mesmo nas superfícies em contacto com vigas ou pilares, afastando-se da temperatura de orvalho;
- IV. Aumento da durabilidade das fachadas que se encontram protegidas da ação dos agentes climáticos e atmosféricos;
- V. Diminuição do gradiente de temperaturas a que são sujeitas as camadas interiores das paredes. O choque térmico, bem como as temperaturas mais severas ocorrem no isolante, estando a temperatura da parede sempre próxima da temperatura interior;

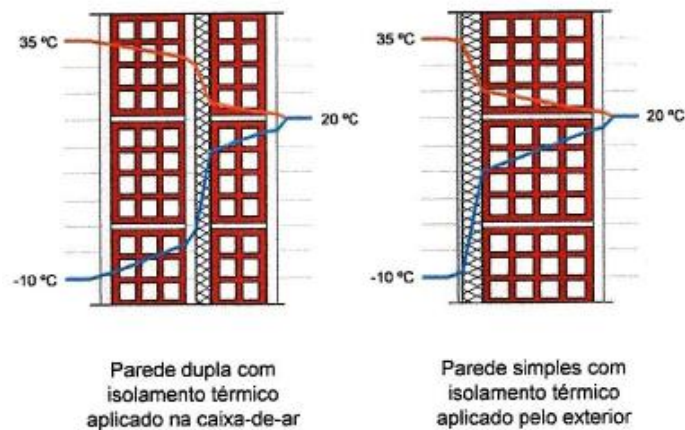


Fig. 5.2 Comparação entre gradientes de temperaturas [19]

- VI. Diminuição da espessura das paredes exteriores permitindo o aumento da área habitável;
- VII. Redução do peso das paredes e das cargas permanentes sobre a estrutura;
- VIII. Melhoria do conforto térmico de Inverno resultante do aumento da inércia térmica interior, dado que toda a massa das paredes da envolvente exterior pode armazenar calor;

- IX. Melhoria do conforto térmico de Verão, igualmente devido ao aumento de inércia térmica interior, atendendo a que as paredes têm um papel de regulação de temperatura, absorvendo calor nas horas mais quentes do dia para o restituir durante a noite;
- X. Melhoria da estanquidade da parede, uma vez que o sistema é bastante impermeável;
- XI. Grande variedade de cores e texturas de acabamento;
- XII. Custos de manutenção reduzidos.

No caso da reabilitação de edifícios além das vantagens apresentadas anteriormente pode acrescentar-se os seguintes aspetos:

- I. O facto de o sistema ser aplicado pelo exterior permite conservar o espaço interior habitável, permitindo a manutenção das atividades de ocupação no edifício intervencionado;
- II. Possibilidade de aplicação sobre suportes heterogéneos, ou seja sobre suportes constituídos por materiais diferentes como, por exemplo, betão e alvenaria de pedra ou tijolo, com condições de aderência bastante diferentes;
- III. Proporcionam, além da reabilitação térmica, também reabilitação de estanquidade e de aspeto, fatores importantes, já que é frequente nos edifícios em uso, com deficiências de isolamento térmico, haver também deficiências de estanquidade à água e necessidade de renovação estética;
- IV. Possibilitam a absorção de pequenos movimentos do suporte. A resistência e elasticidade do sistema conferida, tanto pelos seus materiais constituintes, como pela dessolidarização elástica das partes rígidas e salientes da envolvente, e também pelo respeito das eventuais juntas de dilatação, permite acompanhar pequenos movimentos do suporte sem degradação do revestimento;
- V. O sistema constitui uma boa solução para zonas de microfissuração generalizada e estabilizada, podendo até suportar e colmatar fissuras pequenas (largura inferior a 2mm) sujeitas a pequenos movimentos cíclicos (fissuras devidas a variações térmicas ou de humidade).

5.1.1.2 Desvantagens dos ETICS

Como principais desvantagens dos ETICS salientam-se:

- I. Custo inicial elevado. No entanto, se tivermos em conta não só a reabilitação térmica e os ganhos inerentes em energia, em conforto e em durabilidade da construção, mas também a reabilitação de estanquidade e a renovação estética, e ainda os eventuais custos com realojamento dos moradores, o preço de uma solução deste tipo poderá passar a ser competitivo;
- II. Em fachadas com muitas aberturas e pormenores complicados, a sua aplicação é particularmente difícil e mais onerosa;

- III. A sua correta aplicação exige uma equipa especializada;
- IV. Têm reação ao fogo mais elevada que as soluções de revestimento habitualmente usadas, baseadas em produtos minerais;
- V. A elevada fragilidade ao choque é umas das principais condicionantes do sistema, sobretudo em zonas de grande acessibilidade e concentração de pessoas;
- VI. São particularmente suscetíveis ao desenvolvimento de colonização biológica (fungos e algas).

No que se refere às desvantagens ou limitações referidas, pode acrescentar-se as seguintes:

- I. Constrangimentos históricos e arquitetónicos. O sistema ao cobrir toda a superfície opaca da fachada, provoca uma descaracterização da fachada, quando nela exista um valor histórico, cultural ou arquitetónico que se pretenda preservar.
- II. Além das exigências de alguma regularidade e aderência (quando colado) do suporte, o aumento de espessura das paredes poderá ser incompatível, em termos funcionais, com diversos elementos da construção, implicando por exemplo a extração e substituição de peitoris de janelas, caixas de estores, tubagens exteriores, provocando perturbação à normal utilização do edifício. Por outro lado, um elevado número de recortes e pontos singulares poderão originar futuras anomalias.

5.1.1.3 Constituição do sistema

Os ETICS destinam-se a ser aplicados em superfícies planas verticais no exterior dos edifícios, e também em superfícies horizontais ou inclinadas desde que não estejam expostas à precipitação.

Os suportes podem ser constituídos por:

- Paredes em blocos de betão leve com argila expandida;
- Paredes em alvenaria de tijolo, pedra, blocos de betão de inertes correntes ou blocos de betões leves, revestidas ou não com revestimentos de ligantes hidráulicos;
- Paredes de betão moldado “in situ” de inertes correntes ou leves;
- Painéis prefabricados de betão.

É também possível a aplicação dos ETICS em suportes rebocados, pintados ou com revestimentos orgânicos ou minerais.

Existem dois tipos de ETICS, que se distinguem pela espessura do revestimento aplicado:

- Sistemas de isolamento térmico por revestimento espesso (fig. 5.3), em que se utilizam frequentemente placas de EPS e um revestimento, normalmente de tipo não tradicional, de ligantes hidráulicos armados com rede metálica, sobre o qual poderá ser aplicado um revestimento delgado de massas plásticas ou uma tinta. As placas do isolante deverão ter ranhuras na face para melhorar a aderência do revestimento. A

armadura do revestimento deverá ter ligações pontuais de natureza mecânica ao suporte - grampos ou cavilhas.

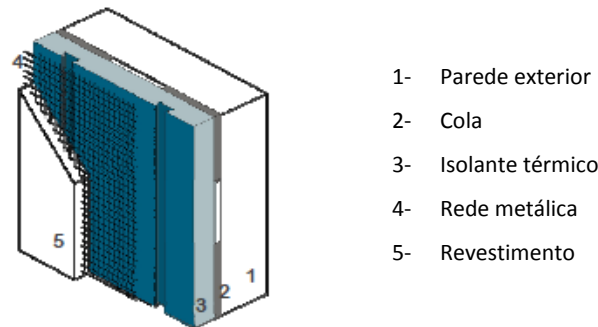


Fig. 5.3 Sistema de isolamento térmico por revestimento espesso [19]

- Em alternativa existem os sistemas constituídos por placas de isolamento térmico geralmente de EPS coladas ao suporte, revestidas por um reboco delgado, aplicado em várias camadas, armado com uma ou várias redes. Como acabamento utiliza-se geralmente um revestimento plástico espesso..

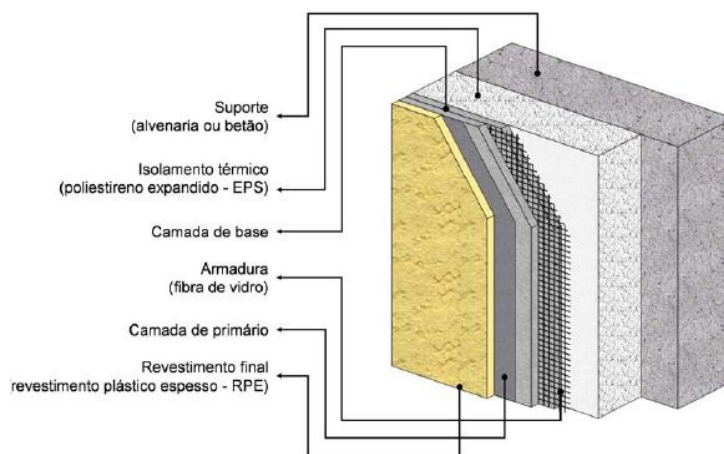


Fig. 5.4 Composição esquemática de um ETICS constituído por reboco delgado [22]

5.1.1.3.1 Isolamento térmico

O isolante mais utilizado é o EPS, em placas com espessura não inferior a 3 cm que deve ter massa volúmica compreendida entre 14 e 20 kg/m³, uma vez que para valores superiores devem recriar-se variações dimensionais excessivas [23]. Devem ser adotadas placas com dimensão máxima de 1.20 metros, sendo aplicadas em obra após decorrer um período entre mês e meio a dois meses após o seu fabrico e, para assegurar uma melhor continuidade do sistema, a utilização preferencial de placas com bordo lateral “macho-fêmea” ou “meia madeira”.

É possível a utilização de outros isolantes como espuma de poliuretano, placas de PIR, espumas de PVC, entre outros, desde que seja garantida uma boa estabilidade dimensional,

boa coesão, baixo módulo de elasticidade, boa permeabilidade ao vapor de água e rugosidade. Outro isolante térmico, o ICB, é considerado por empresas nacionais do sector das cortiças como passível de ser usado nos ETICS. No entanto apresenta, à partida, algumas desvantagens: é absorvente de água e sensível aos seus efeitos, tem um módulo de elasticidade transversal bastante elevado, pelo que transmite tensões ao revestimento que o tornam bastante suscetível à fendilhação, a sua heterogeneidade e falta de planeza podem provocar deficiências de comportamento do revestimento.

5.1.1.3.2 Fixações

O ETICS pode ser fixado ao suporte por colagem ou por fixação mecânica, sendo a primeira a mais frequente entre nós.

A cola é, em geral, um produto pré-doseado constituído por uma mistura de resinas sintéticas em dispersão aquosa com cargas minerais (sílica e calcite) e com cimento, que é aplicado em pontos, em faixas, ou em toda a superfície de contacto do isolante com a parede, permitindo também ultrapassar algumas pequenas irregularidades do suporte (até 1 cm). A área de colagem não deve ser inferior a 20% da área total de contacto devendo garantir uma boa colagem dos bordos da placa para que estes não sofram grandes deformações, que provocariam tensões elevadas no revestimento.

Estes sistemas sendo mais fáceis de aplicar dos que os de fixação mecânica, exigem uma preparação mais cuidada do suporte: melhor limpeza e, no caso de reabilitação, decapagem de tintas e outros produtos orgânicos e, se necessário, remoção de rebocos pouco coesos ou com deficiente aderência ao suporte.

Apesar da estabilidade ser totalmente assegurada pela colagem, é possível utilizar fixações mecânicas que se destinam a fixar provisoriamente as placas de isolamento até à secagem da cola ou, em caso de descolagem do sistema, a evitar a sua queda.

Os sistemas com fixação mecânica (normalmente buchas de plástico ou metálicas) são indicados para reabilitação de edifícios, pois são menos exigentes no que concerne à preparação do suporte, permitem dispensar a decapagem da pintura e limitam as exigências de coesão das camadas superficiais do suporte. As fixações consistem, normalmente, em ancoragens plásticas ou metálicas, mas podem também ser perfis ou peças especiais.

5.1.1.3.3 Armadura do revestimento

O revestimento é sempre armado, para melhorar a resistência à fendilhação e aos choques, sendo utilizadas armaduras constituídas por uma rede, revestida com PVC ou resina acrílica no caso de redes em fibra de vidro, com imunidade à humidade e aos álcalis incorporadas na camada de base.

Distinguem-se dois tipos de armaduras: as “armaduras normais” que têm como função melhorar a resistência mecânica do reboco e assegurar a sua continuidade; as “armaduras reforçadas” são utilizadas como complemento das armaduras normais para melhorar a resistência aos choques do reboco.

No caso das camadas de base, as armaduras são, geralmente, redes de fibra de vidro, devendo a abertura da malha ser suficientemente pequena para que apresente resistência à tração, em particular nas paredes sujeitas a maiores variações térmicas, mas também suficientemente grande para permitir uma boa aderência do material de revestimento, adotando-se normalmente aberturas entre 3 a 5 mm.

Nas zonas de reforço, como por exemplo, junto ao solo e em zonas acessíveis, será utilizada uma rede dupla ou malha reforçada, com abertura da mesma ordem de grandeza que a normal mas mais espessa e resistente, de acordo com as indicações do sistema.

No caso das camadas de base de ligante mineral, as armaduras são geralmente redes de fibra de vidro com proteção antialcalina com malha de abertura da ordem de 10 mm, ou redes metálicas com proteção anticorrosiva.

5.1.1.3.4 Camada de base do acabamento

A camada de base consiste num reboco (barramento) realizado em várias passagens sobre o isolamento, com espessura entre 2 e 5 mm, de forma a permitir o completo recobrimento da armadura. O produto geralmente utilizado é uma argamassa sintética, semelhante à camada de colagem, exigindo-se uma boa aderência ao isolante, elevada resistência à fendilhação, reduzida capilaridade e resistência elevada à perfuração e aos choques.

Esta camada assegura a maior parte das funções esperadas do revestimento e deve garantir uma boa impermeabilização do sistema e uma elevada permeabilidade ao vapor de água. É fundamental que esta camada não se encontre fissurada quer pelas ações de choque quer por variações dimensionais de origem térmica do suporte, nomeadamente nas juntas

5.1.1.3.5 Primário

O primário consiste numa pintura opaca à base de resinas em solução aquosa, que é aplicada sobre a camada de base, e com a qual deve ser compatível.

A função da camada de primário é regular a absorção e melhorar a aderência da camada de acabamento. Alguns sistemas não incluem esta camada.

5.1.1.3.6 Acabamento final

As camadas de acabamento são geralmente, produtos de ligante sintético, aplicados à trincha ou à talocha, que podem assumir diversos aspetos e texturas, sendo o aspeto de uma tinta de areia, provavelmente, o mais frequente. Os acabamentos destes sistemas são muito mais espessos e resistentes que uma vulgar tinta de areia, para poderem cumprir adequadamente as suas funções de proteção da camada de base, contribuição para a resistência ao choque e à estanquidade à água, sem reduzir muito a permeabilidade ao vapor.

Os aspetos finais de acabamento podem ser variados procurando-se, no entanto, um predomínio de cores claras de modo a evitar grandes aumentos de temperatura sob a ação dos raios solares.

5.1.1.3.7 Acessórios

Os ETICS incluem um significativo número de acessórios, para reforço de pontos singulares, dos quais se destacam:

- Perfis de reforço: cantoneiras para proteção de arestas verticais do sistema e perfis para proteção dos topos (superiores, inferiores ou laterais)

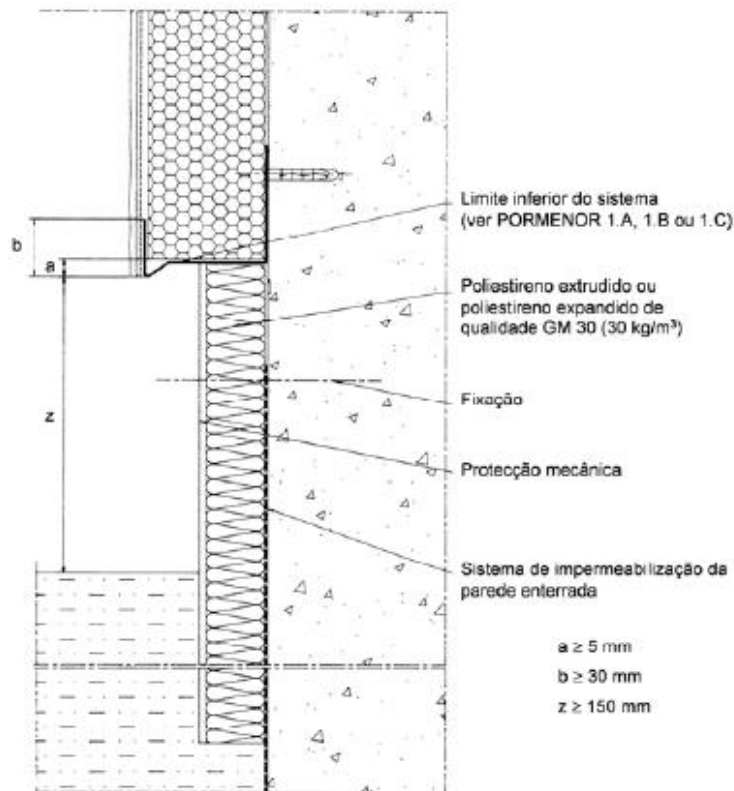


Fig. 5.5 Limite inferior do sistema numa zona enterrada [22]

- Elementos para juntas: mástiques elastómeros ou plásticos de 1^a categoria (silicone, poliuretano, acrílicos, entre outros) e cordões de espuma impregnada pré-comprimida. Nas juntas de dilatação estruturais deverão ser aplicados perfis cobre-juntas

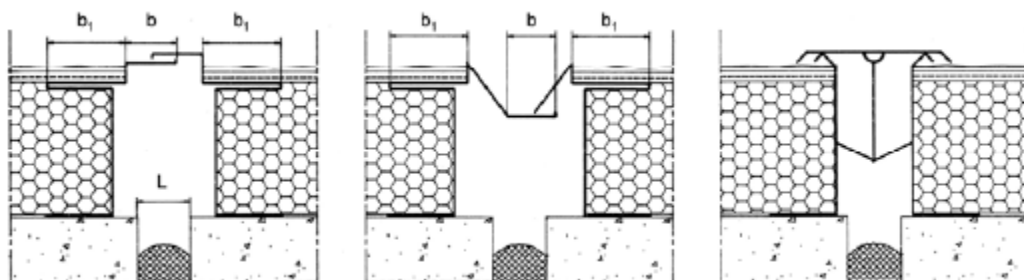


Fig. 5.6 Junta de dilatação estrutural com perfil cobre-juntas [22]

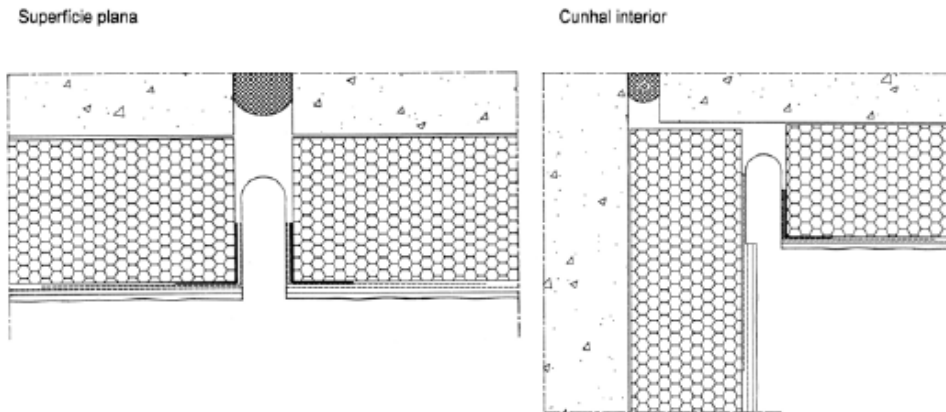


Fig. 5.7 Junta de dilatação estrutural sem perfil cobre-juntas [22]

- Elementos de recobrimento: peças de capeamento, rufos, perfis de peitoris, peças para beirais ou beirados. São em alumínio, zinco ou aço inoxidável

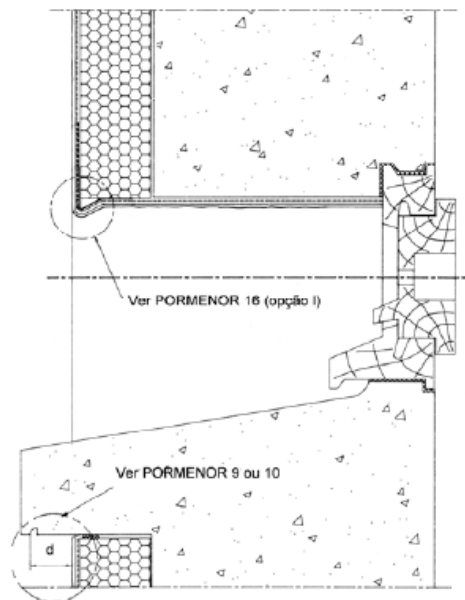


Fig. 5.8 Ligação do sistema com um vão mantendo o peitoril original [22]

É essencial que os elementos metálicos sejam resistentes à corrosão e com formatos apropriados às funções a que se destinam, caso contrário a durabilidade do sistema pode ser gravemente afetada.

Os perfis para proteção dos topos do sistema e os perfis de fundo de junta são geralmente perfurados. Para que estejam bem envolvidos pelo revestimento devem possuir suficiente densidade de furos, sendo o seu diâmetro não inferior a 5 mm.

5.1.1.4 Cuidados de aplicação

Existem inúmeras operações envolvidas na aplicação destes sistemas, existindo listas mais ou menos exaustivas da sua correta sequência, com base nas recomendações técnicas dos

fabricantes, fornecedores e na bibliografia da especialidade. De uma maneira geral, a execução dum sistema de isolamento térmico deste tipo pode ser descrita do seguinte modo:

1) Preparação do suporte que deve encontrar-se limpo e sem grandes irregularidades superficiais; não deverá estar molhado, respeitando-se os períodos de secagem mínimos; a superfície deve apresentar-se livre de eventuais óleos descofrantes, poeiras, partículas desagregadas ou irregularidades superficiais significativas.

Tratando-se de uma fachada em reabilitação, devem ser respeitadas as seguintes recomendações:

- ✓ O suporte deve ser estável ou estabilizado;
- ✓ As fissuras existentes deverão ser alvo de análise e eventualmente tratadas;
- ✓ Todos os suportes devem ser limpos e eventualmente regularizados para o cumprimento das exigências atrás referidas;
- ✓ Suportes com revestimento de ligante hidráulico e sem acabamento, ou nos quais tenha sido apenas aplicado um produto hidrófugo de impregnação, devem levar uma lavagem geral com vapor ou jacto de água;
- ✓ Suportes com revestimento de ligante hidráulico e acabamento com base em ligantes sintéticos, orgânicos ou pintura devem levar um tratamento com decapagem total do acabamento seguida de lavagem geral do paramento com vapor ou jacto de água. Em função dos produtos a eliminar poderá ser utilizada a decapagem química, térmica, mecânica, com jacto de areia com água ou jacto de água a alta pressão;
- ✓ Suportes com revestimentos do tipo cerâmico ou de vidro, para além de uma lavagem geral do paramento, devem ser analisados do ponto de vista da estabilidade dos seus elementos, extraíndo os eventuais ladrilhos que estejam descolados do suporte, colmatando com argamassa as zonas onde estes tenham sido extraídos. Em aplicações sobre este tipo de revestimentos é sempre necessário efetuar ensaios de aderência da cola do sistema ao suporte;
- ✓ Os suportes em betão que apresentem degradação por corrosão das armaduras deverão ser reparados com produtos compatíveis com a cola utilizada para fixar o isolamento térmico;
- ✓ Deverá ser realizada uma inspeção de toda a superfície do suporte para aferir se existem zonas em que o reboco apresente falta de aderência. Quando tal se verificar, após a remoção desse reboco, deverão ser preenchidos os vazios de profundidade superior a 1 cm, pois até esta profundidade as irregularidades podem ser facilmente disfarçadas no processo de colagem das placas de isolamento ao suporte (colagem por pontos ou em banda);
- ✓ Após a preparação do suporte devem ser realizados ensaios de aderência da cola do sistema ao suporte.

Antes de se proceder à aplicação do sistema devem ser removidos da fachada eventuais cabos ou tubagens exteriores (sistemas de drenagem pluvial, cabos elétricos, cabos

telefónicos, tubos de gás, etc.) e tidas em atenção as condições atmosféricas (temperatura, humidade, vento e insolação).

- 2) Fixação mecânica ao suporte dos perfis de arranque, laterais, de reforço dos topos, de delimitação de juntas e eventuais elementos de recobrimento;
- 3) Fixação das placas de isolante térmico ao suporte;
- 4) Colagem sobre o isolante das cantoneiras de proteção nos cantos do sistema;
- 5) Aplicação, com talocha metálica, da primeira demão da camada de base, em espessura da ordem dos 2 a 3 mm, recobrimo as cantoneiras de proteção;
- 6) Colocação e embebimento da armadura do revestimento, sobre a primeira camada de base ainda fresca, mediante passagem com talocha metálica;
- 7) Aplicação, com talocha metálica, de nova demão da camada de base do revestimento, logo que a demão anterior esteja suficientemente seca, recobrimo completamente a armadura, apresentando um aspeto final liso e desempenado;
- 8) Aplicação de eventual primário exigido pela camada de acabamento final após secagem completa da camada de base;
- 9) Aplicação, com talocha, escova ou rolo, da camada de acabamento final do revestimento.

5.1.1.5 Escolha do revestimento

Pode encontrar-se no mercado vários tipos de revestimentos, designados por revestimentos corretivos, que têm como principal função corrigir eventuais deficiências funcionais de uma fachada.

Num processo de reabilitação, pode acontecer que o estado de degradação esteja de tal forma avançado que a discussão da escolha do revestimento corretivo a aplicar assente sobretudo nas soluções de maior envergadura, passando muitas vezes a centrar-se sobre a aplicação ou não de um sistema do tipo ETICS. Num processo de decisão sobre a intervenção de reabilitação, deve ser encontrada resposta a um conjunto de questões-chave [24] que a seguir se apresentam:

1. Há fenómenos de instabilidade nas paredes?
2. Há perda de estanquidade das paredes?
3. Há fissuração das paredes?
4. É necessário corrigir ou reforçar as características higrotérmicas das paredes?
5. As paredes existentes constituem suporte mecanicamente adequado a um revestimento corretivo aderente?
6. O revestimento atual das paredes é base adequada para o futuro revestimento?
7. Existem fatores construtivos, arquitetónicos ou outros que condicionem, de forma decisiva, a adoção de uma determinada técnica de reabilitação?
8. O fator económico é preponderante no processo de decisão?

Como proposta de apoio à decisão na escolha de ETICS foi elaborada, com base nas questões anteriores, a matriz que se apresenta no anexo F. Salienta-se que a matriz apresentada constitui apenas um pequeno elemento de apoio que, em conjunto com outros, permite uma tomada de decisão sobre a forma mais correta de intervir em cada caso, sob o ponto de vista técnico e económico.

5.1.1.6 Patologias dos ETICS

A utilização de ETICS tem sido acompanhada pelo aparecimento de diversas patologias, das quais as mais frequentes são:

1. Visualização/demarcção das juntas das placas
2. Alteração da cor das superfícies
3. Crescimento microbiológico
4. Deficiente planeza do sistema
5. Fissuração do revestimento
6. Empolamento do acabamento
7. Descasque do acabamento
8. Empolamento das placas
9. Deterioração do recobrimento das cantoneiras de reforço
10. Perfuração do sistema
11. Dessolidarização (geral ou parcial do sistema)

Refira-se que alguns dos constituintes dos ETICS são preparados em obra, razão pela qual as suas características e/ou comportamento podem ser afetados pelo modo de preparação e pelas condições atmosféricas, nomeadamente temperatura, humidade e vento, durante a sua aplicação e secagem.

As alterações registadas nas características da cola e do reboco podem dever-se ao desrespeito pelas dosagens indicadas pelo fabricante, à falta de homogeneização das misturas ou à adição de água desnecessária. Se aplicados com temperaturas muito baixas, a cola e o reboco podem perder a sua capacidade de aderência e coesão, tornando-se friáveis.

No anexo G apresentam-se as principais anomalias dos ETICS e respetivas causas

5.1.1.6.1 Visualização das juntas das placas

Esta patologia consiste na visualização das juntas das placas do isolante através do revestimento, sendo visível quando a radiação solar incide rasante à fachada, sendo mais evidente quando se registam temperaturas mais elevadas e radiação solar mais forte.



Fig. 5.9 Visualização das juntas das placas [25]

Na sua origem podem estar duas causas distintas: um ligeiro empolamento da superfície exterior das placas; deficiências de regularidade dimensional das placas ou um desfasamento da planimetria das mesmas. Para prevenção desta patologia deverá realizar-se uma correta aplicação do sistema sobre um suporte regular, com placas regularizadas dimensionalmente, e utilizar-se placas de juntas de meia madeira ou macho-fêmea, utilizando a maior espessura possível na camada base.

5.1.1.6.2 Alteração das cores da superfície

Esta anomalia é causada principalmente pelos escorrimentos anómalos de água pela fachada e acumulação de poeiras e sujidades, podendo também ser provocadas pela oxidação de elementos metálicos da fachada, nomeadamente caixilhos e capeamentos, considerando outros autores que a existência de pinturas parciais pode também constituir uma causa para esta patologia.



Fig. 5.10 Manchas de escorrimento [25]

Para se evitar esta anomalia, terá que ser preconizada uma pintura apropriada, em particular nas fachadas com maior exposição ao vento e/ou poluição atmosférica, de modo a reduzir o atrito superficial. Deve executar-se corretamente os diversos elementos construtivos que possam causar escorrências e utilizar materiais resistentes à oxidação nos diversos elementos que integram a fachada.

5.1.1.6.3 Crescimento microbiológico

O crescimento de microrganismos constitui provavelmente a maior vulnerabilidade deste sistema. Na maioria dos casos os microrganismos que se desenvolvam são as algas (cor

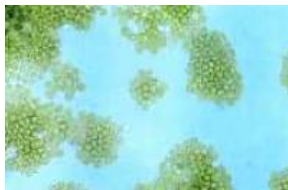
verde), podendo verificar-se também o aparecimento de fungos (bolor negro), e líquenes (cor variável).

Quadro 5.1 Algumas informações relativas aos principais agentes microbiológicos [25]

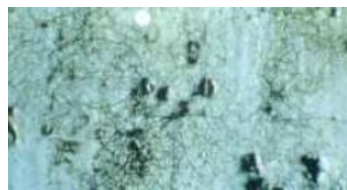
Agente biológico	Nutrientes à superfície	Presença da luz	Locais em que aparecem
Algas	Sais minerais	Necessária	Todos os tipos de substratos, com níveis de humidade
Líquenes			Todos os tipos de substratos
Musgos			Em superfícies onde existem sais e sujidade acumulados
Fungos	Material orgânico	Não necessária	Em superfícies pintadas e em superfícies com sujidades acumuladas
Bactérias	Vários		Certas bactérias originam a deterioração da pedra e a corrosão dos materiais

Como soluções possíveis para evitar este tipo de anomalia, referem-se as seguintes:

- A utilização de biocidas na composição dos acabamentos finais;
- A não existência de vegetação próximo à fachada;
- Evitar fachadas com orientação norte;
- Utilização de acabamentos à base de resinas de silicone, em vez de acrílicos, por apresentarem menor capacidade de absorção de água e melhores características de repelência da mesma.



Algas verdes esféricas



Pintura atacada por fungos



Fixação de líquenes em fachadas

Fig. 5.11 Crescimento microbiológico [23]

5.1.1.6.4 Deficiente planeza do sistema

Esta anomalia constitui um fator para o aparecimento de outras patologias. Quanto mais irregular for uma superfície menos auto lavável será e, conseqüentemente, maior será a probabilidade de acumulação de sujidades e do aparecimento de outras anomalias.

Deverá ser evitada a utilização de andaimes do tipo bailéu ou de outros elementos que possam afetar a planeza do sistema ETICS. No caso de choques de veículos ou de outros objetos deverá ser preconizado um lambril (com altura mínima de 2.0m), resistente a este tipo de choques, ou optar por colocar obstáculos (passeios, guarda corpos, etc.) que evitem a colisão com a parede.



Fig. 5.12 Falta de planeza do sistema [25]

5.1.1.6.5 Fissuração do revestimento

A fissuração é um dos defeitos mais relevantes, podendo ser de diferentes tipos. Os mais frequentes são os seguintes [23]:

- Fissuração radial e concêntrica a partir de ponto de impacto;
- Fissuração localizada, sem direção determinada e com extensão reduzida;
- Fissuração vertical nas arestas ou junto delas;
- Fissuração diagonal, de extensão limitada, junto a cantos de janelas;
- Fissuração nas imediações de juntas de dilatação;
- Fissuração junto à transição de corpos de dimensão distinta;
- Fissuração reticulada, ortogonal com passo de 2 a 4 cm;
- Fissuração vertical com espaçamento regular sobre cantoneiras de arranque;
- Fissuração ritmada sobre as juntas verticais das placas;
- Fissuração larga da camada de base devido a movimentos da alvenaria;
- Fissuração irregular da camada de base devido à ação da água ou retração.



Fissuração ritmada do revestimento sobre cantoneira de arranque



Fissuração entre juntas de placas



Fissuração aleatória.

Fig. 5.13 Vários tipos de fissuração [23] [25]

Existe uma diversidade de causas que estão na origem dos diversos tipos de fissuração apresentados, nomeadamente:

- A espessura da camada base do acabamento deverá ser uniforme e situar-se entre os 2 e 5 mm, garantindo um recobrimento da armadura, sem apresentar espessuras excessivas;

- A não incorporação de armadura no revestimento;
- As juntas entre placas com aberturas superiores a 2mm deverão ser colmatadas com poliestireno expandido, ou com outro material indicado pelo fornecedor, sem nunca ser utilizado o produto da camada base pelo facto de permitir pontes térmicas e originar uma irregularidade no revestimento do isolante e conseqüente fissura.

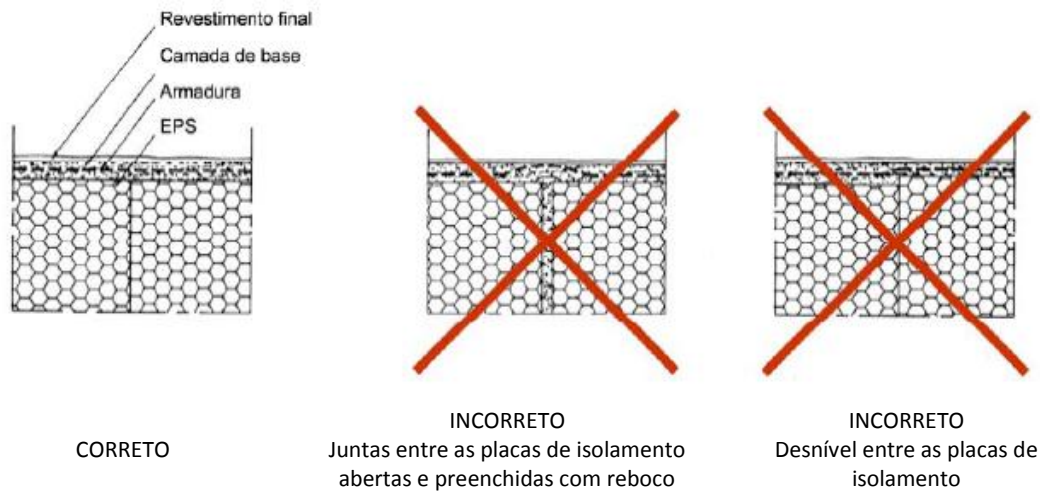


Fig. 5.14 Posicionamento das placas do isolante do ETICS [22]

- As juntas dos perfis de reforço deverão ter uma abertura de 2 a 3 mm para permitir a dilatação dos perfis; deverão estar desencontradas das juntas das placas numa distância mínima de 0.10m (figura 5.15), e estas, por sua vez, também desencontradas das discontinuidades dos suportes (juntas de painéis pré-fabricados, etc.).

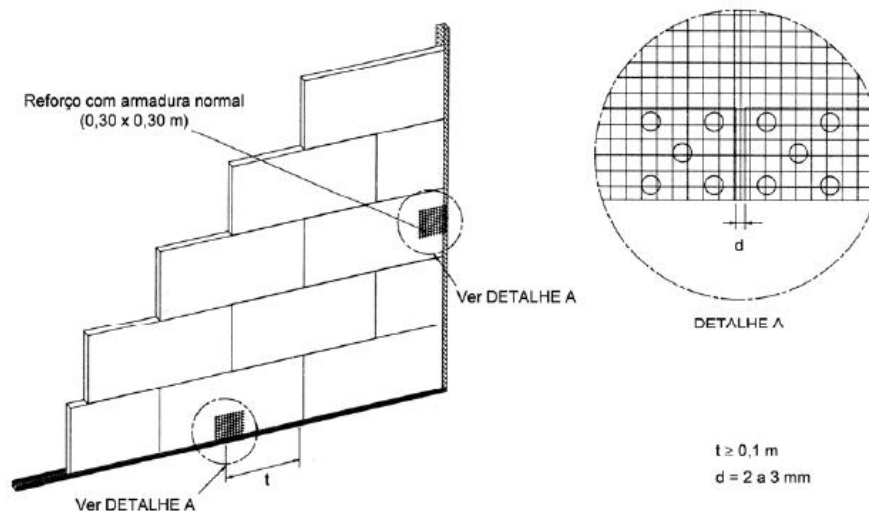


Fig. 5.15 Reforço das juntas entre perfis de arranque e laterais [22]

- Na aplicação da rede, os bordos de faixas contíguas de armadura terão que se sobrepor num comprimento mínimo de 0,10 m, devendo a rede contornar os cantos da fachada pelo menos 0,20 m.
- É fundamental realizar o reforço de pontos singulares previamente à aplicação da camada base e após a colocação dos perfis, com a colagem de reforços de armadura (0,30mx0,30m) nos cantos de vãos, em zonas de juntas de cantoneiras de reforço, tal como apresentado na figura seguinte.

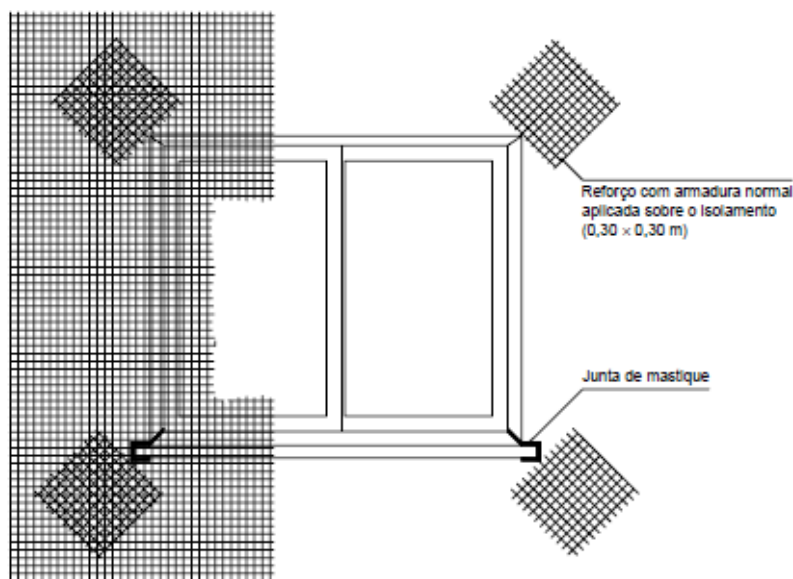


Fig. 5.16 Reforços da armadura no contorno dos vãos de fachada [22]

Podem também estar na origem de fissuração a utilização de materiais em mau estado de conservação, as condições climáticas que poderão afetar a preparação, a aplicação e a secagem da camada de colagem e do revestimento.

Para uma correta aplicação do sistema, deverão ser respeitadas as prescrições das normas técnicas dos fabricantes. Temperaturas muito baixas, podem originar que o produto de colagem e da camada base perca as suas propriedades de aderência e coesão, tornando-se pulverulento. Segundo alguns fornecedores deve evitar-se a aplicação do sistema com tempo chuvoso, com vento forte, e com altas temperaturas, para não alterar as propriedades físicas e mecânicas dos materiais, que poderão provocar uma presa muito lenta ou muito rápida.

Uma deficiente execução da mistura do produto de colagem e da camada base, quer pela ausência de equipamentos mecânicos de mistura quer pelo não cumprimento das dosagens prescritas pelas normas técnicas, poderá provocar uma mudança das características do produto a aplicar, potenciando a retração da argamassa e conseqüente aparecimento de uma fissuração aleatória.

Caso a estabilidade do sistema seja afetada, o ETICS fica fragilizado perdendo rigidez. Se for sujeito a movimentos devido às solicitações higrotérmicas, este tende a fissurar.

A cor do revestimento final deverá ser um fator a ter em conta para a prevenção de fissuração. As cores escuras possuem um coeficiente de absorção solar elevado relativamente às cores claras. São de excluir revestimentos com um coeficiente de absorção de radiação solar superior a 0.7 para fachadas expostas a radiação direta e indireta (reflexão de outras fachadas). Considera-se que revestimentos com coeficientes elevados atingem temperaturas elevadas (superiores a 50°C), incompatíveis com a estabilidade do sistema, podendo originar a fissuração do revestimento.

A fissuração larga do ETICS poderá ter origem em movimentos do suporte, causados por assentamentos diferenciais, deformações de corpos em consola ou da estrutura porticada, que levam à fissuração do suporte e, conseqüentemente, do revestimento.

5.1.1.6.6 Empolamento do acabamento

A principal característica desta patologia consiste na formação de bolhas na superfície do acabamento, conduzindo frequentemente à rotura da zona empolada, fissurando e podendo atingir o descasque.

O empolamento poderá ser causado pela degradação ou deficiente execução de diversos elementos construtivos da envolvente exterior (por exemplo rufos, peitoris ou juntas de dilatação), existência de zonas com o acabamento fissurado ou destacado, que podem provocar infiltrações de água para o interior.

No caso que se apresenta na figura 5.17, o fenómeno teve origem na infiltração de água através da junta de dilatação degradada. A anomalia poderia ser evitada, se fosse preconizada uma solução construtiva de maior durabilidade para a junta de dilatação (recurso à utilização de perfis cobre juntas), ou se a mesma fosse alvo de operações de manutenção ao longo da sua vida útil.

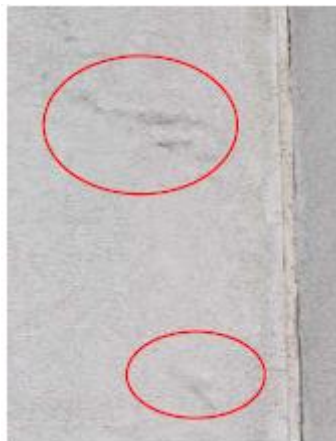


Fig. 5.17 Empolamento do acabamento [25]

Também a correta execução dos pontos singulares, será outro fator preventivo do aparecimento desta anomalia, assim como a utilização de sistemas homologados e corretamente aplicados.

5.1.1.6.7 Descasque do acabamento

Esta anomalia caracteriza-se pelo destacamento e queda do acabamento final relativamente à camada base e tem origem numa microfissuração do acabamento final.



Fig. 5.18 Descasque do acabamento [25]

Entre outras causas destacam-se :

- Ação dos agentes exteriores;
- Insuficiente espessura do recobrimento da armadura;
- Incompatibilidade entre a camada base e acabamento;
- Utilização de materiais não homologados;
- Deficiente aplicação do acabamento;
- Existência de temperaturas elevadas durante a aplicação do acabamento, conduzindo a uma rápida secagem alterando as propriedades do material, ou por uma mistura não homogénea com desrespeito das dosagens prescritas;
- Mau estado de conservação do material aquando da aplicação (deficiência de armazenamento).

Para prevenção desta anomalia deve fazer-se uma correta aplicação do revestimento do isolante, utilizando materiais de sistemas homologados e que se encontrem em bom estado de conservação.

5.1.1.6.8 Empolamento das placas

Este fenómeno consiste numa irregularidade acentuada da superfície do ETICS, tomando maiores proporções do que o fenómeno de visualização das juntas das placas.

As causas principais do empolamento das placas são a aplicação do ETICS sobre suporte irregular, deficiente colagem das placas do isolante ao suporte ou entrada de água pelo tardo do ETICS. Aliados às solicitações higrotérmicas, estes fatores provocam expansões das placas

originando o empolamento, podendo conduzir à fissuração do revestimento do isolante e ao descolamento parcial ou total das placas afetadas.



Fig. 5.19 Empolamento das placas [25]

Para evitar o empolamento das placas deve fazer-se uma correta aplicação do sistema, com uma boa execução dos remates da envolvente exterior, tendo cuidado na utilização de andaimes durante e após a construção. Não é compatível com este tipo de revestimento, a utilização de andaimes tipo bailéu.

5.1.1.6.9 Deterioração do recobrimento das cantoneiras de reforço

Esta anomalia deve-se fundamentalmente a erros de conceção e/ou execução, assim como à utilização de produtos, em particular perfis com geometria e constituição não homologada, e sem furação que garanta a aderência do revestimento.

Caracteriza-se pela existência de uma fissuração longitudinal do recobrimento do perfil ao longo do seu comprimento, com possível desenvolvimento para a dessolidarização e queda do mesmo (figura 5.20). Nalguns casos, assiste-se a uma dupla fissuração, coincidindo com os bordos do perfil.



Fig. 5.20 Degradação do recobrimento do perfil de arranque [25]

Dada a fragilidade do revestimento do sistema, deverão ser criadas juntas em zonas de contacto com elementos rígidos (por exemplo em caixilharias, peitoris, lambris), de modo a

absorver os deslocamentos diferenciais do ETICS, provocados por solicitações higrotérmicas, sendo executadas com mástique associado com um cordão fundo de junta.

Salienta-se a importância da correta execução da ligação do ETICS, prolongando a rede sobre o perfil (até ao tardo) do perfil e fixando-a com buchas.

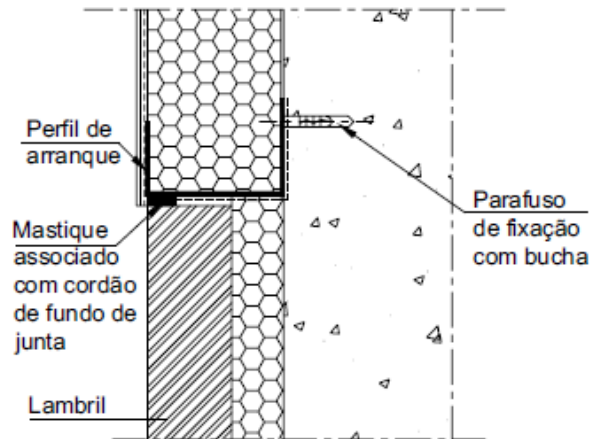


Fig. 5.21 Pormenor da solução proposta [25]

5.1.1.6.10 Perfuração do sistema

Esta patologia caracteriza-se por uma rotura localizada, devido a um choque realizado na superfície do sistema, podendo nalguns casos a rotura atingir também a rede de fibra de vidro, provocando o seu rompimento. Normalmente, tanto o revestimento do isolante como o próprio isolante são danificados.

Uma das características do ETICS é a sua reduzida resistência ao choque. O revestimento do isolante armado, sendo a única camada a contribuir para a resistência do conjunto, não garante níveis satisfatórios de resistência do sistema.

As principais causas, referidas no anexo G, aliadas à reduzida resistência ao punçamento do ETICS e à ausência de armadura de reforço nalgumas zonas, tornam esta anomalia muito frequente.



Fig. 5.22 Perfuração do sistema [23]

Como medidas preventivas para esta patologia podemos referir os reforços de armadura ou utilização de lambris. Para se evitar a perfuração em certos pontos específicos como, por exemplo, pancadas pela abertura de portas, deverá ser preconizado um batente. Noutros

casos, como prevenção face a possíveis choques de veículos, deverá ser colocado um obstáculo que evite o seu contacto com a parede.

5.1.1.6.11 Dessolidarização do sistema



Fig. 5.23 Dessolidarização e queda generalizada do sistema [22]

Trata-se de uma patologia pouco frequente sendo, no entanto, o que mais afeta o nível de desempenho do ETICS.

Este fenómeno pode tomar duas proporções distintas: a dessolidarização parcial ou a dessolidarização generalizada com conseqüente queda do ETICS.

Como causas principais desta anomalia destacam-se a deficiente preparação do suporte e a aplicação do sistema.

A primeira relaciona-se com suportes que se apresentam com sujidades, poeiras, óleo de descofragem ou de produtos hidrófugos, com presença de gelo ou muito molhados e com revestimentos orgânicos aplicados (pinturas, impermeabilizações, etc.).

Salienta-se que os produtos de colagem normalmente utilizados, constituídos à base de cimento, quando aplicados sobre revestimentos de ligantes orgânicos, produzem reações químicas que conduzem geralmente ao descolamento do ETICS.

De entre as causas relacionadas com a aplicação do sistema, destacam-se as seguintes:

- Existência de condições desfavoráveis durante a aplicação (tempo húmido ou de temperaturas baixas) que exigem maiores tempos de secagem da camada de colagem;
- A existência de uma colagem ou fixação mecânica ineficiente, tanto pela ausência ou insuficiência de produto de colagem, como pela deficiente compressão das mesmas contra o suporte, ou pela deficiente aplicação da fixação mecânica (subdimensionamento da sua disposição face à exposição da fachada ao vento ou utilização de buchas não homologadas ou inadequadas ao suporte).
- Infiltração de água para o tardo do ETICS, por insuficiente proteção superior da parede e da má execução de pontos singulares;
- Movimentos acentuados do suporte incompatíveis com a estabilidade do sistema.

5.1.2 “Vêture”

Os sistemas de isolamento térmico por componentes descontínuos prefabricados (vêtures) são industrializados; chegam à obra prontos a serem aplicados, sendo a sua fixação efetuada diretamente aos suportes por meios mecânicos. São constituídos por um material isolante em placa revestido exteriormente por uma película (de natureza metálica, mineral ou orgânica). (Figura 5.24 e 5.25).

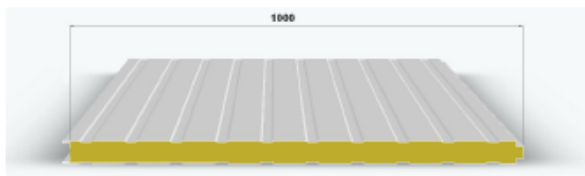


Fig. 5.24 Tipo de revestimentos pré-fabricados com isolante [19]

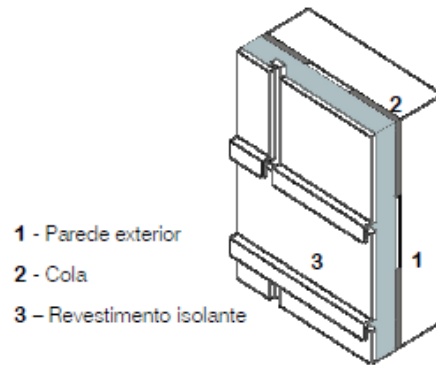


Fig. 5.25 Esquema de componentes pré-fabricados [19]

A sua aplicação em obra é executada numa operação única, dispensando as fases sucessivas inerentes às outras técnicas de isolamento térmico pelo exterior, apresentando, no entanto, algumas dificuldades de adaptação a pontos singulares das fachadas, nomeadamente vãos, que obrigam a cortes dos elementos em obra, com dificuldade de tratamento nas zonas cortadas.

Os dispositivos de fixação do sistema ao suporte devem atravessar toda a espessura do conjunto (revestimento - isolamento) de modo a garantir a sua solidariedade.

No que se refere à forma, existem duas tipologias de elementos: elementos de reduzidas dimensões faciais (elementos em escama) ou elementos com uma dimensão facial muito superior à outra (elementos em forma de lâmina).

Na conceção de uma “vêture” além do problema de adaptação aos pontos singulares dos suportes devem também ser resolvidos adequadamente outros dois aspetos: a configuração das juntas entre elementos e a limitação do risco de condensações no interior do isolante.

Relativamente à primeira, devem ser adotadas disposições que tornem as juntas suficientemente estanques e que permitam uma certa movimentação entre elementos causados por ajustes de posição ou variações dimensionais por ação da temperatura. As juntas horizontais entre elementos são, em geral, de recobrimento e, portanto, estanques à água. As juntas verticais são concebidas de modo a que a água da chuva que as atinge ou a humidade de condensação sejam por elas conduzidas para o exterior.

Tratando-se de um sistema que não comporta caixa-de-ar ventilada, entre o revestimento e o isolamento, compete a este último para além das funções térmicas, servir de suporte ao revestimento e participar na estanquidade do conjunto, pelo que o isolamento adotado terá que

possuir as necessárias características mecânicas e de comportamento sob a ação da água. Se o revestimento exterior for de baixa permeância ao vapor de água, deverão criar-se caneluras de ar descontínuas, entre o revestimento e o isolante, através de ranhuras praticadas no isolante ou em alternativa a utilização de revestimentos de chapa canelada. Estes sistemas obrigam também à conceção de acessórios para reforço, proteção ou enquadramento (como por exemplo perfis de proteção de topos, reforço de ângulos ou perfis de enquadramento do sistema em interrupções correspondentes a vãos)

A aplicação destes sistemas exigem suportes bastante planos, pelo que se deverá fazer uma regularização prévia, se necessário. Em sistemas de reduzidas dimensões faciais a sua aplicação pode ser feita de baixo para cima ou ao contrário, sendo mais frequente utilizar o primeiro procedimento. Em sistemas com elementos em forma de lâmina a sua aplicação é também feita, normalmente, de baixo para cima. Quando a maior dimensão for disposta na vertical os trabalhos devem avançar no sentido contrário ao do vento dominante.

5.1.3 Fachada ventilada

Podemos descrever uma fachada ventilada como sendo um sistema de proteção e revestimento envolvente exterior vertical de edifícios, caracterizado pelo afastamento entre o suporte e o revestimento, criando assim uma caixa-de-ar dinâmica, que permite a ventilação natural e contínua da parede do edifício. Este sistema pode ser utilizado quer se trate de uma construção nova ou de um trabalho de recuperação.

O revestimento é constituído por elementos independentes e descontínuos, de espessura e dimensões variáveis, fixados mecanicamente através de estruturas intermédias ou pontualmente.

Além das vantagens comuns a outros sistemas com isolamento térmico pelo exterior, destacam-se ainda as seguintes:

- Melhoria do isolamento acústico devido à existência da caixa-de-ar, nomeadamente em frequências médias/altas;
- Facilidade de manutenção e substituição;
- Alta produtividade, uma vez que se trata de um sistema de montagem industrializado.

No entanto, este sistema tem algumas limitações, tais como:

- Ausência de normas, regulamentos e requisitos de desempenho que agreguem valor comercial ao produto;
- Necessidade de mão-de-obra qualificada e com experiência;
- Exigência de projeto específico detalhado e que defina pormenorizadamente o processo de montagem;
- Custos elevados relativamente a soluções mais tradicionais.

5.1.3.1 Elementos constituintes

Como elementos principais que constituem este sistema podemos referir:

- O pano interior da fachada (suporte)
- O isolante térmico;
- Câmara-de-ar ventilada;
- O revestimento exterior que tem principalmente uma função estética e de proteção da parede do edifício;
- Subestrutura portante (estrutura intermédia). É através desta estrutura que se consegue o afastamento necessário para criar a câmara-de-ar.

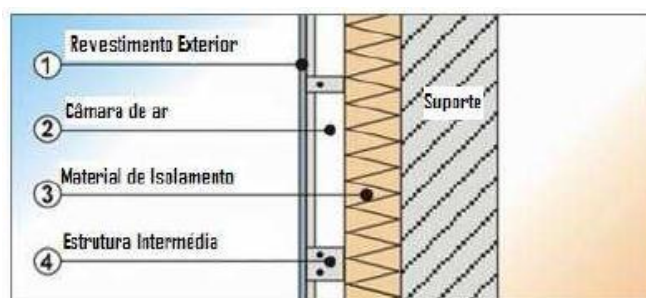


Fig. 5.26 Esquema de um sistema de fachada ventilada [26]

Todos os materiais utilizados na construção deste sistema devem ser protegidos de acordo com o ambiente onde estão expostos, de modo a evitar a sua corrosão, apodrecimento ou outras patologias.

Em sistemas de fachada ventilada, é recomendável que o suporte tenha uma espessura mínima de 20 cm de modo a garantir um bom desempenho face às solicitações a que se sujeitará a parede.

Os elementos de fixação de um sistema de fachada ventilada têm como função transmitir ao suporte as solicitações devidas ao revestimento exterior, existindo no mercado diversas soluções disponíveis. As fixações podem ser pontuais ou contínuas e com acoplamento oculto ou visível.

A tabela que se segue mostra o grau de confiança do suporte para utilização como base para ancoragens de fachadas ventiladas.

Tabela 5.1 Grau de confiança em função da natureza do suporte [27]

Natureza do suporte	Grau de confiança
Betão	Excelente
Tijolo maciço	Muito bom
Tijolo perfurado	Bom
Blocos de argamassa de cimento com septos de 3 cm	
Tijolo cerâmico com pequenas células	
Tijolo cerâmico vazado	Inaceitável (quando utilizado sem reforços, por exemplo cintas)
Nota: No dimensionamento das ancoragens deverá ter-se em conta, para além da resistência do material, a situação das juntas e bordo da alvenaria	

5.1.3.2 Fixação de fachadas

Os sistemas de fachada ventilada podem ser fixados direta ou indiretamente sobre o suporte. São elementos de fixação direta (ou pontual) aqueles que estabelecem uma ligação direta entre o suporte e o revestimento, não dependendo portanto de estruturas intermédias. O suporte deve possuir resistência para a inclusão deste tipo de fixações em toda a sua extensão. Utiliza-se, normalmente, este tipo de fixação em elementos de revestimento de reduzidas dimensões faciais e colocados com juntas de topo.

A fixação deste tipo de componentes ao suporte pode ser mecânica ou de chumbar, necessitando de um suporte com resistência suficiente para a fixação, em quase toda a extensão.

Na fixação indireta existem dispositivos compostos por uma estrutura intermédia (em madeira, aço, ferro ou alumínio) entre o suporte e o revestimento e pelos restantes componentes que permitem a sua aplicação sobre o suporte bem como a aplicação do revestimento sobre a estrutura intermédia [26].

Neste tipo, de fixação das placas de revestimento, dispõem-se de duas soluções: fixação oculta e fixação à vista.

Na fixação oculta, os dispositivos de fixação são inseridos no tardo da placa ou na sua espessura se a mesma for suficiente, pelo que não ficam visíveis no revestimento acabado. Embora este sistema tenha sido desenvolvido para pedra natural, também permite a colocação de uma variedade de revestimentos tais como peças de fibrocimento, painéis cerâmicos e elementos de grande calibre.

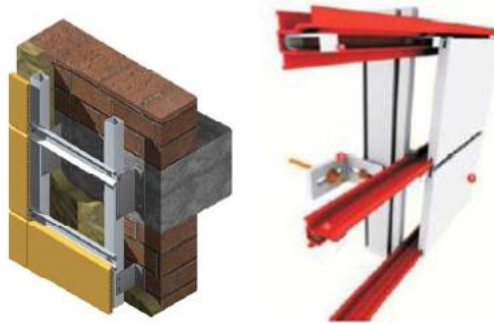


Fig. 5.27 Exemplos de fixação oculta [26]

Se o dispositivo utilizado na ligação das placas à estrutura intermédia fica visível pela parte exterior do edifício, designamos a ligação por fixação à vista.

Este sistema encontra-se pensado para revestimentos cerâmicos, utilizando-se clips metálicos para fixar as placas; pode também aplicar-se com peças de pedra natural delgada, laminadas, placas de alumínio e outros materiais.



Fig. 5.28 Exemplos de fixação à vista [26]

5.1.3.3 Revestimento exterior

O revestimento exterior deste sistema tem, fundamentalmente, uma função estética e de proteção das paredes do edifício, sendo constituído por placas de dimensões faciais variáveis, enquanto que a sua espessura, normalmente, não ultrapassa os 5 cm; alguns tipos de revestimento têm exigências mínimas de espessura, consoante o tipo de fixação a utilizar. Estas placas podem ser feitas de inúmeros materiais, sendo que os mais utilizados atualmente são: pedra natural, cerâmicas, grés porcelânico, alumínio composto e compostos fenólicos.

5.1.3.4 Patologias em paredes ventiladas

As patologias mais comuns em sistemas de fachada ventilada neste tipo de sistema são normalmente resultado de uma deficiente execução ou de escolhas inadequadas por parte do projetista.

Os problemas passíveis de ocorrer nas fachadas ventiladas prendem-se principalmente com os revestimentos, quer a nível estético quer a nível de segurança. Dos diversos materiais possíveis de utilizar, os mais sensíveis a alterações de aspeto são a pedra natural e a cerâmica. Os restantes revestimentos são menos suscetíveis de sofrer alterações significativas uma vez que têm níveis de acabamento e de tratamento maiores.

As eflorescências, manchas que aparecem na superfície de alguns tipos de revestimentos, normalmente de pedra ou cerâmica, têm origem na dissolução dos sais constituintes do material ou das juntas e a sua posterior cristalização à superfície, ou na limpeza do revestimento com produtos químicos agressivos para o material. Esta patologia terá maior probabilidade de ocorrer quanto mais poroso for o material das placas de revestimento e quanto mais agressivas forem as condições climáticas do local em questão. Estas manchas apresentam normalmente cor branca podendo, no entanto, ter outras colorações que dependem da composição química dos sais que lhes dão origem. Esta patologia origina que o aspeto do revestimento sofra uma rápida degradação, podendo também originar alterações físico-químicas que envelheçam o material de revestimento precocemente, causando danos na sua superfície.

Outra patologia frequente consiste no aparecimento de musgos, líquenes, fungos ou outros agentes biológicos. A exposição à poluição também pode originar manchas, devido à sujidade

que se acumula na superfície do revestimento e aos compostos químicos que atacam o material que o compõe.

Os problemas mais preocupantes são os desprendimentos de placas de revestimento que podem pôr em risco pessoas ou bens. Podem ocorrer devido a vários fatores, tais como: vento, o peso próprio das placas, ou execução pouco cuidada da fachada, mas serão sobretudo consequência de um subdimensionamento das fixações face às solicitações previsíveis.

5.1.4 Revestimentos aderentes constituídos por Argamassa Isolante

Esta solução consiste na aplicação de revestimentos constituídos por argamassas com agregados leves e com massas volúmicas inferiores a 660 Kg/m³, sendo normalmente compostos por duas camadas: a camada leve e isolante da argamassa térmica, e uma camada de acabamento, mais dura e armada com rede de fibra de vidro. As argamassas térmicas são cobertas pela EN 998-1 e têm a designação de argamassas de revestimento de isolamento térmico.

Estes rebocos são aplicados com espessuras muito limitadas, não sendo a sua condutibilidade térmica comparável à dos isolantes térmicos propriamente ditos. Assim o recurso a esta solução não é, de uma maneira geral, suficiente para conferir às paredes a reabilitar o nível de isolamento térmico pretendido, pelo que não dispensa a adoção de outras medidas, em simultâneo.

Neste âmbito, salientam-se os estudos que a Secil tem vindo a fazer na introdução de novos constituintes na composição das argamassas com o objetivo de dotar a envolvente opaca de uma maior estabilidade, maior resistência mecânica superficial e melhoria na segurança contra incêndios.

Após um trabalho exaustivo apresentou uma argamassa com as seguintes características:

Tabela 5.2 Características físicas e mecânicas [28]

Características		Unidades	Ref. ^a de ensaio	Valores de ensaio/ classes	
Massa volúmica (produto endurecido)		kg / m^3	EN 1015-10	250	-
Absorção de água por capilaridade	Coef. de capilaridade	$kg / m^2 min^{0,5}$	EN 1015-18	$\leq 0,05$	W2
Permeabilidade ao vapor de água	Coef. de difusão ao vapor	-	EN 1015-19	< 10	70% Hr
Resistência à compressão		MPa	EN 1015-11	CSI	-
Resistência à tração por flexão		MPa	EN 1015-11	0,6	-
Módulo de elasticidade dinâmico		MPa	BS 1881-5 BS 1881-203	500	-

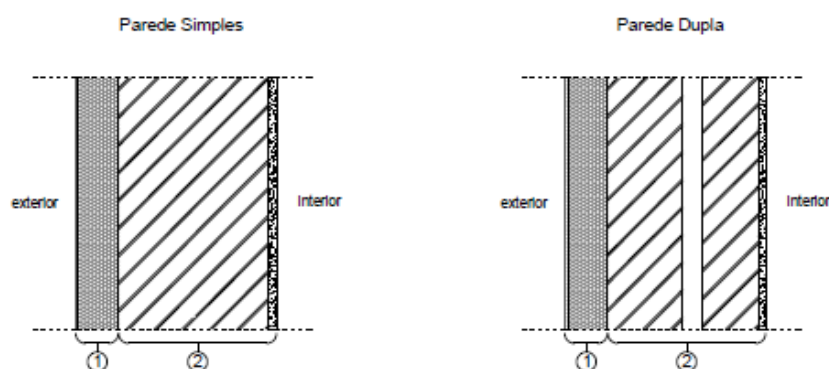
Tabela 5.3 Características físicas [28]

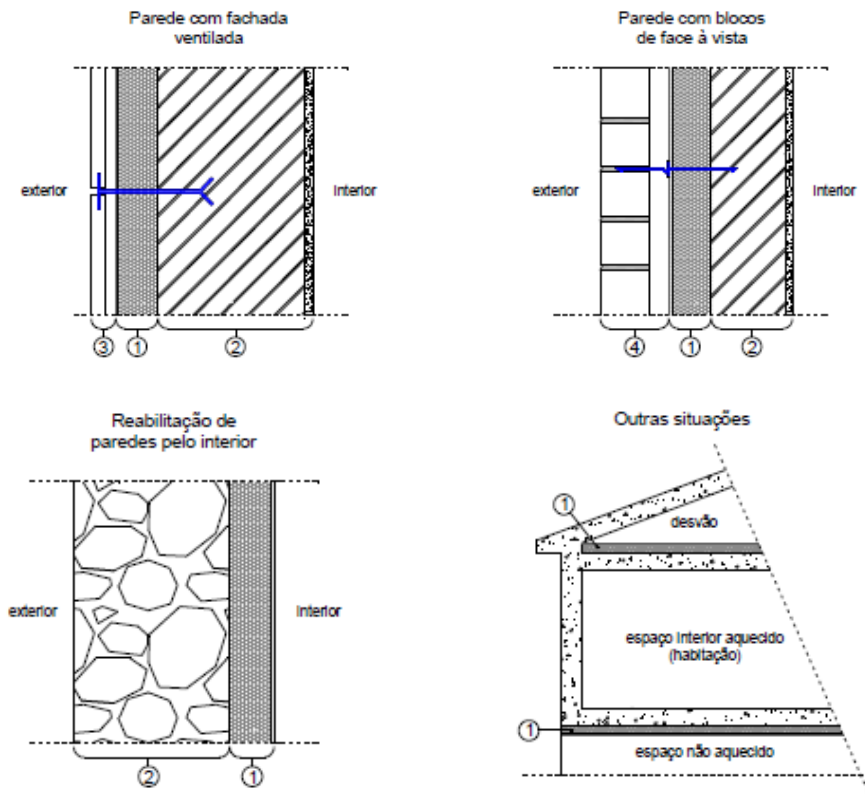
Características	Unidades	Ref.ª de ensaio	Valores de ensaio/ classes	
Condutibilidade térmica	W / mK	EN 1745 (EN 12664)	0,069	T1
Reação ao fogo	Classes	EN 13501 1	Bs1d0	Bs1d0
Aderência	N / mm^2	EN 1015-12	0,15	Rotura coesiva
Expansão livre	Idades (dias) 1-7-15-90	LNEC E 394	0,1-0,2-0,2- 0,4	Sem fissuração aparente
Índice de redução sonora a sons aéreos (Rw). (parede de tijolo cerâmico de 22 cm com 1 cm de RHP Plus Int. no interior e 4 cm de ISODUR revestido com 3 mm de Flexdur no exterior)	dB	NP EN ISO 717-1 NPEN 20140-3	44	-

Trata-se de uma argamassa projetável, sem recurso a fixações mecânicas ou colagens. Além de um bom desempenho térmico, a argamassa apresenta um módulo de elasticidade baixo e uma expansão livre perfeitamente aceitável conferindo a este produto muito baixa tendência para a fissuração [28].

5.1.4.1 Sistema ISODUR

O Isodur é um reboco térmico projetado, constituído por agregados de baixa densidade, caracterizado por permitir, simultaneamente, o desempenho e o isolamento térmico sobre os suportes correntes na construção, nomeadamente alvenaria de tijolo, alvenaria de pedra, blocos de betão ou betão, tanto em obras novas como em obras de reabilitação nas seguintes situações (Fig. 5.29):





- 1- Argamassa térmica
- 2- Suporte do sistema
- 3- Revestimento exterior formando uma fachada ventilada
- 4- Parede de alvenaria com blocos com face à vista

Fig. 5.29 Possibilidades de aplicação do sistema ISODUR [28]

Os suportes devem estar isentos de poeiras, descofrantes, matérias desagregadas ou instáveis, eflorescências, bem como de qualquer tipo de diminuição às normais condições de aderência. Em caso de aplicação sobre suportes de betão liso ou de baixa absorção, recomenda-se antes da projeção de reboco térmico, a aplicação de SecilTEK AD 90 [29]. Em obras de reabilitação deve verificar-se a estabilidade dos suportes, corrigir e reforçar zonas fissuradas ou degradadas e remover áreas que não ofereçam boas condições de aderência. O sistema pode ser constituído por duas camadas (isolante e regularização) ou por três (isolante, regularização e acabamento).

Em qualquer dos casos, a camada aplicada inicialmente, por projeção mecânica diretamente sobre os suportes, é a do reboco de isolamento térmico. A projeção deve ser feita dispendo a argamassa horizontalmente em cordões sobrepostos, de baixo para cima. A espessura total desta camada, deve estar compreendida entre 2 e 10 cm. Para espessuras totais superiores a 4 cm, a execução do reboco deve realizar-se em camadas de espessura idêntica, separadas por um intervalo de tempo superior a 2 horas. As subcamadas não devem exceder espessuras de 4 cm.



Fig. 5.30 Projeção mecânica do reboco térmico [28]

Concluída a projeção deve ser feito o seu nivelamento recorrendo à utilização de régua metálicas, realizando passagens de baixo para cima. Durante as primeiras vinte e quatro horas, após a projeção, deve ser preparada a superfície do reboco, recorrendo-se a uma régua de corte ou talocha de pregos, para remover os excessos de material e tornar rugosa a superfície do reboco, promovendo uma melhor aderência da camada seguinte, de regularização.



Fig. 5.31 Regularização e aperto da argamassa Isodur [28]

Se o sistema for constituído por duas camadas aplica-se um barramento da argamassa Flexdur, que homogeneiza a superfície do reboco isolante e reforça mecanicamente o sistema, proporcionando a obtenção de superfícies areadas como acabamento final, permitindo receber um esquema de pintura.



- 1- Tijolo ou outro tipo de suporte
- 2- Reboco térmico projetado ISODUR
- 3- Argamassa de regularização e de acabamento areado fino FLEXDUR

Fig. 5.32 Sistema Isodur em duas camadas [29]

A aplicação de Flexdur deverá ser feita após decorrer um período mínimo de 3 semanas de cura, executando-se um barramento com espessura entre 3 e 5 mm. Deve assegurar-se

sempre que possível, a execução de panos completos minimizando juntas de trabalho. Quando tal não for possível, os trabalhos devem ser retomados num prazo máximo de 12 horas.



Fig. 5.33 Aplicação da camada de regularização e acabamento Flexdur [24]

O acabamento deverá ser realizado com uma talocha mecânica ou esponja, sobre a superfície ainda fresca.



Fig. 5.34 Acabamento areado do Flexdur [24]

Antes da aplicação do acabamento com tinta de base aquosa o Flexdur deve secar durante um período mínimo de 28 dias.

No caso do sistema ser constituído por três camadas, a camada de regularização é constituída pela aplicação de um barramento de argamassa Fixdur, após ter decorrido um período não inferior a duas semanas da aplicação do reboco térmico. O barramento deve ser realizado utilizando uma talocha metálica inoxidável, numa espessura recomendada de 2 mm. Sobre esta primeira camada de Fixdur, ainda fresca, deve ser incorporada rede de fibra de vidro, utilizando para o seu embebedimento a talocha mecânica. A emenda ente tiras de fibra de vidro deve respeitar uma sobreposição de aproximadamente, 10 cm. Executa-se posteriormente uma segunda camada de Fixdur, exceto se o acabamento for em pedra natural ou cerâmico, incrementando a espessura de forma a obter uma camada total armada com pelo menos 4 mm. O sistema completa-se com a aplicação da camada de acabamento, sendo possíveis:

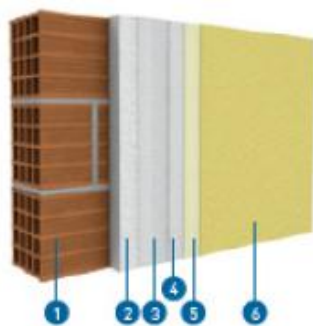
- Acabamento acrílico
- Acabamento estanhado liso em interior e exterior
- Acabamento estanhado interior
- Revestimento cerâmico ou pedra natural

Optando por um acabamento acrílico, aplica-se após 7 dias de cura, o primário SecilTek AD 20 sobre a superfície de regularização, recorrendo a um rolo anti-gota, deixando-o secar entre 4 a 6 horas antes da execução do acabamento acrílico Revdur [29].



Fig. 5.35 Aplicação do primário SecilTEK AD 20 [29]

Para executar o acabamento acrílico recorre-se à utilização de talocha metálica numa espessura não superior à dimensão máxima do granulado, aproximadamente 2 mm de espessura. Após uma ligeira secagem do Revdur, ajusta-se a textura desejada com a passagem de uma talocha de plástico em movimentos circulares evidenciando os grãos. Sempre que possível, devemos minimizar as juntas de trabalho executando o acabamento em panos completos ou realizando a retoma em juntas de trabalho, num prazo máximo de 10 minutos.



- 1- Tijolo ou outro tipo de suporte
- 2- Reboco térmico projetado ISODUR
- 3- Argamassa de regularização FIXDUR com rede de fibra de vidro
- 4- Argamassa de regularização FIXDUR (2ª camada)
- 5- Primário anti-alcálico SecilTEK AD 20
- 6- Acabamento decorativo REVDUR

Fig. 5.36 Sistema Isodur com acabamento em acrílico [29]

Para obter um acabamento estanhado liso, em interior e exterior, após secagem do Fixdur, aplica-se a pasta de estanhar SecilTEK PK02, com o auxílio de uma talocha metálica nas demãos necessárias ao acabamento pretendido. O tempo de secagem entre demãos é de 2 a 4 horas. No caso de acabamento estanhado interior estende-se sobre a superfície de Fixdur ainda fresca, mas suficientemente endurecida para receber o acabamento, o estuque sintético Seciltek PK 06, recorrendo a uma talocha metálica. Após presa desta camada aplica-se uma segunda, de modo a obter-se a textura desejada.



- 1- Tijolo ou outro tipo de suporte
- 2- Reboco térmico projetado ISODUR
- 3- Argamassa de regularização FIXDUR com rede de fibra de vidro
- 4- Argamassa de regularização FIXDUR (2ª camada)
- 5- Pasta de estanho SecRTEK PK 02

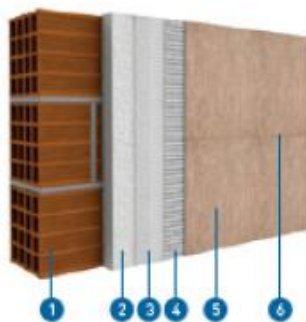
Fig. 5.37 Sistema Isodur com acabamento estanhado (liso) [25]

Relativamente ao acabamento com revestimento cerâmico ou pedra natural, deve recorrer-se à utilização de cimento-cola Adhere Multiflex, para aplicação sobre a camada de Fixdur com uma cura não inferior a 28 dias. A superfície deve ser regularizada com pente ou talocha denteada com dimensão adequada à peça a aplicar.



Fig. 5.38 Aplicação do cimento cola ADHERE Multiflex [29]

Para proceder à colagem as peças devem ser colocadas sobre o suporte e pressionadas contra o mesmo, com um leve movimento e com o auxílio de um maço de borracha, até se obter o esmagamento do cordão do cimento cola. As juntas entre as peças devem ter um mínimo de 2 mm de espaçamento em interiores e 5 mm em exteriores. Entre 24 e 48 horas, após a colocação dos cerâmicos procede-se à betumação das juntas com argamassa Adhere Corflex, que deve ser aplicada com talocha de borracha, estendendo a argamassa na direção diagonal das peças, a qual deve ser fortemente pressionada de modo a preencher totalmente a junta e retirar o excedente. Logo que o produto esteja totalmente seco procede-se a uma limpeza geral com esponja húmida, eliminando seguidamente o excesso de pó com auxílio de um pano seco.



- 1- Tijolo ou outro tipo de suporte
- 2- Reboco térmico projetado ISODUR
- 3- Argamassa de regularização FIXDUR com rede de fibra de vidro
- 4- Cimento cola ADHERE Multiflex
- 5- Revestimento cerâmico
- 6- Juntas betumadas com ADHERE Cor Flex

Fig. 5.39 Sistema Isodur com revestimento cerâmico ou pedra natural [29]

O sistema Isodur apresenta algumas condicionantes, das quais se destacam as seguintes:

- Os produtos que integram o sistema não devem ser aplicados a temperaturas ambientes e de suporte inferiores a 5 °C ou superiores a 30 °C;
- Em tempo seco ou de forte exposição aos ventos ou exposição solar, deve proceder-se à proteção das fachadas, de modo a minimizar a ação direta destes agentes;
- Devem evitar-se aplicações em condições com chuva ou humidade relativa superior a 80%;
- Não se deve adicionar aditivos ou outras substâncias aos produtos, caso estas indicações não estejam claramente indicadas nas instruções;
- Devem ser respeitadas as juntas estruturais do edifício interrompendo a execução do sistema, introduzindo-se os perfis para junta de dilatação;
- O sistema não deve ser aplicado sobre suportes sujeitos a humidades ascendentes;
- No caso de aplicações sobre suportes antigos, o sistema ISODUR poderá ser reforçado com a implementação de buchas plásticas, aplicadas sobre armadura de rede de fibra de vidro incorporada na última camada do reboco de isolamento térmico Isodur;
- Para colagens de elementos com superfícies superiores a 900 cm², colagens de revestimentos com peso superior a 30 kg/m², ou revestimentos situados a uma altura entre os 6 e os 28 metros, recomenda-se a fixação mecânica das peças ao suporte.

5.1.5 Argamassas Térmicas Sustentáveis

Nos edifícios é possível otimizar o aproveitamento da energia gerada (quer a energia consumida para aquecimento quer a energia de arrefecimento) que acaba por se dissipar. Isto será possível melhorando as condições de conservação de energia dos edifícios, que são por si só responsáveis por um consumo considerável de energia no nosso país.

Encontra-se em investigação uma solução na qual se insere a aplicação de novos materiais que auxiliam a conservação de energia, em combinação com materiais e tecnologias utilizadas atualmente na construção civil. Trata-se de materiais ativos uma vez que o seu uso pode influenciar o ambiente que os rodeia, sendo designados por “Phase Change Materials” (PCM), já utilizados na indústria têxtil, indústria automóvel, bioquímica, medicina, entre outras.

Os PCM são partículas microscópicas com a capacidade de armazenar energia, passando da fase sólida à fase líquida à temperatura ambiente, sendo a temperatura de mudança programada previamente.

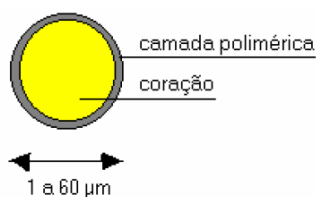


Fig. 5.40 Estrutura dos PCM's [30]

O armazenamento de energia sob a forma de calor, com recurso a incorporação de PCM, apresenta as seguintes vantagens: uniformização na solicitação da energia da rede; diminuição dos gastos com a fatura elétrica; contribuição para o aumento do conforto térmico no interior dos edifícios pelo armazenamento e utilização do calor associado à energia solar (em particular para o aquecimento durante o inverno) e do fresco associado a ventilação natural noturna (em particular para o arrefecimento durante o verão) reduzindo assim o recurso a aquecedores e a sistemas de ar condicionado.

Em Portugal têm sido realizados estudos pela Universidade do Minho cujo objetivo é desenvolver uma argamassa mista de cal aérea e gesso, com incorporação de microcápsulas de PCM, que possua um compromisso entre a trabalhabilidade, resistência mecânica e aparência estética [31], e que possa ser aplicada tanto na construção nova de edifícios como em operações de reabilitação.

5.1.5.1 Materiais de mudança de fase (Phase Change Material)

Um PCM ideal deverá preencher um certo número de premissas, tais como:

- Um alto calor de fusão;
- Alta capacidade de aquecimento;
- Alta condutibilidade térmica;
- Pequena mudança de volume em fase de transição;
- Não ser corrosivo;
- Não ser tóxico;
- Não ser inflamável;
- Apresentar pouca ou nenhuma decomposição.

Quando a temperatura ambiente que rodeia o PCM aumenta e ultrapassa o seu ponto de fusão, este liquefaz-se, absorvendo e armazenando a energia calorífica ambiente. Mais tarde, quando a temperatura ambiente diminui, e passa o ponto de solidificação do PCM, este transita de fase, libertando a energia anteriormente armazenada e solidifica.

Para que os PCM não se misturem na massa dos materiais de construção, ao passarem da fase sólida à fase líquida, são envolvidos numa película protetora, normalmente constituída por um polímero, com dimensões inferiores a 1 cm de diâmetro, sendo as suas dimensões preferenciais de 1 a 60 μm . Como exemplos de PCM salientamos as ceras e parafinas, materiais obtidos por refinação do crude ou produzidos sinteticamente. Os sais hidratados constituem o grupo mais importante dos PCM que tem vindo a ser estudado para a sua utilização em sistemas de armazenamento térmico.

A incorporação de materiais de mudança de fase em edifícios possui impactos benéficos nas dimensões social, económica e ambiental [32]. Os benefícios sociais estão relacionados com o aumento do conforto térmico no interior das habitações que é conseguido através da capacidade de armazenamento do PCM, permitindo armazenar e libertar energia mantendo as temperaturas interiores sensivelmente constantes, ou pelo menos com pequenas variações. A

incorporação de PCM, possui ainda um efeito benéfico na humidade interior dos espaços, conduzindo a uma diminuição de eventuais patologias no interior dos edifícios.

Em termos ambientais a utilização dos PCM proporcionará uma diminuição do recurso a fontes de energia não renováveis, proporcionando uma redução da utilização de equipamentos de climatização, permitindo assim reduzir as emissões de gases poluentes para a atmosfera.

A dimensão económica diz respeito à adequação da tecnologia e custos associados à sua implementação. Pode ainda referir-se os benefícios económicos da diminuição dos consumos energéticos e desfasamento dos mesmos para fora das horas de maior procura.

5.1.5.2 Utilização dos PCM's

Na construção, os PCM's podem ser utilizados em soluções para paredes, pavimentos e tetos, sendo a sua utilização nas paredes dos edifícios a solução preferencial para explorar a potencialidade destes materiais. Alguns autores têm também investigado soluções construtivas com incorporação destes materiais em pavimentos, tais como a incorporação de PCM na laje de betão constituinte do pavimento, pavimento radiante elétrico incorporando placas de polietileno impregnadas com PCM e aplicação de dois tipos de PCM com temperaturas de transição diferentes.

Relativamente às argamassas, estudos realizados permitem concluir que:

- Uma grande quantidade de PCM's diminui muito as resistências mecânicas das argamassas uma vez que a sua resistência mecânica é muito inferior à dos restantes componentes e porque não apresentam boa aderência às pastas ligantes;
- O comportamento em compressão e flexão, permite observar um melhor desempenho, para percentagens de incorporação de PCM entre 15% e 20%;
- A introdução de uma pequena quantidade de PCM's na argamassa pode não ser suficiente para lhe conferir as propriedades térmicas necessárias;
- A utilização de fibras e de gesso constitui uma boa solução para os problemas relacionados com a fissuração, causados pela incorporação de microcápsulas de PCM's
- É possível concluir que a argamassa com incorporação de 60% de cal aérea, 40% de gesso e 20% de PCM, revelou-se a mais interessante, tendo mostrado um excelente equilíbrio entre as suas características mecânicas e retração.

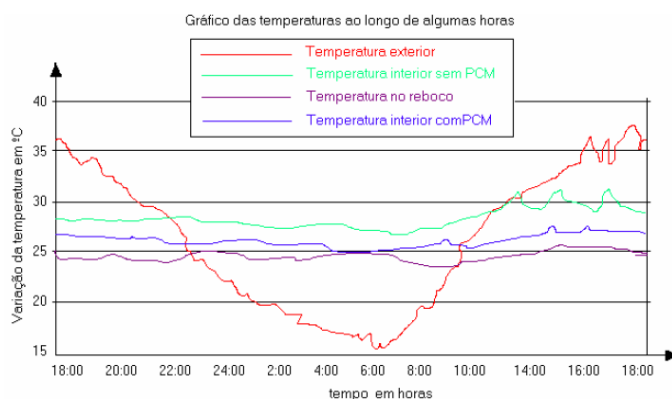


Fig. 5.41 Variação de temperaturas ao longo de 24 horas [30]

5.1.6 Painéis isolantes pré-fabricados fixados contra a parede

Como referido anteriormente, a aplicação de isolamento térmico pelo interior, pode ser feita recorrendo à utilização de painéis constituídos por placas de poliestireno revestidas com um paramento de gesso cartonado, com a altura correspondente ao pé direito livre dos compartimentos. Os painéis podem ser colados diretamente ao paramento a reabilitar ou ser fixados através de uma estrutura de apoio, definindo-se neste caso uma caixa-de-ar intermédia. Quando a estrutura é de madeira, esta deverá ser devidamente tratada contra a proliferação de agentes biológicos, à semelhança do que já se disse para as soluções de isolamento térmico pelo exterior.

Os sistemas que utilizam como elemento de revestimento placas de gesso cartonado podem ser classificados de acordo com a função do elemento construtivo de base, conforme exposto no anexo H.

5.1.7 Contra-fachada executada pelo lado interior

Nesta solução procede-se à execução de um pano de alvenaria pelo lado interior da parede a reabilitar, incorporando um isolante térmico entre os dois elementos (Fig. 5.42).

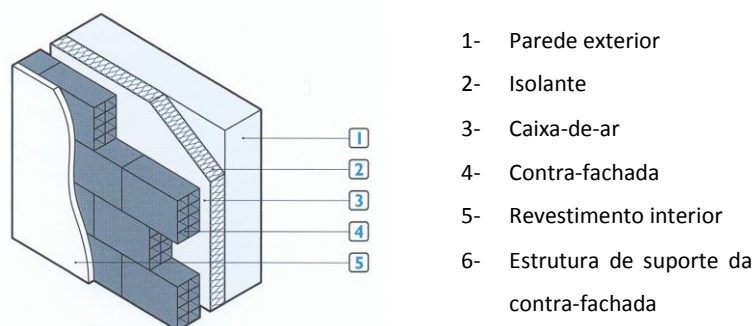


Fig. 5.42 Contra-fachada com isolante na caixa de ar [33]

Na contra-fachada em alvenaria, o tijolo usual é o 30 x 20 x 7. Se for criada caixa-de-ar, esta deve ter caleira com inclinação mínima de 2% e ser provida de sistema de drenagem para o exterior.

5.1.8 Isolamento na caixa-de-ar

A injeção de isolamento na caixa-de-ar é uma solução económica que permite manter o aspeto interior e exterior das paredes, reduzindo ao mínimo as operações de reposição dos respetivos paramentos, que se limitam à vedação dos furos de injeção. Esta solução apresenta os seguintes condicionalismos:

- A caixa-de-ar poder ter uma espessura pequena ou apresentar-se preenchida com argamassa ou detritos o que dificultará a aplicação homogénea do isolante;
- O isolante tem de preencher a totalidade da caixa-de-ar, não deve sofrer assentamentos sob a ação de vibrações e deve manter-se inalterável ao longo do tempo;
- Muitos dos isolantes térmicos injetados têm características hidrófilas, pelo que a constituição e espessura do pano exterior deve impedi o acesso da humidade ao isolante.

A espuma de ureia-formaldeído, um dos materiais isolantes frequentemente utilizados, apresenta um comportamento deficiente sob o ponto de vista higroscópico, da estabilidade dimensional e química. De salientar que a deficiente estabilidade química origina a libertação de formaldeído, substância nociva à saúde se a sua concentração no ar exceder valores admissíveis. No quadro seguinte apresentam-se as soluções disponíveis:

Quadro 5.2 Soluções de reforço de isolamento térmico [33]

Localização do isolamento	Tipos de soluções	
Na caixa-de-ar (em paredes duplas)	Injeção de produtos isolantes a granel	Fibras ou flocos
		Grânulos de material isolante
	Injeção de espumas isolantes	Espuma rígida de poliuretano
		Espuma de ureia-formaldeído

5.2 Reabilitação térmica das coberturas

De entre todos os elementos construtivos do edifício, a cobertura é aquele que está sujeito às maiores amplitudes térmicas, razão pela qual está entre os elementos da envolvente que mais condicionam o desempenho térmico dos edifícios. Se no Inverno pretendemos evitar as fugas de calor da habitação para o exterior, no Verão é necessário evitar o sobreaquecimento das coberturas e a transmissão de calor ao interior.

5.2.1 Coberturas inclinadas

O reforço do isolamento térmico das coberturas inclinadas pode fazer-se recorrendo às seguintes opções:

- Aplicação de isolamento térmico ao longo das vertentes (em posição superior ou inferior)
- Aplicação de isolamento térmico na esteira do teto (em posição superior ou inferior)

5.2.1.1 Isolamento térmico aplicado ao longo das vertentes

As soluções de isolamento térmico aplicado segundo as vertentes utilizam-se quando o desvão é habitável. Sob o ponto de vista energético é preferível a colocação do isolamento térmico sobre a estrutura da cobertura, em particular, quando existe uma estrutura de laje.

Quando o isolante térmico é colocado imediatamente sob o revestimento descontínuo da cobertura, existe o risco de penetração de água da chuva, recomendando-se a proteção superior do isolante com uma camada que impeça a passagem da água, sem contudo criar uma barreira pára-vapor, o que daria origem a condensações internas. Tal proteção pode ser conseguida recorrendo-se a membranas de material plástico microperfuradas ou na dupla proteção da camada de isolamento térmico, em ambas as faces, com membranas de material plástico ou papel “Kraft”.

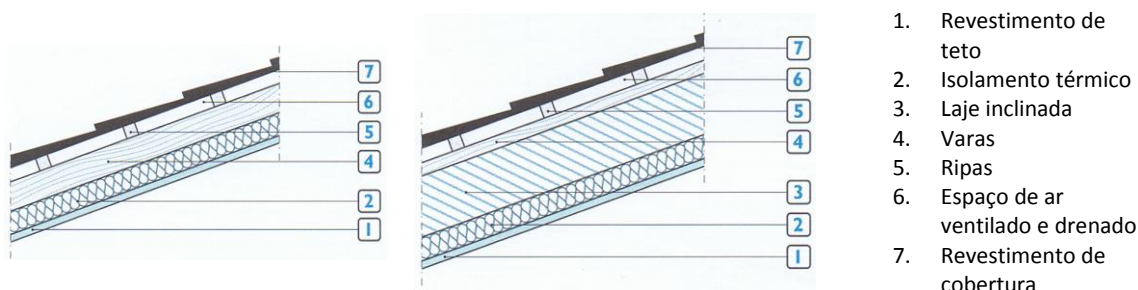


Fig. 5.43 Cobertura inclinada com desvão habitável [33]

Outra solução possível, no caso de coberturas com telhas de canudo, consiste na utilização de “subtelha”, sob o revestimento de telhas de canudo, constituída por chapas onduladas metálicas ou de outros materiais cujas ondas se ajustem às das telhas e que permitirão recolher a água da chuva, eventualmente infiltrada, através das juntas entre telhas.

De modo a assegurar a maior durabilidade das telhas e evitar condensações, é fundamental prever condições de ventilação adequada que facilitem o processo de evaporação, tanto da água da chuva absorvida pela peça, como de eventuais condensações formadas na sua superfície interior, assim como permitem uma adaptação gradual do elemento cerâmico à diferença de temperaturas entre o interior e o exterior da cobertura. Duma maneira geral, a ventilação pode ser assegurada pelo uso de ripado simples de argamassa, com uma altura mínima de 5 cm, devendo-se prever a interrupção periódica das ripas.

Devem também ser aplicadas telhas de ventilação, de forma desencontrada, junto ao beiral e junto à cumeeira, de modo a que o ar seja obrigado a percorrer toda a cobertura e não se criem caminhos preferenciais de circulação de ar sob as telhas. Recomenda-se que as telhas de ventilação tenham uma densidade mínima de 3 telhas por cada 10 m², caso se use estrutura contínua, e 2 telhas por cada 10 m², no caso de estrutura descontínua.

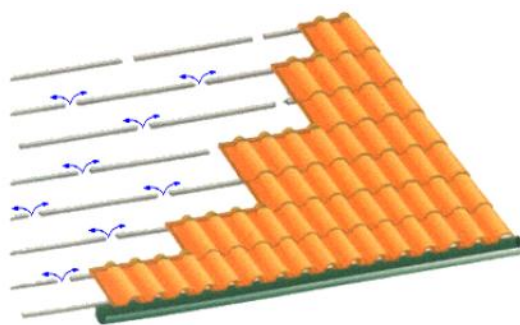


Fig. 5.44 Esquema de ventilação sob as telhas [30]

5.2.1.2 Isolamento térmico aplicado na esteira do teto

Apesar de fazer parte da envolvente opaca interior, considera-se oportuno fazer uma referência à situação em que o isolamento térmico é aplicado na esteira do teto.

Esta solução deve ser utilizada quando o desvão é não habitável, sendo preferível aplicar a camada de isolamento térmico sobre a esteira horizontal, eventualmente protegida superiormente por uma betonilha se o desvão for acessível, e assegurar uma franca ventilação do mesmo. Este tipo de soluções é mais económico, quando comparado com o isolamento das vertentes, uma vez que a quantidade de isolante utilizada é menor e a sua aplicação é em geral mais fácil. Por outro lado haverá um menor consumo de energia para aquecimento durante a estação fria, enquanto na estação quente também haverá um melhor desempenho térmico devido à dissipação do calor permitida pela ventilação do desvão.

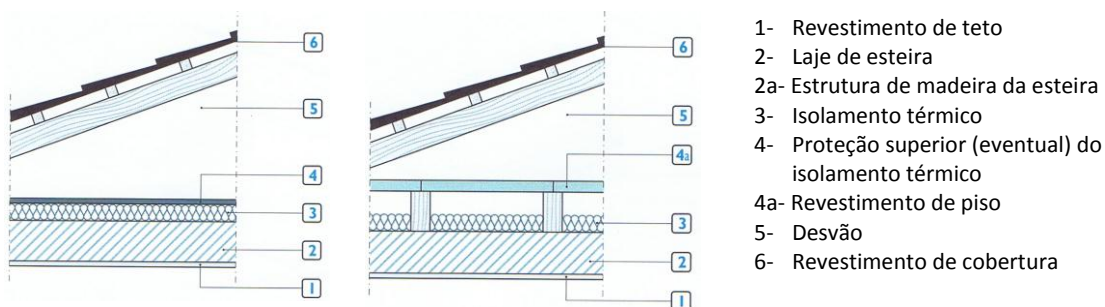


Fig. 5.45 Cobertura com desvão não-habitável: isolamento na esteira horizontal [33]

As soluções de isolamento térmico aplicado sob a esteira são menos aconselháveis, em particular quando existe laje, por não protegerem a estrutura contra as variações térmicas de origem climática e favorecerem as condensações internas.

O quadro seguinte sistematiza as soluções de isolamento térmico para coberturas inclinadas:

Quadro 5.3 Soluções de isolamento térmico para coberturas inclinadas [33]

Localização do isolamento térmico		Tipos de soluções		
Coberturas inclinadas	Na esteira horizontal	Superior	Mantas de material isolante	
			Placas de material isolante	
			Material isolante a granel	Fibras ou blocos Grânulos de material isolante
		Inferior	Revestimentos isolantes	Revestimentos descontínuos (placas fixadas mecanicamente ou coladas)
			Tetos-falsos	Teto falso isolante
				Teto falso suportando uma camada de isolante térmico
	Nas vertentes	Superior	Painéis isolantes especiais (integrando varas, forro inferior e isolante térmico)	
			Mantas de material isolante (sobre laje inclinada)	
			Placas de material isolante (sobre laje inclinada)	
		Inferior	Mantas de material isolante (recobertas eventualmente com um forro inferior)	Fixadas contra as varas da cobertura
				Fixadas contra réguas dispostas sob as varas e ao longo destas
				Cruzadas em duas camadas, com interposição de réguas normais às varas
				Fixadas contra laje inclinada
			Placas de material isolante	Fixadas contra as varas da cobertura Fixadas contra a laje inclinada
Projeção de espumas isolantes				
Soluções refletantes (apenas aplicadas a situações de Verão)				

5.2.2 Coberturas em terraço

Relativamente ao reforço do isolamento térmico, pode considerar-se a existência de três tipos de opções, caracterizadas pela posição relativa do isolante térmico a aplicar em cada uma delas:

- Isolamento térmico superior;
- Isolamento térmico intermédio;
- Isolamento térmico inferior.

Cada uma destas opções admite soluções de diferentes tipos, tal como se encontra sistematizado no quadro seguinte.

Quadro 5.4 Soluções de isolamento térmico para coberturas horizontais [33]

Localização do isolamento térmico		Tipos de soluções	
Coberturas horizontais	Superior	Cobertura invertida	Isolante térmico sobre a impermeabilização
		Suportes isolantes de impermeabilização (só possível em caso de substituição de impermeabilização)	
	Intermédia	Isolante entre a laje e a camada de forma (só possível se todas as camadas sobrejacentes à laje estrutural forem previamente levantadas)	
	Inferior	Tetos falsos	Teto-falso isolante
Teto falso suportando uma camada de isolante térmico			

Antes de se iniciarem os trabalhos de reabilitação da cobertura, importa fazer previamente um reconhecimento do seu estado de conservação (camada superior, impermeabilização, isolante térmico, se existir, e do próprio suporte), para que possam ser tomadas as decisões apropriadas relativamente ao tipo de solução a adotar [35].

Se a cobertura apresentar patologias, devidas a infiltrações ou a condensações de água, a fendilhações, a descolamentos ou outras degradações, dever-se-á em primeiro lugar proceder à correção e à eliminação das suas causas. Salienta-se que no caso da presença de água, os trabalhos de reabilitação só devem ser executados a partir do momento em que esteja assegurada a secagem dos elementos afetados.

5.2.2.1 Isolamento térmico aplicado superiormente

A aplicação do isolamento térmico sobre a camada de forma constitui a melhor solução, existindo basicamente dois tipos de soluções:

- Cobertura invertida
- Isolante térmico suporte de impermeabilização

A opção por uma solução em “cobertura invertida” constitui a melhor escolha, porque não só permite aumentar a vida útil da impermeabilização, ao protegê-la de amplitudes térmicas significativas, como permite aproveitar a impermeabilização já existente, caso se encontre em bom estado.

Nesta solução, o isolamento térmico é aplicado sobre a impermeabilização (com eventual interposição de uma camada de separação), protegido superiormente pela aplicação duma proteção pesada, que impede o deslocamento das placas de isolamento. Protege-as também da radiação solar, cuja componente ultravioleta provoca a sua degradação. A compatibilidade entre isolante térmico e o revestimento de impermeabilização deve ser verificada junto dos fabricantes.

5.2.2.1.1 Cobertura invertida sobre impermeabilização existente

Considera-se neste caso a situação em que a impermeabilização existente dispunha de uma proteção móvel (seixo, brita, lajetas) ou de um revestimento de impermeabilização autoprotégido (com areão, partículas de xisto ou cerâmicas ou folhas de alumínio).

No caso da manutenção da impermeabilização existente, a proteção móvel tem de ser removida. Nas soluções de impermeabilização autoprotégidas aconselha-se o varrimento prévio da proteção (sem danificar a impermeabilização) e a aplicação de uma camada de separação/regularização (manta geotêxtil) sobre essa impermeabilização (fig. 5.46).

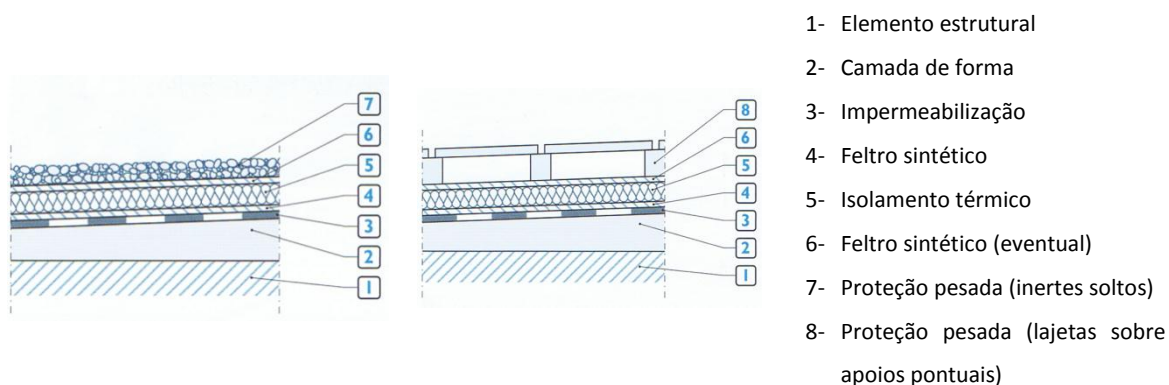


Fig. 5.46 Cobertura invertida sobre impermeabilização existente ou nova [33]

Se a impermeabilização existente for removida, os trabalhos de reabilitação são basicamente idênticos aos de uma aplicação nova.

5.2.2.1.2 Cobertura invertida sobre isolante suporte de impermeabilização

Caso se mantenha uma solução existente de isolamento térmico, a cobertura invertida realizará um complemento desse isolamento. A eventual necessidade de substituição do revestimento de impermeabilização poderá implicar também a remoção do isolante térmico, a menos que a impermeabilização seja do tipo independente, situação em que a impermeabilização existente pode ser removida sem danificar o isolante térmico existente.

A manutenção do isolante térmico dependerá do seu estado de conservação, nomeadamente da resistência mecânica que apresenta e do respetivo teor de água, o qual pode ser elevado em consequência de eventuais infiltrações ou de condensações que possam ter ocorrido.

A compatibilidade entre o novo isolamento térmico e a impermeabilização existente deve ser verificada e, eventualmente, deve ser aplicada uma camada de separação (manta de geotêxtil).

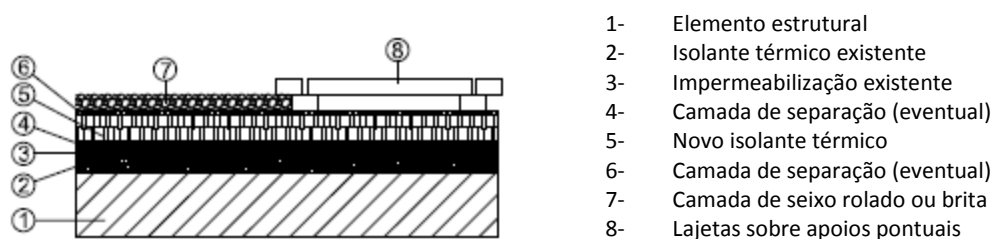


Fig. 5.47 Cobertura invertida sobre isolante suporte de impermeabilização [35]

5.2.2.1.3 Cobertura invertida sobre proteção pesada rígida

Nesta solução, a manutenção da proteção pesada existente, dependerá da avaliação do estado de conservação da proteção e da impermeabilização existente. Esta avaliação não constitui tarefa fácil, pelo que em caso de dúvida deve-se optar pela remoção dos elementos existentes (proteção e impermeabilização) e realizar uma solução nova.

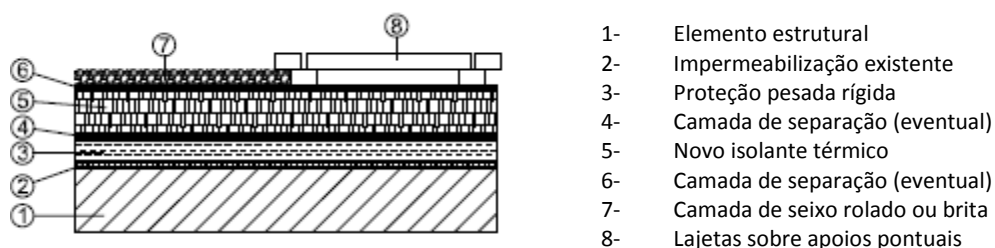


Fig. 5.48 Cobertura invertida sobre proteção pesada rígida existente [35]

No caso da manutenção da proteção pesada, poderá ser necessário interpor uma camada de regularização/separação entre esta e o novo isolante térmico, normalmente realizada por uma manta de geotêxtil.

5.2.2.1.4 Isolamento térmico suporte de impermeabilização

Nesta solução o isolante térmico constitui o suporte do revestimento de impermeabilização.

No caso de aplicação sobre impermeabilização existente, o isolante térmico pode ser apoiado sem fixação sobre a impermeabilização, o que implica a realização de uma proteção pesada que contrarie as ações de sucção devidas ao vento. Caso contrário haverá a necessidade de fixar o isolante térmico e a nova impermeabilização. Para o efeito temos duas opções: a colagem em toda a superfície ou a fixação. Se o isolante térmico for fixado mecanicamente, a impermeabilização deve ser totalmente colada sobre este.

A impermeabilização existente pode manter-se mesmo estando degradada, desde que as degradações existentes não dificultem tanto a aplicação do isolante como a realização de uma barreira pára-vapor.

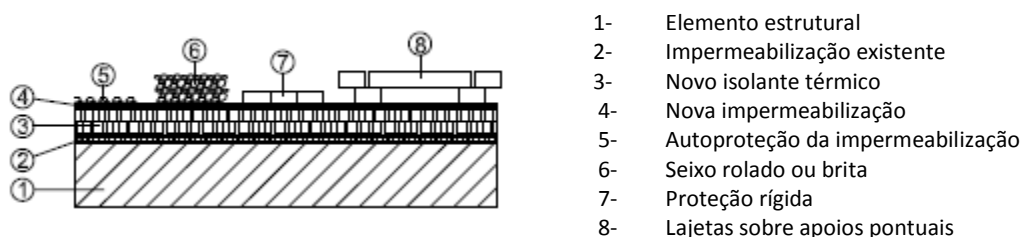


Fig. 5.49 Aplicação sobre uma impermeabilização existente [35]

Outra possibilidade é a aplicação sobre uma solução de isolante térmico suporte de impermeabilização; neste caso deve-se tomar precauções idênticas às referidas anteriormente e em 5.2.2.1.2. Salienta-se a necessidade de assegurar uma boa fixação do novo sistema, no caso de se prever uma nova solução de impermeabilização autoprottegida. A aderência entre as diferentes camadas (suporte/isolante e impermeabilização/ isolante) da solução existente é sempre difícil de verificar e de garantir, pelo que se deve recorrer a uma fixação mecânica, pelo menos do novo isolante ao suporte estrutural. A nova impermeabilização poderá em seguida ser totalmente aderida ao isolante.

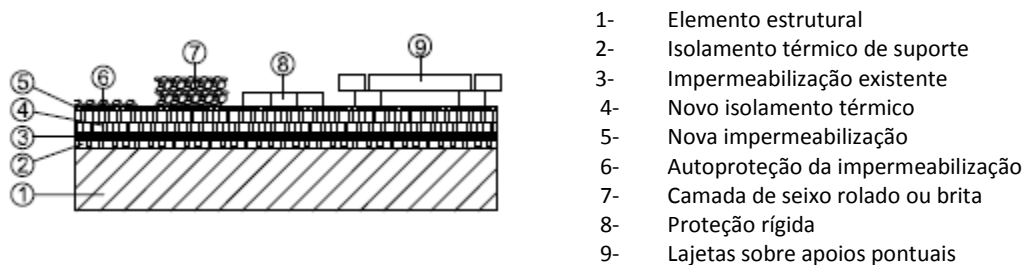


Fig. 5.50 Aplicação sobre uma solução de isolante suporte de impermeabilização [35]

No caso duma aplicação sobre proteção pesada rígida (fig. 5.51) os cuidados a ter são idênticos aos referidos para a opção de cobertura invertida sobre proteção pesada rígida.

Se estiver prevista a realização de uma proteção pesada, o isolante térmico deve ser, preferencialmente, aplicado sem ligação à proteção rígida existente, com eventual interposição de uma camada de separação/regularização (manta de geotêxtil).

A colagem do isolante térmico à proteção existente (requerida no caso de revestimentos de impermeabilização autoprotégidos) só é aceitável se aquela proteção não evidenciar sinais de degradação e se a sua superfície não apresentar irregularidades significativas.

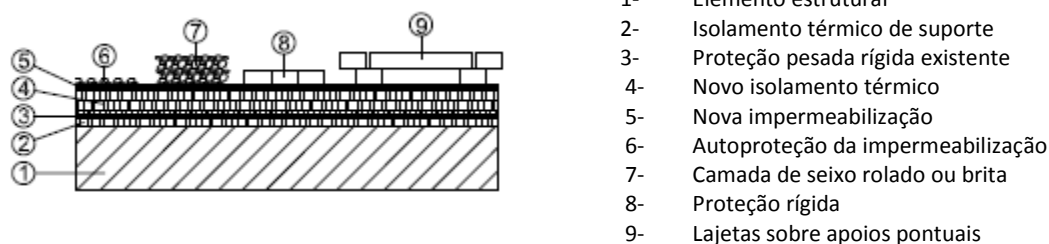


Fig. 5.51 Aplicação de nova solução sobre proteção pesada rígida existente [35]

5.2.2.2 Isolamento térmico aplicado em zona intermédia

As soluções em que o isolamento térmico se localiza entre a esteira horizontal e a camada de forma, apesar de possíveis, exigem o prévio levantamento da camada de forma existente e requiere cuidados especiais de execução (como por exemplo a necessidade de esquartelamento completo dessa camada e adoção dum sistema de impermeabilização que não seja totalmente aderente) para evitar a ocorrência de fenómenos de choque térmico nas camadas subjacentes ao isolante térmico e as concomitantes fendilhação e degradação dos respetivos materiais.

5.2.2.3 Isolamento térmico aplicado inferiormente

A aplicação dum isolante térmico na face inferior da laje de cobertura apenas se aceita quando integrado num teto-falso desligado da esteira, apresentando o inconveniente de não proteger termicamente a estrutura. A aplicação direta do isolante na face inferior da laje deve ser evitada porque, além de ser termicamente menos eficiente, contribui para o agravamento das

deformações de origem térmica da estrutura, pelo que esta solução só deve ser adotada quando seja impossível reforçar a cobertura pelo exterior.

5.2.3 Coberturas verdes

É possível transformar, através da plantação de vegetação, as coberturas em terraço em coberturas naturais (ou coberturas verdes). Estes jardins elevados podem ser de cultura intensiva ou extensiva, conforme a espessura da camada de substrato e a altura da vegetação, constituindo a segunda uma solução mais leve e de mais fácil manutenção.

5.2.3.1 Vantagens das coberturas verdes

Como vantagens deste tipo de coberturas destacam-se:

- Retenção prolongada da água da chuva: com particular interesse nas zonas urbanas onde o aumento das superfícies “impermeabilizadas” é mais significativo;
- Filtragem de poluentes, como metais pesados e poeiras, diminuindo riscos de doenças respiratórias; retenção do dióxido de carbono no ar e libertação de oxigénio;
- Desempenho térmico: incremento do isolamento térmico através do aumento da massa térmica e da resistência térmica;
- Desempenho acústico: o solo tende a bloquear as frequências de som baixas enquanto que as plantas tendem a bloquear as frequências altas, aumentando o conforto no interior do edifício;
- Maior eficiência energética: redução no consumo, na ordem dos 20%, tanto em aquecimento como arrefecimento.

5.2.3.2 Desvantagens das coberturas verdes

No caso das desvantagens desta solução, são de assinalar:

- Crescimento das raízes: o crescimento das raízes pode afetar as camadas de impermeabilização, danificando-as;
- Manutenção: estas coberturas necessitam periodicamente de trabalhos de manutenção, claramente superiores à das coberturas tradicionais;
- Maior investimento inicial: a solução da cobertura ajardinada é mais cara do que as outras soluções tradicionais pelo que exigirá um investimento inicial mais forte nesta parte da obra;
- Mão-de-obra especializada: devido às particularidades deste sistema, é conveniente a utilização de mão-de-obra especializada nestes trabalhos, que será naturalmente mais cara do que a mão-de-obra não especializada.

- Mais cargas na cobertura: possibilidade de pessoas circularem na cobertura e a necessidade de camadas de terra vegetal de elevada espessura para suportar vegetação densa e de médio ou grande porte.

5.2.3.2 Principais camadas constituintes

As especificidades deste tipo de coberturas resultam fundamentalmente da necessidade da aplicação duma camada de terra vegetal e da vegetação [36]. Refira-se que, tal como nas coberturas sem vegetação, o isolamento térmico pode ser aplicado sobre ou sob o sistema de impermeabilização, continuando no primeiro caso a designar-se as coberturas como “invertidas”.

5.2.3.2.1 Terra vegetal e vegetação

A espessura da camada de terra vegetal é um dos parâmetros fundamentais para que a vegetação se desenvolva de modo satisfatório, estando também relacionada com o processo de irrigação.

Se for aplicada vegetação intensiva a espessura da camada de terra vegetal não deve ser inferior a 30 cm, enquanto que no caso de aplicação de vegetação extensiva o mínimo é de 10 cm. No anexo I identificam-se algumas espécies de plantas, segundo o tipo de vegetação.

5.2.3.2.2 Camada filtrante

A principal função desta camada é a de reter os finos e os nutrientes da terra vegetal, reduzindo a possibilidade de colmatação dos vazios da camada drenante subjacente, pelo que se exige que os materiais constituintes desta camada tenham elevada permeabilidade à água, resistência ao punçoamento e rasgamento, permanecendo inalteráveis face às características da terra vegetal que lhe é sobrejacente.

5.2.3.2.3 Camada drenante

Esta camada tem como principal função permitir o escoamento da água que lhe chega, até às aberturas dos dispositivos de evacuação. Podem enquadrar-se em dois grupos os materiais usados com estas funções:

- Os granulados de argila expandida, xisto expandido ou de pozolanas e placas cerâmicas nervuradas;
- Calhaus rolados ou seixos e as placas nervuradas de poliestireno expandido.

A segunda solução apresenta a vantagem de constituir uma camada mais leve aliada a uma maior contribuição para o isolamento térmico da cobertura.

Salienta-se que os materiais granulares a adotar devem possuir uma granulometria uniforme, para que seja mais rápido e fácil o escoamento da água. A espessura desta camada, não deve ser inferior a 10 cm, e quando a espessura da camada de terra for superior a 80 cm, a espessura da camada drenante não deve ser inferior a valores entre 15 a 20 cm.

5.2.3.2.4 Sistema de impermeabilização

Os sistemas de impermeabilização são idênticos aos utilizados noutras coberturas em terraço., não devendo ser, obviamente, atravessado pelas raízes das plantas. Para evitar a aproximação das raízes aos sistemas de impermeabilização é frequente recorrer à incorporação de um produto anti-raízes na mistura betuminosa da membrana aparente do sistema, que terá um efeito químico sobre as raízes

5.2.3.2.5 Camada de forma

Esta camada define a pendente da cobertura, que segundo alguns autores deve estar compreendida entre 1 e 2%. Neste tipo de coberturas a adoção do valor para a pendente está relacionado com a durabilidade do sistema de impermeabilização e com o desempenho das espécies vegetais, uma vez que algumas delas podem morrer se o teor em água que a camada de terra possa conter for demasiado elevado por períodos elevados de tempo [32].

5.2.3.2.6 Estrutura resistente

No caso em que se dispõe de uma vegetação intensiva, por razões económicas, a estrutura resistente deve ser formada por lajes em betão armado. Se a vegetação for extensiva, além da estrutura referida anteriormente, podem ainda aplicar-se sobre estruturas resistentes de madeira ou de chapa metálica, devido à redução das ações permanentes.

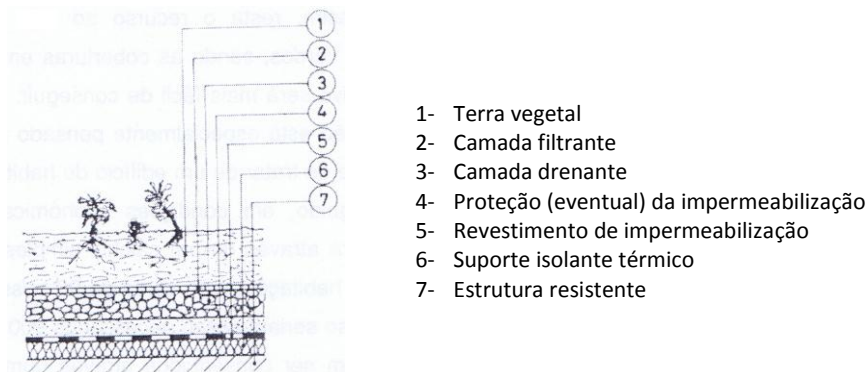


Fig. 5.52 Diferentes camadas de cobertura verde [36]

5.3 Reabilitação térmica de pavimentos

O reforço do isolamento térmico de pavimentos sobre espaços exteriores ou não-aquecidos pode fazer-se mediante três opções distintas, caracterizadas pela localização do material isolante a aplicar:

- Isolamento térmico aplicado na zona inferior;
- Isolamento térmico intermédio (limitado ao caso de pavimentos com vazios);
- Isolamento térmico aplicado na zona superior.

5.3.1 Isolante aplicado na zona inferior

Em reabilitações não destrutivas este tipo de solução é a indicada, sempre que a zona inferior do pavimento seja acessível, uma vez que são mais fáceis e rápidas de aplicar, de menor custo, além de serem mais eficientes do ponto de vista térmico uma vez que são aplicados no lado exterior.

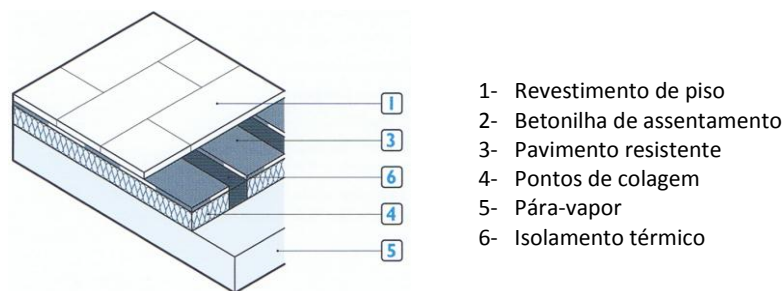


Fig. 5.53 Pavimento sobre espaço exterior ou não-aquecido [33]

5.3.2 Isolante aplicado na zona intermédia

A colocação de um isolante na zona intermédia não se consegue sem que exista uma reabilitação destrutiva ou parcialmente destrutiva para que o isolamento seja introduzido no pavimento.

No caso de se adotar uma solução parcialmente destrutiva, é necessário levantar parte do revestimento para se introduzir o isolante.

Numa situação de reabilitação destrutiva, o isolante pode ser colocado desde logo na formação da laje, com a aplicação, por exemplo, de abobadilhas de EPS que substituem os blocos cerâmicos ou de betão normal, proporcionando simultaneamente o aligeiramento da laje e o seu reforço térmico.

5.3.3 Isolante aplicado na zona superior

Nestes casos a necessidade do isolante aguentar um elevado número de cargas implica que deva ser capaz de manter o comportamento e durabilidade de todas as suas propriedades ao longo do tempo. Deverá ter uma adequada resistência à compressão que permitirá a manutenção da sua espessura, fator decisivo para uma resistência térmica homogênea ao longo da sua vida.

Esta solução é utilizada em casos de reabilitação não destrutiva, apresentando a desvantagem de reduzir o pé direito da habitação e a inércia térmica interior.

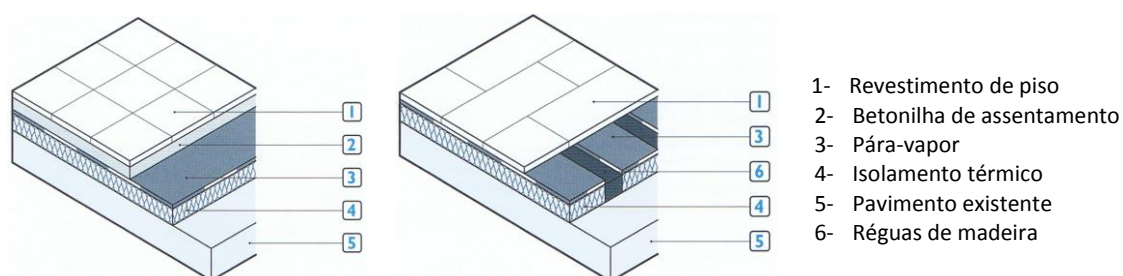


Fig. 5.54 Pavimento sobre espaço exterior ou não-aquecido [33]

A tabela seguinte sistematiza os vários tipos de soluções relativas ao reforço do isolamento térmico de pavimentos sobre espaços exteriores ou não-aquecidos.

Quadro 5.5 Soluções de isolamento térmico de pavimentos sobre espaços exteriores [33]

Localização do isolamento térmico	Tipo de soluções	
Face inferior	Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com revestimento sobre isolante	Revestimentos espessos e ligantes minerais, armados sobre isolante
		Revestimentos delgados de ligantes sintéticos ou mistos, armados sobre isolante
	Revestimentos isolantes	Revestimentos prefabricados isolantes descontínuos
		Rebocos isolantes
		Revestimentos de espuma isolante projetada (solução vocacionada para pavimentos sobre cave não-habitável ou sobre caixa-de-ar, para os quais as exigências de aspeto não são relevantes, a menos que a espuma isolante fique oculta por um teto falso)
Tetos falsos	Tetos falsos isolantes	
	Tetos falsos suportando uma camada de isolante térmico	
Face superior	Camada isolante de betão leve entre o pavimento resistente e o revestimento de piso	
	Camada de isolante térmico entre o pavimento resistente e um piso flutuante	
Intermédio	Preenchimento dos vazios entre vigotas de pavimentos de madeira com isolante térmico (mantas de lã mineral ou isolante a granel)	

6 Conclusões

A reabilitação energética de edifícios residenciais constitui seguramente uma das vertentes mais importantes e interessantes, de entre o conjunto de medidas a encarar no âmbito da reabilitação de edifícios.

Uma exaustiva consideração das medidas a adotar e um profundo conhecimento das mesmas e dos seus condicionamentos técnicos e funcionais, são elementos fundamentais para que possamos tomar as decisões mais adequadas e melhor fundamentadas.

6.1 Conclusões do TFM

Ao longo deste trabalho, indo ao encontro dos objetivos propostos, foram apresentadas algumas das patologias mais frequentes que podem ocorrer na envolvente opaca exterior de edifícios, assim como algumas propostas de intervenção para reabilitação térmica dessa mesma envolvente, pelo que é possível afirmar que existem ao nosso dispor diversas soluções, qualquer que seja o elemento da envolvente opaca sobre o qual se pretenda intervir.

Não existem soluções perfeitas, uma vez que entre si apresentam vantagens e desvantagens, pelo que é fundamental a correta execução da solução adotada, sob pena do aparecimento de outras patologias que, numa situação limite, podem colocar em causa a intervenção realizada.

De salientar que a escolha de cada solução deverá ter em atenção não só aspetos técnicos, mas também económicos, sociais e ambientais, promovendo a redução do recurso a fontes de energia não renováveis, a diminuição dos equipamentos de climatização e dos consumos energéticos, aumentando o conforto térmico com custos de aplicação suportáveis pelos utilizadores dos espaços, ou seja, contribuindo para uma construção sustentável.

Nas diversas propostas de solução apresentadas, verifica-se que a melhoria do conforto térmico é conseguida, em grande parte, recorrendo a isolantes térmicos. De facto, está ao nosso dispor uma vasta gama de isolantes térmicos que apresentam cada vez menores condutibilidades térmicas, propriedade importante mas que não deve ser a única a considerar na escolha do isolante, uma vez que existem outras igualmente importantes, como a permeabilidade ao vapor de água, compressibilidade e a estabilidade dimensional.

Neste trabalho fez-se uma abordagem às argamassas térmicas que apresentam condutibilidades térmicas cada mais aproximadas dos tradicionais isolantes térmicos, fator que contribuirá decisivamente para que, no futuro, se assista a uma maior utilização destes materiais. Também as argamassas térmicas sustentáveis, poderão desempenhar, a médio prazo um papel fundamental na reabilitação energética de edifícios, dadas as potencialidades reveladas até ao momento.

Atualmente, a par da introdução de novos e variados materiais surgem também novos conceitos, como é o caso dos *brown roofs*, cujo objetivo principal é estimular a biodiversidade. De facto a construção é um processo em evolução, mais ou menos rápida, em que o limite

estará, eventualmente, na capacidade de nos superarmos sem colocarmos em perigo o equilíbrio entre a vontade e o querer humano e a força e o poder da natureza.

6.2 Recomendações de propostas de estudos futuros

Considerando que as empresas de construção têm vindo a intervir cada vez mais em construções existentes, pode afirmar-se que a reabilitação de edifícios, nas suas diversas vertentes é um tema atual e vasto, pelo que é pertinente continuar a desenvolver trabalhos académicos que aprofundem esta temática, nomeadamente sobre outras soluções de reabilitação térmica dos elementos da envolvente, opaca ou não, e do recurso a tecnologias solares passivas.

Neste âmbito poderão realizar-se trabalhos sobre reabilitação térmica da envolvente opaca, incidindo sobre novos materiais ou sistemas para fachadas ou coberturas, nomeadamente sobre *brown roofs*. No caso da envolvente não opaca poderão desenvolver-se trabalhos sobre a reabilitação térmica e energética dos vãos envidraçados; sugerem-se temas relacionados, por exemplo, com as *janelas eco eficientes*, ou sobre sistemas avançados de iluminação.

Referências Bibliográficas

- [1] **Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010**. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística : Direcção-Geral de Energia e Geologia, 2011.
- [2] RODRIGUES, António Moret ; PIEDADE, António Canha da ; BRAGA, Ana Marta - **Térmica de edifícios**. 1ª ed. Amadora: Edições Orion, 2009.
- [3] CORVACHO, Maria Helena Póvoas - **Catálogo de pontes térmicas**. 2ª ed. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1996
- [4] MENDÃO, Juliana Vicente Belchior - Sistema Etics - Influência no comportamento térmico dos edifícios : um caso de estudo. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011. Tese de mestrado.
- [5] VALÉRIO, Jorge Gustavo Marques Alface Pereira - Avaliação do Impacte das Pontes Térmicas no Desempenho Térmico e Energético de Edifícios Residenciais Correntes. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2007. Tese de mestrado.
- [6] SANTOS, Ana Cláudia Pinto de Bettencourt Gesta dos - Reabilitação Térmica de coberturas de edifícios antigos. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009. Tese de mestrado.
- [7] ABREU, Maria Isabel Lopes Marcelino Dias de - Correcção de Pontes Térmicas em Intervenções de Reabilitação. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003. Tese de mestrado.
- [8] www.patorreb.com 12 Março 2012
- [9] HENRIQUES, Fernando M. A. - **Humidade em paredes**. 3ª ed. Lisboa : LNEC, 2001
- [10] FREITAS, Vasco Manuel Araújo Peixoto de ; PINTO, Paulo da Silva - **Permeabilidade ao vapor de materiais de construção : condensações internas**. 2ª ed. Porto: Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2000.
- [11] SILVA, José António Raimundo Mendes - Fissuração das alvenarias. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 1998. Tese de doutoramento.
- [12] Araújo, Álvaro; Almeida, M. Guedes – Acções higrotérmicas em fachadas. In **Construção 2001: por uma construção sustentável**. Lisboa: IST, 2001. vol. 2, p. 791-798.
- [13] PATRÍCIO, Jorge - **Reabilitação Acústica** : Linhas Guia. 2ª ed. [S.l.] : Verlag Dashofer, 2010
- [14] FERNANDES, Susana - **"Aspectos construtivos da reabilitação energética dos edifícios"**. Seminário "Reabilitação energética dos edifícios, a melhor via para a sustentabilidade ...", Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve, 24 de abril 2009
- [15] SANTOS, Carlos A. Pina dos; Matias, Luís - **Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios**. 4ª ed. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006

[16] www.biohabitat.pt 12 Maio 2012

[17] FREITAS, Vasco Manuel Araújo Peixoto de; PINTO, Manuel - **Metodologia para a selecção exigencial de isolantes térmicos**. Porto: Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1997.

[18] BRITO; Mariana Couto - Reabilitação de fachadas e o seu contributo energético. Caso de estudo de um hotel em Lisboa. Lisboa: Universidade Técnica da Lisboa. 2010. Tese de mestrado.

[19] JARDIM, Fátima Maria Gomes - Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação. Braga : Universidade do Minho, 2009. Tese de mestrado.

[20] DECRETO-LEI nº 80/2006. D.R. I Série-A. 67 (2006/04/04) 2468-2513

[21] VEIGA, Maria do Rosário – **“ETICS e argamassas térmicas: exigências de conformidade”**. Seminário: Fachadas Energeticamente Eficientes: ETICS, Argamassas Térmicas e Janelas. O que se deve exigir?, LNEC, Lisboa, 15 Novembro 2011

[22] FREITAS, Vasco Peixoto de – **Isolamento térmico de fachadas pelo exterior: reboco delgado armado sobre poliestireno expandido**. ETICS, Relatório – HT 191A/02. Porto, 2002.

[23] SILVA, J. Mendes; CARVALHAL, Mário J. - **“Reabilitação geral de fachada de alvenaria de construção recente, gravemente fissurada. Caso de estudo.”**. 3º Encontro de Conservação e Reabilitação de Edifícios (3º ENCORE), LNEC; Lisboa, Maio 2003

[24] ABALADA, Vitor Hugo Marques - Aplicação de Sistemas de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS). Coimbra : Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2008. Tese de mestrado.

[25] LOPES, Tiago José Oliveira Lima Portugal - Fenómenos de pré-patologia em manutenção de edifícios: aplicação ao revestimento ETICS. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005. Tese de mestrado.

[26] MENDES, Francisco Melo Vaz Pinto - Durabilidade das fachadas ventiladas. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009. Tese de mestrado.

[27] RIBEIRO, Manuel Maria L. B. Sousa - Durabilidade na construção: estimativa da vida útil de fachadas ventiladas. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010. Tese de mestrado.

[28] GONÇALVES, Paulo Jerónimo; FRADE, Dina Filipe; BRITES, Joana - **“Argamassas térmicas – uma solução no cumprimento do RCCTE”**. 4º Congresso português de argamassas e Etics, Coimbra, Março 2012.

[29] <http://www.isodur.pt>. 14 Março 2012

[30] AGUIAR, J. Barroso de; MONTEIRO, José M. - **“Argamassas para reboco interior com propriedades térmicas melhoradas”**. Concreta 2004, Porto

[31] CUNHA, Sandra R.; ALVES, Vítor H.; AGUIAR, José B.; FERREIRA, Victor M. - **“Argamassas Térmicas Sustentáveis: O Contributo dos Materiais de Mudança de Fase”**. 4º Congresso português de argamassas e etics, Coimbra, Março 2012.

[32] MONTEIRO, José M. *et al.* - Utilização de materiais activos de argamassas. **Arte & Construção**. ISSN 0873-5271. 181 (nov. 2005) 22-28

- [33] **Guia técnico de reabilitação habitacional** . 1ª ed. Lisboa: Instituto Nacional de Habitação ,2006. vol. 2
- [34] ROCHA, Jaime Miguel Ferreira da Silva – Reabilitação do ponto de vista térmico de coberturas inclinadas, no centro histórico do Porto. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008. Tese de mestrado.
- [35] **Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais**. Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Energia. 2004
- [36] LOPES, Jorge M. Grandão - **As especificidades das coberturas ajardinadas** . 3ª ed. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2005.
- [37] LOPES, Grandão - **Patologia mais corrente em revestimentos de coberturas inclinadas**. 2008. Acessível no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- [38] SILVA, J. Mendes; GONÇALVES, Pedro - “**Patologias frequentes em coberturas planas em Portugal**”. Congresso Nacional da Construção, IST, Lisboa, Dezembro 2001
- [39] CÓIAS, Vitor; FERNANDES, Susana – Reabilitação energética dos edifícios. **Pedra & Cal**. 34 (Abr-Jun 2007) 7-10
- [40] FERREIRA, Tiago Miguel Duarte - Sobre a utilização do sistema de isolamento térmico pelo interior em edifícios residenciais em Portugal : análise do desempenho higrotérmico. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006
- [41] Azevedo, Pedro Micael Ferreira – Montagem de laboratório para estudo experimental de coberturas verdes. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2011. Tese de mestrado.

ANEXOS

Anexo A

Patologias mais correntes em revestimentos de coberturas inclinadas [37]

Anomalias devidas à ação da humidade

Humedecimento

- Humidade de precipitação
- Humidade de condensação

Modificação das propriedades mecânicas

- Diminuição das propriedades mecânicas

Modificação das propriedades físicas

- Corrosão de elementos metálicos

Degradações diversas

- Desenvolvimento de vegetação parasitária (líquenes e musgos)
 - Despendimento por corrosão de elementos metálicos de fixação
 - Descolamento por perda de aderência aos produtos de colagem
-

Anomalias devidas a defeitos de conceção ou de execução

Falta de complementos de estanquidade

Sobreposições insuficientes

Pendentes reduzidas

Remates inadequados

Caleiras, algerozes e tubos de queda de seção reduzida

Caleiras, algerozes com pendentes insuficientes

Inexistência de ralos

Anomalias diversas

Corrosão eletroquímica ou galvânica

Fixações insuficientes

Alterações de aspeto (descoloração, manchas de sujidade)

Deformação por fluência

Anexo B

Tipo de anomalia das coberturas em terraço [38]

ANOMALIAS EM SUPERFÍCIE CORRENTE DA COBERTURA

Ausência de revestimento impermeabilizante
Revestimento impermeabilizante inadequado
Perfuração do revestimento impermeabilizante
Ausência ou deficiente dessolidarização da proteção pesada
Envelhecimento do revestimento impermeabilizante
Descolagem das soldaduras nas juntas do revestimento impermeabilizante
Degradação do revestimento impermeabilizante por ação de raízes
Deficiente regularização do suporte
Anomalias devido à ação do vento
Água retida no suporte sob o revestimento impermeabilizante
Anomalias devido à presença prolongada da água

ANOMALIAS EM ZONAS PERIFÉRICAS DA COBERTURA

Anomalias no revestimento impermeabilizante aparente em paredes
Anomalias em paredes onde o revestimento impermeabilizante é inserido
Deficiente remate do revestimento impermeabilizante em soleiras de portas
Infiltração de água através de paramentos verticais contíguos à cobertura
Infiltrações devido a deficiente capeamento em platibandas

ANOMALIAS NOS DISPOSITIVOS DE RECOLHA E EVACUAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS

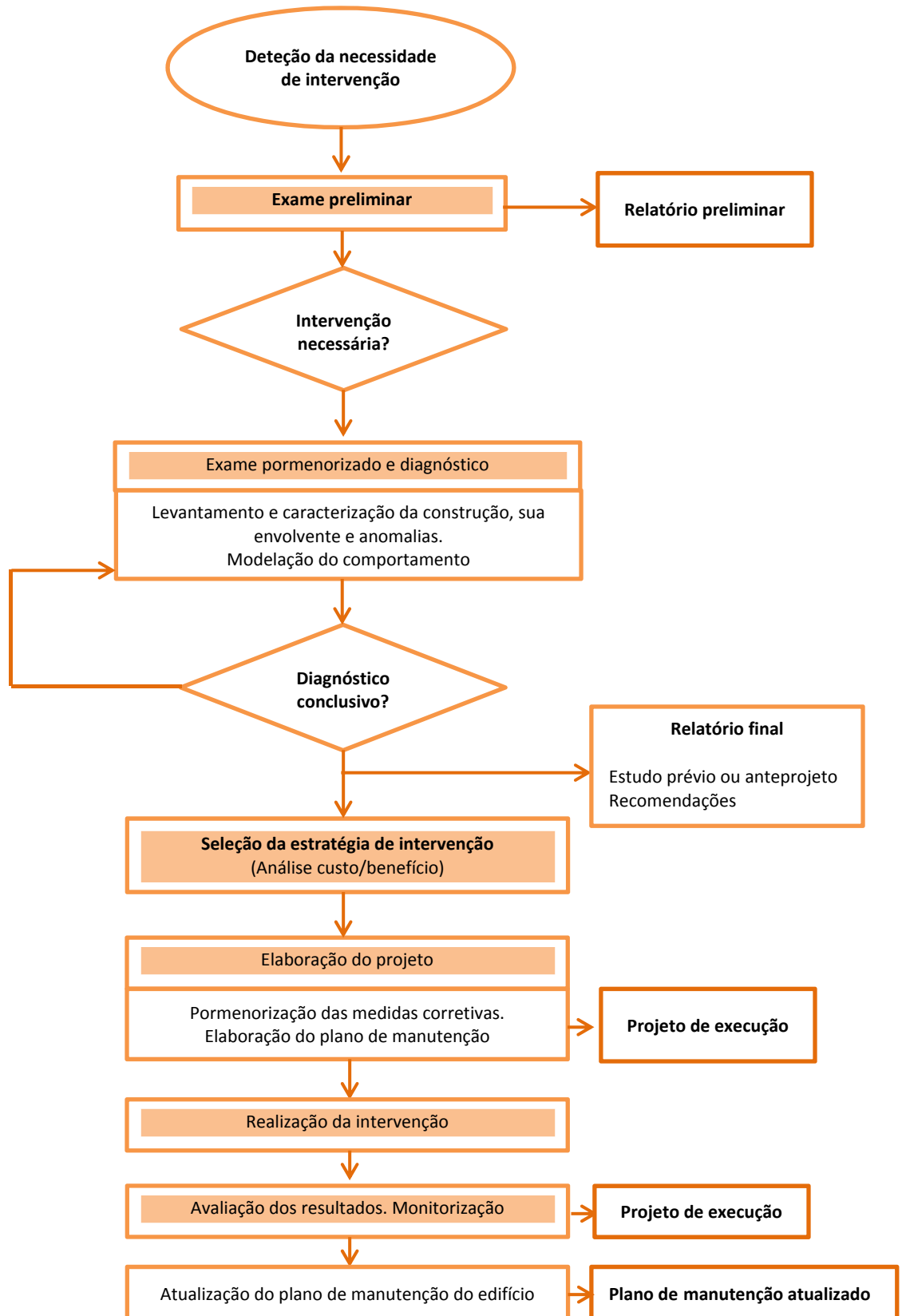
Obstrução das embocaduras dos tubos de recolha de águas pluviais
Dispositivos de entrada de águas pluviais de dimensões insuficientes
Ascensão e retorno das águas escoadas nos tubos de queda
Infiltrações através de troços horizontais de tubagens
Deficiente remate junto a embocaduras dos tubos de queda

ANOMALIAS EM PONTOS SINGULARES DA COBERTURA

Anomalias em juntas de dilatação horizontais
Infiltrações através de tubagens emergentes
Anomalias em lanternins e clarabóias
Infiltrações através de chaminés emergentes

Anexo C

Reabilitação energética – diagrama de fluxo [39]



Anexo D

Principais isolantes térmicos utilizados na reabilitação térmica dos elementos opacos da envolvente [33]

PO	CNT	Isolamento térmico		Placas					MT	Material a granel				Espumas in situ			
		Localização	Solução	EPS	XPS	PUR	MW	ICB	MW	Grânulos			FB	PUR	UF		
										EPS	VA	LWA	MW				
Paredes de fachada	Simples	Exterior	Sistemas compósitos (ETICS)	•			•										
			Rev. independentes com isolante na caixa de ar	•	•	•	•										
		Interior	Painéis isolantes	•	•	•	•										
			Contra-fachada com isolante no espaço de ar	•	•	•	•										
	Duplas	Intermédio	Preenchimento total da caixa-de-ar								•	•	•	•	•	•	
Pavimentos	-	Exterior	Sistemas compósitos (ETICS)	•		•	•										
			Teto falso com isolante na caixa de ar	•	•	•	•	•	•								
Coberturas	Horizontais	Exterior	Suporte de impermeabilização	•		•	•	•									
			Cobertura "invertida"	•	•												
	Inclinadas	Na esteira horizontal	Sobre a esteira	•	•	•	•	•	•		•	•					
			Sobre a estrutura resistente	•	•	•	•	•	•	•							
		Nas vertentes	Sob a estrutura resistente	•	•	•	•	•	•	•							

Siglas dos isolantes térmicos:

EPS – poliestireno expandido moldado
 XPS – poliestireno expandido extrudido
 MW – lã mineral
 VA – vermiculite expandida (em grânulos)

ICB – aglomerado de cortiça expandida
 PUR – espuma rígida de poliuretano
 LWA – argila expandida (em grânulos)
 UF – espuma de ureia-formaldeído

Outras siglas:

PO – partes opacas
 CNT – constituição
 MT – mantas
 FB – fibras

Anexo E

Níveis mínimos de aptidão de utilização dos isolantes térmicos em paredes [17]

Nº	Solução	I	S	O	L	E
Paredes simples com isolante interior (a)						
1	Complexo com isolante contínuo					
	Complexo pré-fabricado	1	2	2	3	2 ou 3 (c)
	Complexo executado <i>in situ</i>	1	2	2	2	2 ou 3 (c)
Paredes simples com isolante exterior						
2	Revestimento independente descontínuo	1	1	2	2	1
3	Revestimento delgado sobre polistireno expandido	2	4	3	4	2
Paredes duplas com isolante na caixa de ar						
4	Isolante preenchendo parcialmente a caixa de ar	1	1 ou 2 (d)	2	2	(b)
5	Isolante preenchendo totalmente a caixa de ar	1	1 ou 2 (d)	3	2	(b)
Paredes enterradas						
6	Isolante exterior em contato com o terreno	3	1	3	3	1
(a) Consultar quadro com indicação de espessuras mínimas para paredes de fachada com isolamento térmico (b) Consultar quadro com exigência de permeância dos isolantes térmicos em função da higrometria dos locais interiores (c) E ₃ em zonas I ₃ do RCCTE e de forte higrometria (consultar quadro) (d) É recomendável o nível S ₂						

Níveis mínimos de aptidão de utilização dos isolantes térmicos em coberturas [17]

Nº	Solução	I	S	O	L	E
Coberturas horizontais em terraço com isolante exterior						
7	Isolante sob sistema de impermeabilização	(a)	3	2	3	2 (b)
8	Cobertura invertida ajardinada ou acessível a pessoas	(a)	2	3	4	2
Coberturas inclinadas – desvão não acessível, ventilado e com isolante sobre laje horizontal						
9	Isolante sobre laje horizontal	1	1	1	1	1
Coberturas inclinadas – desvão com acessibilidade limitada a arrumos sem condições de habitabilidade, ventilado e com isolante sobre laje horizontal						
10	Isolante sobre laje horizontal de betão armado com proteção contínua	(a)	1	2	2	(c)
11	Isolamento sobre laje horizontal de betão armado com proteção fracionada	(a)	1	1	1	2
Coberturas inclinadas com isolante nas vertentes						
12	Isolante interior contínuo associado à estrutura descontínua	1	1	1	1	1
13	Isolante exterior sobre laje inclinada (e)	3	1	2	2	1
Coberturas metálicas						
14	Isolante sob revestimento metálico	1	1	1	1	3 a 4 (d)
15	Isolante sobre revestimento metálico e protegido pela impermeabilização	3	3	2	3	2 (b)
(a) Consultar quadro com exigências de compressibilidade dos isolantes térmicos em função da carga a que estão sujeitos (b) Prever pára-vapor sob o isolante (c) Consultar quadro com exigências de permeância dos isolantes térmicos em função da higrometria dos locais interiores. No caso do isolante térmico não possuir um nível de exigência suficiente, prever um pára-vapor de permeância equivalente sob o isolante (d) No caso de ventilação fraca, prever um para-vapor de permeância equivalente sob o isolante (e) Ventilação obrigatória do espaço de ar						

Níveis mínimos de aptidão de utilização dos isolantes térmicos em pavimentos [17]

Nº	Solução	I	S	O	L	E
Pavimentos sobre espaços exteriores e interiores não aquecidos com isolante exterior						
16	Teto falso com isolante na caixa de ar	1	1	1	1	(a)
17	Isolante fixado diretamente ao pavimento (fixação mecânica)	1	1	1	2	1
Pavimentos sobre espaços exteriores e interiores não aquecidos com isolante interior						
18	Isolante interior entre a laje e o revestimento	(b)	1	2	2	(f)
Pavimentos térreos						
19	Isolante sob laje armada (c)	(b)	1	2	2	1 (e)
20	Isolante sob laje armada em câmaras frigoríficas (c)	(d)	1	2	2	1
(a) Consultar quadro com exigências de permeância dos isolantes térmicos em função da higrometria dos locais interiores (b) Consultar quadro com exigências de compressibilidade dos isolantes térmicos em função da carga a que estão sujeitos. (c) É recomendável a aplicação do isolante ao nível de todo o pavimento. (d) Tem que respeitar NF P 75-401-1. (e) Prever pára-vapor sobre o isolante (habitação) e sob o isolante (câmaras frigoríficas). (f) Consultar quadro com exigências de permeância dos isolantes térmicos em função da higrometria dos locais interiores. Prever para-vapor sobre e sob o isolante de modo a prevenir situações de inversão de fluxo.						

Espessuras mínimas recomendadas para paredes de fachada com isolamento térmico [17]

Envoltente	Tijolo (cm)	Betão (cm)	Bloco (cm)
Parede simples: isolante interior	22	15-20	25
Parede simples: isolante exterior	22	15-20	20
Parede dupla: espessura do pano exterior	15	15	20

Exigências de permeância dos isolantes térmicos da higrometria dos locais interiores [17]

Higrometria	Tipo de locais	Exigência
Fraca	Escritórios, escolas e ginásios	E ₂
Média	Habitações não sobreocupadas e corretamente ventiladas	E ₃
Forte	Habitação com ventilação deficiente e indústrias	E ₄
Muito forte	Piscinas e certos locais industriais	Requer estudo especializado

Exigências de compressibilidade dos isolantes térmicos em função da carga a que estão sujeitos [17]

Carga total	Exigência
$Carga \leq 5 \text{ kN} / \text{m}^2$	I ₃
$5 \text{ kN} / \text{m}^2 \leq Carga \leq 10 \text{ kN} / \text{m}^2$	I ₄
$Carga > 10 \text{ kN} / \text{m}^2$	I ₅
A carga total inclui peso próprio e sobrecarga, excluindo qualquer fator majorativo	

Anexo F

Matriz de apoio à decisão de aplicação de ETICS em reabilitação [24]

Características em análise		Aplicabilidade ETICS	Notas
Há fenómenos de instabilidade nas paredes?			
A instabilidade verificada é ultrapassável mediante correção ou reforço das paredes		C	Avaliar as eventuais sequelas resultantes da instabilidade ou da sua correção
Há fissuração das paredes?			
Grau de estabilização das fissuras	Estabilizado ou pequenos movimentos cíclicos	A	
	Instável	C	É necessária estabilização prévia
A largura das fissuras	Inferior a 2mm	A	
	Superior a 2 mm	C	É necessária análise e tratamento prévio
Há perda de estanquidade das paredes?			
A perda de estanquidade é fator de relevo, atendendo à sua gravidade, à exposição das paredes e as funções dos espaços que elas confinam		A	
É necessário corrigir ou reforçar as características higrotérmicas das paredes?			
O reforço térmico necessário é elevado		A	
Há fenómenos anómalos (condensações interiores, bolores) devidos a pontes térmicas		A	
As paredes existentes constituem suporte mecanicamente adequado a um revestimento corretivo aderente?			
Suporta revestimento aderente leve		A	
Suporta revestimento aderente pesado		A	
O revestimento atual das paredes é base adequada para o futuro revestimento ?			
Condições de planeza	Plano sem grandes irregularidades	A	
	Irregularidades superficiais superiores a 1 cm	C	É necessário regularizar
Condições de estabilidade	Fraca adesão ao suporte	C	Deve ser removido o revestimento descolado ou com fraca adesão ao suporte
	Boa agregação ao suporte	A	
É necessário verificar as condições de aderência		C	Devem ser sempre realizados testes de aderência
Há heterogeneidade dos materiais		A	

A –Aplicável

C- Aplicação condicionada

N – Não aplicável

Matriz de apoio à decisão de aplicação de ETICS em reabilitação [24]

Características em análise		Aplicabilidade ETICS	Notas
Existem fatores construtivos, arquitetónicos, ou outros que condicionem, de forma decisiva, a adoção de uma determinada técnica de reabilitação?			
	É relevante, por razões históricas, culturais ou arquitetónicas, a preservação do aspeto da fachada bem como das suas características materiais ou dimensionais	N	
	Existem um número elevado de recortes e pormenores (esquinas, encontros, saliências, aberturas, varandas) de difícil remate e especial atenção e execução	C	Pontos singulares são sempre potenciadores de defeitos, principalmente quando não existem pormenores de execução em projeto
Dimensão e funcionamento dos peitoris	Longo (Comprimento superior a 15 cm medido a partir da fachada) sem deficiências de funcionamento	A	
	Curto com ou sem deficiências de funcionamento	C	Sobre peitoris com deficiências, reduzem-se as condicionantes pois a intervenção de reabilitação teria que passar pela sua correção
	Existem zonas de grande acessibilidade e concentração de pessoas	C	Mesmo com o cuidado no reforço da armadura, estas zonas são sempre potenciadoras de degradação
	Existem cabos ou tubagens, pelo exterior, fixados à parede (tubos de queda, gás, elétricos, telefónicos, etc.)	C	É necessário remover esses elementos, antes da aplicação do sistema
O fator económico é preponderante no processo de decisão?			
	Existem limitações económicas no investimento inicial	N	
	A expectativa de retorno a curto prazo é decisiva	A	

A –Aplicável

C- Aplicação condicionada

N – Não aplicável

Anexo G

Patologia em ETICS

Anomalias	Nível de desempenho	Possíveis causas
Visualização/demarcação das juntas das placas	N1	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de estabilidade dimensional das placas face às solicitações higrótérmicas; - Existência de desníveis entre placas devido a deficiências de nivelamento ou de regularidade dimensional das mesmas.
Alteração das cores das superfícies	N1	<ul style="list-style-type: none"> - Manchas de escorrência (defeitos ou anomalias em rufos, peitoris, etc.); - Fixação de poeiras, poluição e outras sujidades; - Diferenças de tonalidade devido a condições climáticas desfavoráveis na execução, associadas a uma incorreta preparação e aplicação do revestimento do isolante; - Manchas de oxidação de metais (caixilhos, capeamentos, etc.).
Crescimento microbiológico	N1/N2	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema favorável à ocorrência de longos períodos de condensações superficiais (reduzida capacidade de absorção térmica do revestimento final); - Condições higrótérmicas favoráveis e elevada exposição ao vento; - Textura rugosa do acabamento final; - Existência de matéria nutritiva e vegetação próximo da fachada; - Escorrências anómalas de água na fachada; - Aplicação de acabamento contaminado (deficiência de armazenamento). - Ineficácia dos biocidas incorporados no revestimento. - Aplicação em zonas e épocas de grande concentração de esporos no ar
Deficiente planeza do sistema	N2	<ul style="list-style-type: none"> - Choques devido à circulação de veículos, ao uso de andaimes do tipo bailéu ou de quaisquer outros elementos. - Deficiente planeza do suporte - Remates nas zonas de fixação dos andaimes às paredes. - Aplicação irregular da camada de colagem - Recobrimento insuficiente das placas - Falta de regularidade dimensional das placas
Fissuração do revestimento	N2/N3	<ul style="list-style-type: none"> - Falta pontual de armadura; - Inexistência de reforços de armaduras nos contornos dos vãos; - Insuficiente sobreposição de armadura nas emendas; - Colocação defeituosa das cantoneiras metálicas (perfis de arranque e laterais): <ul style="list-style-type: none"> • ausência de juntas entre perfis consecutivos; • coincidência entre as juntas dos perfis e das placas de isolamento • coincidência entre as juntas das placas de isolamento e descontinuidades do suporte - Variações na espessura da camada base resultantes: <ul style="list-style-type: none"> • desnivelamento entre placas de isolamento; • existência de elementos de fixação mecânica demasiado cravados; - Insuficiente recobrimento da armadura pelo revestimento; - Preenchimento das juntas das placas com produto da camada base; - Existência de juntas não preenchidas entre placas com abertura superior a 2mm; - Ausência de juntas na ligação do sistema a elementos construtivos; - Utilização de materiais do revestimento em mau estado de conservação; - Condições climáticas desfavoráveis durante a execução, associadas a uma incorreta preparação e aplicação da cola e revestimento; - Instabilidade do sistema devido à má fixação do isolamento térmico ao suporte; - Acabamentos de cor escura em locais de radiação solar elevada;

Reabilitação térmica de edifícios residenciais: propostas de intervenção

Anomalias	Nível de desempenho	Possíveis causas
Fissuração do revestimento	N2/N3	<ul style="list-style-type: none"> - Coexistência de cores escuras e claras no mesmo pano de fachada (choques térmicos diferenciais); - Movimentos do suporte; - Mau posicionamento da armadura na espessura da camada base (aplicada diretamente sobre o isolamento); - Isolante com insuficiente estabilidade dimensional, camada base ou acabamento pouco flexíveis (utilização de sistemas não homologados).
Empolamento do acabamento	N2/N3	<ul style="list-style-type: none"> - Infiltrações de água através de elementos construtivos da envolvente exterior degradados ou mal executados, ou de zonas com o acabamento fissurado ou destacado; - Reduzida permeabilidade ao vapor de água do acabamento final.
Descasque do acabamento	N2/N3	<ul style="list-style-type: none"> - Insuficiente espessura do recobrimento da armadura; - Incompatibilidade entre a camada base e acabamento (utilização de sistemas não homologados); - Deficiente aplicação do acabamento; - Mau estado de conservação do material aquando da aplicação.
Empolamento das placas	N2/N3	<ul style="list-style-type: none"> - Erro construtivo na aplicação do ETICS sobre suporte irregular; - Deficiente colagem das placas isolantes associada a movimentos devidos às solicitações higrotérmicas (expansão-contração); - Esforços provocados por fixação mecânica de andaimes ou outro equipamento; - Entrada de água pelo tardo das placas.
Deterioração do recobrimento das cantoneiras de reforço	N3	<ul style="list-style-type: none"> - Dilatações e contrações incompatíveis entre cantoneira e revestimento, aliada por vezes à deficiente aplicação dos perfis de reforço e à utilização de materiais não homologados; - Acabamento de espessura reduzida (em toda a parede ou sobre a cantoneira); - Inadequação da furação da cantoneira para garantir aderência ao revestimento; - Falta de recobrimento da cantoneira com a armadura do revestimento.
Perfuração do sistema	N3	<ul style="list-style-type: none"> - Choques devidos à circulação de pessoas e veículos; - Encosto de escadas em ações de manutenção (revestimento ou equipamento); - Choques devido ao uso de andaimes do tipo bailéu ou de outros elementos; - Atravessamentos indevidos da parede com cablagem;
Dessolidarização (geral ou parcial) do sistema	N4	<ul style="list-style-type: none"> - Deficiente preparação do suporte; <ul style="list-style-type: none"> • apresentam sujidade, poeiras, óleo de descofragem ou produtos hidrófugos; • muito molhados ou mesmo com gelo; • com revestimentos orgânicos, sem que se proceda à sua remoção por decapagem - Deficiente aplicação; - Infiltração de água para o tardo; - Movimentos acentuados do suporte. <p>A dessolidarização parcial do sistema resulta geralmente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Das condições atmosféricas que se verificam durante a aplicação. Em períodos muito húmidos ou quando a temperatura é muito baixa poderá ser necessário um maior intervalo de secagem da cola; - Da má repartição do produto de colagem e insuficiente compressão das placas contra o suporte; - De infiltrações de água ao nível do plano de colagem do isolamento: <ul style="list-style-type: none"> • Devido a insuficiente proteção do limite superior do sistema (rufos, capeamentos, etc.) • Deficiente tratamento da ligação com pontos singulares.

N1 – Poucos sinais de perda de desempenho

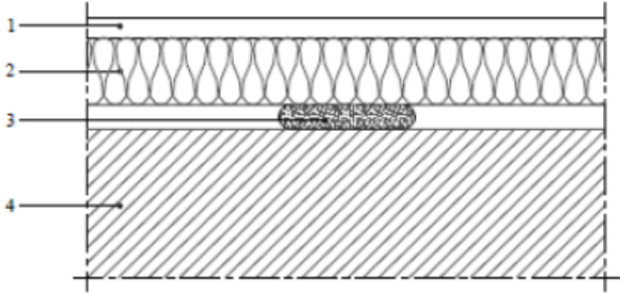
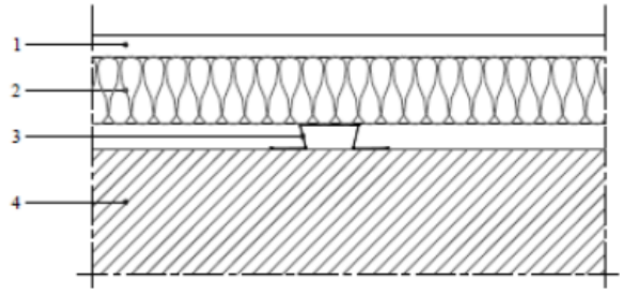
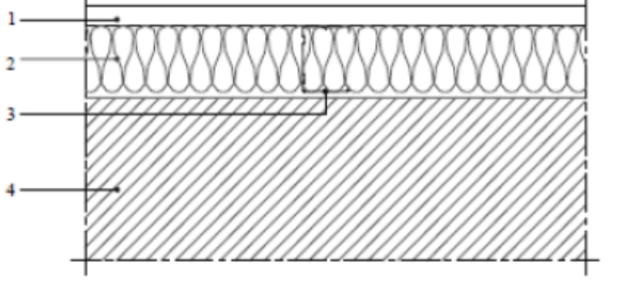
N2 – Perda de desempenho ligeira

N3 – Perda de desempenho extensa

N4 – Perda de desempenho profunda

Anexo H

Classificação dos sistemas de isolamento térmico pelo interior [40]

Sistema	Características
Direto	<p>Sistema à base de um complexo pré-fabricado integrando um material isolante térmico de espessura variável colado (em fábrica) a uma placa rígida, normalmente de gesso cartonado. A sua aplicação efetua-se habitualmente por colagem pontual.</p> 
Semi-direto	<p>A definição convencional deste tipo de sistema consiste numa estrutura com perfis fixados à parede de base, à qual por sua vez são fixados complexos similares aos utilizados nos sistemas diretos, tal como ilustrado na figura apresentada. Sob um ponto de vista teórico, trata-se de uma solução com uma estrutura de suporte (qualquer) diretamente fixada ao elemento de base, com material isolante térmico incluído na caixa-de-ar, sendo o elemento de revestimento fixado à estrutura de suporte.</p> 
Autoportante	<p>Sistema constituído por uma estrutura modulada integrando calhas horizontais metálicas fixadas mecanicamente às lajes de teto e pavimento, e montantes verticais metálicos encaixados naquelas, aos quais são aparafusados os elementos de revestimento, sendo o espaço de ar existente entre a parede de base e a elemento de revestimento preenchido total ou parcialmente por um material isolante térmico. A designação de autoportante deverá desejavelmente implicar a ausência de apoios pontuais à parede de base.</p> 

- 1 – Elemento de revestimento
- 2 – Material isolante térmico
- 3 – Elemento de colagem/fixação
- 4 – Parede de base

Anexo I

Identificação de algumas espécies de plantas segundo o tipo de vegetação [41]

	Nome comum	Cobertura verde Extensiva	Cobertura verde Intensiva
<i>Allium schoenoprasum</i>	Cebola galega	•	
<i>Arbustus unedo</i>	Medronheiro		•
<i>Armeria humilis</i>	Arméria	•	
<i>Betula</i>	Vidoeiro		•
<i>Buxus sempervirens</i>	Buxeira ou Buxo		•
<i>Chaenomeles japónica</i>	Marmeleiro do Japão		•
<i>Cordyline australis</i>	Fiteira		•
<i>Crambe hispânica</i>	Couve-bastarda		•
<i>Cytisus</i>	Giesta		•
<i>Juniperus thurifera</i>	Sabina-turfeira		•
<i>Kerria japonica</i>	Roseira do Japão		•
<i>Pipungens</i>	Píceca-azul		•
<i>Pinus mugo</i>	Pinheiro montanhês		•
<i>Pittosporum</i>	Pitosporo		•
<i>Prunus laurocerasus</i>	Loureiro-real		•
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Alecrim	•	
<i>album</i>	Arroz-dos-telhados	•	
<i>ellacombianum</i>		•	
<i>hybridum</i>		•	
<i>kamtschaticum</i>		•	
<i>middendorffianum</i>		•	
<i>Sedum reflexum 'Blue'</i>		•	
<i>rupestre 'Angelina'</i>		•	
<i>sexangulare</i>		•	
<i>spurium</i>		•	
<i>ternatum</i>		•	
<i>Talinum paniculatum</i>	Beldroega-miúda	•	
<i>Yucca gloriosa</i>	Palmeira lírio		•