U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

COMPORTAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS VENTILADAS

BÁRBARA INÊS CARDOSO SILVA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JUNHO DE 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-5081446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-5081440

✉ feup@fe.up.pt

http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015*.

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

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus avós

Quem não é um bom ímpar jamais será um bom par

AGRADECIMENTOS

O caminho foi longo e com algumas peripécias à mistura, no entanto com perseverança e trabalho tudo se consegue.

À professora Helena Corvacho pelas dicas, acompanhamento e amabilidade ao longo da realização desta tese.

Ao engenheiro Pedro Mêda um especial agradecimento pela paciência e assistência sempre que foi requerida.

À minha família por todo o apoio, motivação e preocupação, tornando a jornada mais serena.

Uma nota especial aos meus pais por tudo o que me proporcionaram, permitindo-me chegar até aqui.

Aos meus amigos pelo companheirismo, amizade e camaradagem. Aos bons momentos passados, que foram muitos, uma palavra de apreço a todos os que contribuíram para tal.

Não posso deixar de referir a Ana Marta, Carla, Francisca, Ilídio e Joana. O verdadeiro sentido da amizade, carinho, cooperação e superação esteve sempre presente.

A todos,

O meu obrigado.

RESUMO

As fachadas desempenham um papel fundamental na eficiência energética dos edifícios. Atualmente, devido à conjuntura ambiental e económica a relevância deste tema tem vindo a aumentar.

Assim, o objetivo principal desta dissertação é analisar o comportamento térmico de diferentes soluções de fachadas ventiladas.

São várias as vantagens relativamente a soluções tradicionais de revestimento de fachadas proporcionadas pelas fachadas ventiladas, nomeadamente em aspetos chave como a estética, durabilidade, valorização e eficiência dos imóveis.

Explora-se o programa de cálculo térmico CAPSOL e as suas potencialidades. Efetua-se uma análise de sensibilidade para diferentes configurações de fachadas, da orientação e do coeficiente de absorção solar. Compara-se também as soluções estudadas com o sistema ETICS, refletindo-se a influência dos diferentes parâmetros na eficiência do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Fachadas ventiladas, Simulação numérica, Comportamento térmico, Temperatura, Revestimento.

ABSTRACT

The building façades play a major role in the energy efficiency of these structures. Due to the current environmental and economic conjuncture, the relevance of this topic has been increasing.

Considering the relevance of this research field, the main goal of this dissertation is to analyse the thermal behaviour of different solutions of ventilated façades.

These most recent solutions have several advantages comparatively to the traditional ones, designedly in what concerns to the aesthetic value, durability, efficiency and economical appreciation of the property.

The thermal simulation program CAPSOL and its capabilities are explored. For the several façade configurations, orientations and solar absorption coefficients, a sensitivity analysis is performed. A comparison between the solutions studied and the ETICS system is also made, where the influence of the different parameters in the system efficiency is analysed.

KEYWORDS: Ventilated façade, Thermal behavior, Temperature, Numerical simulation tool, Sealing material.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS i

RESUMO iii

ABSTRACT v

1. INTRODUÇÃO 1

1.1. ENQUADRAMENTO 1

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO 1

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO 2

2. CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE FACHADA COM ISOLAMENTO PELO EXTERIOR 3

2.1. EVOLUÇÃO DAS FACHADAS 3

2.2. CONCEITO DE FACHADA VENTILADA 4

2.3. CLASSIFICAÇÃO DE REVESTIMENTOS PARA PARAMENTOS EXTERIORES DE PAREDES 5

2.4. COMPONENTES DAS FACHADAS VENTILADAS 7

2.4.1. REVESTIMENTO EXTERIOR 7

2.4.2. SISTEMA DE FIXAÇÃO 12

2.4.3. ISOLAMENTO TÉRMICO 15

2.4.4. SUPORTE 18

2.4.5. PORMENORES DE DESEMPENHO 19

3. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO E SELECÇÃO EXIGENCIAL 23

3.1. IDENTIFICAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO 23

3.1.1. PRINCIPAIS EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO 26

3.2. ISOLAMENTO TÉRMICO E CERTIFICAÇÃO ACERMI 27

4. SIMULAÇÕES: CARACTERIZAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO 29

4.1. INTRODUÇÃO 29

4.2. PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DO CAPSOL 29

4.3. DADOS DE ENTRADA 30

4.3.1. IMPORTAÇÃO DE DADOS CLIMÁTICOS DO SOLTERM 30

4.3.2. PARÂMETROS DE CÁLCULO 32

4.3.3. PROPRIEDADES DE CADA ZONA 33
4.3.4. PARÂMETROS DA ZONA SOLAR 34
4.3.5. DEFINIÇÃO DE LIMITES OU "WALLS" 34
4.3.6. CONTROLE DE VENTILAÇÃO 36
4.3.7. POTENCIALIDADES DE SAÍDA 40
5. SIMULAÇÕES: ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS 41
5.1. INTRODUÇÃO 41
5.1.1. ANÁLISE DOS MODELOS 41
5.1.2. SISTEMA ETICS 43
5.1.3. DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES EFETUADAS 44
5.1.3.1. Revestimentos 45
5.1.3.2. Emissividade e coeficiente de absorção 45
5.1.3.3. Orientação da fachada 45
5.2. ANÁLISE DE RESULTADOS 46
5.2.1. ANÁLISE PARA A CIDADE DE ÉVORA 47
5.2.1.1. Estação de Aquecimento em Évora 48
5.2.1.2. Estação de Arrefecimento em Évora 53
5.2.2. ANÁLISE PARA A CIDADE DO PORTO 58
5.2.2.1. Estação de Aquecimento no Porto 59
5.2.2.2. Estação de Arrefecimento no Porto 63
5.3. REFLEXÃO CRÍTICA 68
6. CONCLUSÕES 69
6.1. CONCLUSÕES FINAIS 69
6.2. PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS 70
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 71

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 - Evolução na conceção de fachadas em Portugal [5]. 4
Fig. 2.2 - Fachada ventilada montada em obra [8]. 4
Fig. 2.3 - Fachada ventilada pré-fabricada [4]. 4
Fig. 2.4 - Elementos da fachada ventilada [1]. 5
Fig. 2.5 - Tipologia de dimensão facial 6
Fig. 2.6 – Soletos de Ardósia [3]. 8
Fig. 2.7 – Fachada em granito [2]. 8
Fig. 2.8 - Fachada ventilada em grês porcelânico [Esq.] e em cerâmico impresso [Dir.] [19, 20] 9
Fig. 2.9 - Fachada ventilada em betão polímero [27]. 9
Fig. 2.10 - Fachada ventilada em GRC [28] 10
Fig. 2.11 - Painel fenólico (Esq) [29] e Elementos fenólicos (Dir.) [30]. 10
Fig. 2.12 - Fachada ventilada em madeira maciça [10]. 11
Fig. 2.13 - Painéis de cimento-madeira [4]. 11
Fig. 2.14 - Painel compósito de alumínio [13]. 12
Fig. 2.15 – Painel tricamada [13, 32] 12
Fig. 2.16 - Sistema de fixação visível (Cima) .e sistema de fixação invisível (Baixo) [17, 18]. 13
Fig. 2.17 - Sistema de fixação invisível [11] [18]. 14
Fig. 2.18 - Fixação de pano exterior de fachada de pedra com grampo de ancoragem [34]. 15
Fig. 2.19 - Fixação de pano exterior de fachada de placas cerâmicas com grampo de ancoragem [35]. 15
Fig. 2.20 - Aplicação de poliuretano projetado [39]. 16
Fig. 2.21 - Aplicação de aglomerado negro de cortiça [40]. 17
Fig. 2.22 - Poliestireno expandido (Esq.) e Poliestireno extrudido (Dir.) [41, 42] 17
Fig. 2.23 - Lã de rocha e Lã de vidro [15, 16] 18
Fig. 2.24 - Pormenor de junta aberta entre elementos do revestimento [45, 46]. 20
Fig. 2.25 - Pormenor de junta fechada entre elementos do revestimento [43, 47] 20
Fig. 2.26 - Ação da água e ar sobre a fachada ventilada [48]. 21
Fig. 2.27 - Trocas energéticas numa fachada ventilada . ..... **Erro! Marcador não definido.**
Fig. 3.1 - Exemplo classificação ACERMI [51]. 28
Fig. 4.1 - Esquema básico do CAPSOL, condução, convecção e radiação [14]. 30
Fig. 4.2 - Folha de dados climáticos do SolTerm para o Porto. 31
Fig. 4.3 - Funções FTE, FSG e FSD usadas pelo CAPSOL para o Porto. 31
Fig. 4.4 - Parâmetros de cálculo. 32

Fig. 4.5 - Exemplo das propriedades básicas de cada zona a simular. 33
Fig. 4.6 – Introdução dos parâmetros da zona solar. 34
Fig. 4.7 - Exemplo das características do isolamento e do suporte 35
Fig. 4.8 - Separação do sistema construtivo [7]. 35
Fig. 4.9 - Divisão da caixa de ar em três zonas [14]. 36
Fig. 4.10 – Definição de controlos para simular o efeito chaminé na caixa de ar 37
Fig. 4.11 - Esquema de ventilação [9].....38
Fig. 5.1 - Esquema de ventilação [6]. 42
Fig. 5.2 - Esquema do sistema fachada ventilada [8]. 42
Fig. 5.3- Constituição do sistema ETICS [5].....43
Fig. 5.4 - Esquema do sistema ETICS [5]. 44
Fig. 5.5 – Coeficiente de absorção da radiação solar [12]. 45
Fig. 5.6 – Variação anual da temperatura exterior e do isolamento para o cenário base. 47
Fig. 5.7 – Sequência de dias em que temperatura exterior toma valores mais baixos para o cenário base.....47
Fig. 5.8 - Sequência de dias em que temperatura exterior toma valores mais elevados para o cenário base.....48
Fig. 5.9 - Temperaturas no isolamento para a orientação norte de 13 a 19 de janeiro. 48
Fig. 5.10- Temperaturas no isolamento para a orientação norte no pior cenário, dia 17 de janeiro. 49
Fig. 5.11-Temperaturas no isolamento para a orientação este de 13 a 19 de janeiro. 49
Fig. 5.12- Temperaturas no isolamento para a orientação este no pior cenário, dia 17 de janeiro. 50
Fig. 5.13- Temperaturas no isolamento para a orientação sul de 13 a 19 de janeiro. 50
Fig. 5.14- Temperaturas no isolamento para a orientação sul no pior cenário, dia 17 de janeiro. 51
Fig. 5.15- Temperaturas no isolamento para a orientação oeste de 13 a 19 de janeiro. 51
Fig. 5.16- Temperaturas no isolamento para a orientação oeste no pior cenário, dia 17 de janeiro. ...52
Fig. 5.17- Temperaturas no isolamento para a orientação norte de 26 de Agosto a 1 de Setembro....53
Fig. 5.18- Temperaturas no isolamento para a orientação norte no pior cenário, dia 30 de agosto. 53
Fig. 5.19- Temperaturas no isolamento para a orientação este de 26 de Agosto a 1 de Setembro. 54
Fig. 5.20- Temperaturas no isolamento para a orientação este no pior cenário, dia 30 de agosto. 55
Fig. 5.21- Temperaturas no isolamento para a orientação sul de 26 de Agosto a 1 de Setembro. 55
Fig. 5.22- Temperaturas no isolamento para a orientação sul no pior cenário, dia 30 de agosto. 56
Fig.5.23 - Temperaturas no isolamento para a orientação oeste de 26 de Agosto a 1 de Setembro. ..56
Fig. 5.24- Temperaturas no isolamento para a orientação oeste no pior cenário, dia 30 de agosto. ...57

Fig. 5.25- Sequência de dias em que temperatura exterior toma valores mais elevados para o cenário base.....58

Fig. 5.26 - Variação anual da temperatura exterior e do isolamento para o cenário base 58

Fig. 5.27- Sequência de dias em que temperatura exterior toma valores mais baixos para o cenário base.....58

Fig. 5.28- Sequência de dias em que temperatura exterior toma valores mais elevados para o cenário base.....59

Fig. 5.29- Temperaturas no isolamento para a orientação norte de 2 a 8 de janeiro.....59

Fig. 5.30- Temperaturas no isolamento para a orientação norte no pior cenário, dia 5 de janeiro.....60

Fig. 5.31Temperaturas no isolamento para a orientação este de 2 a 8 de janeiro. 60

Fig. 5.32- Temperaturas no isolamento para a orientação este no pior cenário, dia 5 de janeiro 61

Fig. 5.33- Temperaturas no isolamento para a orientação sul de 2 a 8 de janeiro. 61

Fig. 5.34- Temperaturas no isolamento para a orientação sul no pior cenário, dia 5 de janeiro. 62

Fig. 5.35- Temperaturas no isolamento para a orientação oeste de 2 a 8 de janeiro. 62

Fig. 5.36- Temperaturas no isolamento para a orientação oeste no pior cenário, dia 5 de janeiro. 63

Fig. 5.37- Temperaturas no isolamento para a orientação norte de 3 a 9 de julho.....64

Fig. 5.38- Temperaturas no isolamento para a orientação norte no pior cenário, dia 5 de julho.....64

Fig. 5.39- Temperaturas no isolamento para a orientação este de 3 a 9 de julho. 65

Fig. 5.40- Temperaturas no isolamento para a orientação este no pior cenário, dia 5 de julho. 65

Fig.5.41 - Temperaturas no isolamento para a orientação sul de 3 a 9 de julho. 66

Fig. 5.42- Temperaturas no isolamento para a orientação sul no pior cenário, dia 6 de julho. 66

Fig. 5.43- Temperaturas no isolamento para a orientação oeste de 3 a 9 de julho. 67

Fig. 5.44- Temperaturas no isolamento para a orientação oeste no pior cenário, dia 4 de julho. 67

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Características de soluções de isolamento [37, 38]. 16
Tabela 2.2 - Caraterísticas de soluções correntes para o suporte [44]. 19
Tabela 3.1 - Classificação ACERMI 28
Tabela 4.1- Alterações ao modelo ventilação em excel 39
Tabela 5.1 -Características dos materiais utilizados no revestimento. 45
Tabela 5.2 – Tabela resumo com as características simuladas. 46

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

ETICS	External thermal insulation composite systems
EPS	Expanded polystyrene
XPS	Extruded polystyrene
OSB	Oriented strand board
MDF	Medium-density fiberboard
HDF	High-density fiberboard

1
INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A crescente preocupação e regulamentação ambiental, aliada à crescente importância e pressão da opinião pública, colocam progressivamente a questão do desempenho energético e ambiental cada vez mais na agenda da construção de edifícios e na sua relação com o espaço envolvente [21].

As recomendações da União Europeia visam a imposição de medidas que conduzam à melhoria do comportamento térmico dos edifícios, com vista à redução dos consumos energéticos dos mesmos.

A legislação nacional, através do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação estabelece requisitos para os edifícios de habitação, bem como parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético [22].

A energia não representa apenas uma percentagem elevada do custo de utilização de um edifício, tendo um grande efeito no conforto térmico e no bem-estar dos ocupantes.

A fachada é um elemento fulcral para a valorização de um edifício, com responsabilidade na manutenção de certas condições ambientais internas como é o caso do referido conforto térmico.

Nestas circunstâncias, o presente trabalho pode constituir um contributo para perceber a influência de certos parâmetros no desempenho da fachada ventilada. Para isso, procurou-se utilizar um programa de transferência de calor, nomeadamente o CAPSOL, desenvolvido pela empresa belga PHYSIBEL.

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

O presente trabalho tem como objeto de estudo a fachada ventilada e o seu comportamento térmico, tema de crescente reconhecimento e importância.

Pretendeu-se simular o desempenho térmico de diferentes configurações de fachada com o intuito de avaliar a influência da orientação, da configuração das fachadas e dos materiais que a compõem e do coeficiente de absorção solar.

Para tal, é necessário identificar as características fundamentais de cada sistema, permitindo uma escolha fundamentada do sistema que melhor se adapta a cada situação.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente dissertação foi dividida em 6 capítulos cujos conteúdos são os seguintes:

- Capítulo 1: caráter introdutório em que se enquadra o problema em estudo, se define os objetivos da dissertação e se expõe a sua estrutura.
- Capítulo 2: introdução de conceitos teóricos necessários para uma melhor compreensão do objeto de estudo.
- Capítulo 3: identificação das exigências de desempenho a satisfazer pelo sistema de fachada.
- Capítulo 4: introdução e descrição da estrutura da ferramenta de cálculo CAPSOL.
- Capítulo 5: apresentação dos diferentes parâmetros a estudar e exposição dos resultados das simulações realizados no software de cálculo, comparando os casos de estudo entre si.
- Capítulo 6: conclusões do estudo e sugestões para projetos futuros.

2

CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE FACHADA COM ISOLAMENTO PELO EXTERIOR

2.1. EVOLUÇÃO DAS FACHADAS

Após a Segunda Guerra Mundial a Europa atravessou uma difícil situação económica. A escassez dos combustíveis conduziu a um crescente aumento do seu custo. Isto levou à realização de diversos estudos visando melhorar o isolamento térmico das habitações, evitando assim o aumento de consumo de combustíveis. Verificou-se que o isolamento térmico seria mais eficaz se aplicado pelo exterior das fachadas.

A primeira utilização de um sistema de revestimento e isolamento térmico pelo exterior em grande escala foi efetuada na Alemanha nos finais da década de 1950.

Em Portugal, a partir dos anos 50, o tijolo furado aparece em todas as soluções construtivas. Nesta época introduziu-se as paredes duplas de tijolo no interior e pedra ou tijolo maciço face à vista no exterior, mas sem isolamento na caixa de ar. Nos anos 60 as paredes duplas passaram a utilizar o tijolo de maior espessura no exterior. Na década seguinte, a qualidade regrediu e os panos passaram a ser ambos de reduzida ou média espessura. Apenas nos anos 80 se voltou a utilizar panos de espessura maior no exterior, começando a ser utilizados materiais isolantes na caixa de ar.

Esta evolução pode ser visualizada na figura 2.1.

As construções de habitação, em climas temperados do Sul da Europa, são geralmente pesadas no que diz respeito à estrutura e aos materiais utilizados. Na estrutura e nas paredes exteriores são utilizados betão, tijolo ou pedra, de forma a obter resistência estrutural e inércia térmica. Quando materiais pesados pouco transformados, pedra ou adobe, por exemplo, estão localmente disponíveis o custo ambiental da construção é reduzido, mas o aumento da massa global do edifício pode implicar outros problemas, como um custo económico elevado, resultante duma mão-de-obra intensiva. A pesquisa tecnológica sobre sistemas construtivos pesados tem sido abandonada, já que a sua utilização só se torna viável em certos locais específicos, onde a sua aplicação faz parte duma herança cultural e existe disponibilidade de mão-de-obra e matérias primas [7].

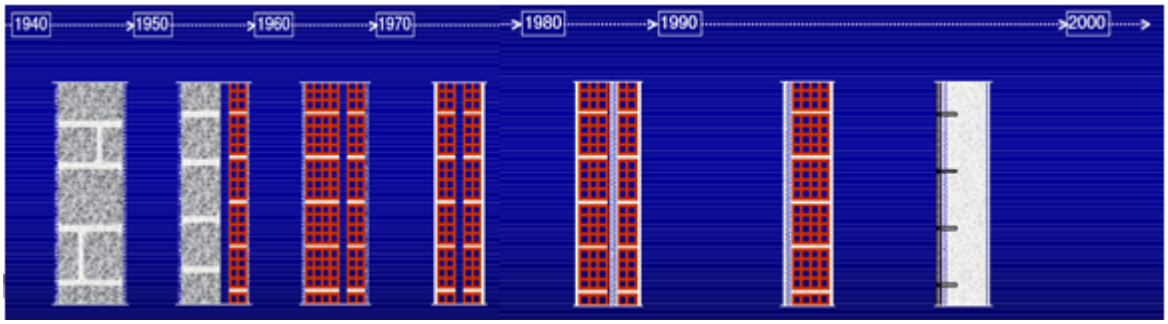


Fig. 2.1 - Evolução na conceção de fachadas em Portugal [5].

2.2. CONCEITO DE FACHADA VENTILADA

A fachada ventilada pode ser definida como um sistema de proteção e de revestimento exterior, caracterizado pelo afastamento entre a parede do edifício e o revestimento, criando assim uma câmara de ar ventilada [23].

Pode classificar-se de acordo com o processo de fabrico e montagem, os dispositivos de fixação ou segundo o material empregue no revestimento.

Segundo o seu processo de produção, como indicado nas figuras 2.2 e 2.3:

- Montadas em obra;
- Pré-fabricadas.



Fig. 2.3 - Fachada ventilada montada em obra [8].

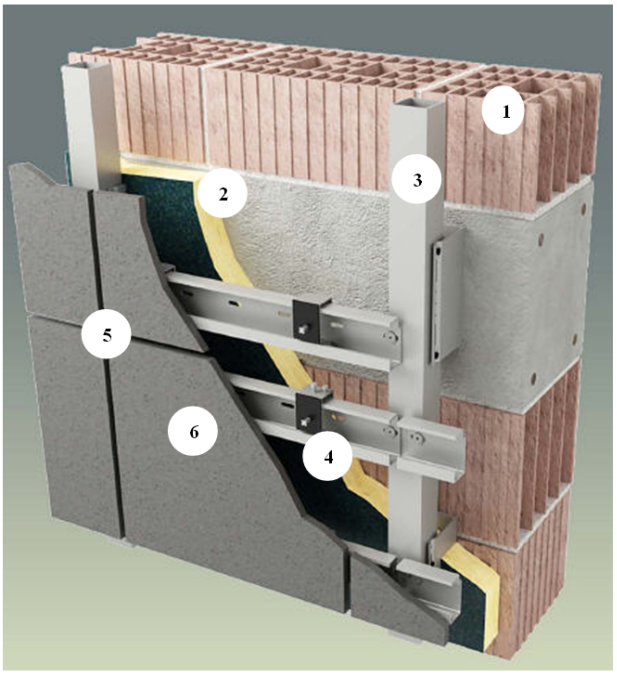


Fig. 2.2 - Fachada ventilada pré-fabricada [4].

Entende-se por fachada ventilada a envolvente vertical de um edifício composta pelos seguintes constituintes/subsistemas :

- o revestimento ou camada exterior;
- uma subestrutura auxiliar que suporta o revestimento;
- uma cavidade ou caixa de ar incorporando eventualmente o isolamento térmico.

A sua divisão pode ser observada na figura 2.4.



1	Suporte
2	Isolamento térmico
3	Sistema de fixação
4	Caixa de ar ventilada
5	Juntas entre placas
6	Revestimento exterior

Fig. 2.4 - Elementos da fachada ventilada [1].

Os principais fatores que devem ser levados em consideração aquando da opção por um determinado sistema de fachada são a comercialização, garantia de desempenho, flexibilização, facilidade de aplicação, reparação, durabilidade e economia de manutenção [24].

Este sistema pode ser utilizado em qualquer tipo de edifício, quer se trate de construção nova ou de um trabalho de recuperação.

Em suma, esta solução permite:

- Economia de energia, já que através do uso de isolamento térmico pelo exterior existe uma redução da transmissão do calor;
- Corrigir as pontes térmicas;
- Proteger as paredes das variações de temperatura;
- Aumento da durabilidade das fachadas que se encontram protegidas da ação dos agentes climáticos e atmosféricos (choque térmico, água líquida, radiação solar, etc.);
- Facilidade de manutenção e montagem, permitindo atuar em cada placa individualmente;
- Flexibilidade do sistema.

2.3. CLASSIFICAÇÃO DE REVESTIMENTOS PARA PARAMENTOS EXTERIORES DE PAREDES

A classificação dos revestimentos de paredes é feita a partir do documento elaborado pelo LNEC, "Classificação geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou betão".

Segundo este documento, os revestimentos das paredes exteriores estão classificados em quatro classes funcionais:

– Revestimentos de estanquidade (EST);

– Revestimentos de impermeabilização (IMP);

- Revestimentos de isolamento térmico (ISOL);
- Revestimentos de acabamento ou decorativos (ACAB).

Das quatro classes de revestimentos interessa abordar os Revestimentos de estanquidade (EST), que se subdividem em [24]:

- EST1 – Revestimentos por elementos descontínuos de fixação mecânica direta;
- EST2 – Revestimentos por elementos descontínuos de fixação mecânica independente;
- EST3 – Revestimentos de ligantes hidráulicos armados e independentes;
- EST4 – Revestimentos com base em ligantes sintéticos armados com fibra de vidro.

As fachadas ventiladas enquadram-se no subsistema EST2.

As suas dimensões faciais apresentam, como evidenciado na figura 2.5, as seguintes tipologias [24]:

- Elementos de reduzidas dimensões faciais (soletos ou escamas);
- Elementos em forma de réguas ou lâminas;
- Elementos de grandes dimensões faciais (placas).

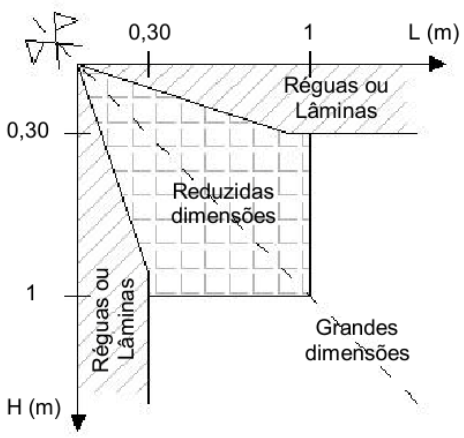


Fig. 2.5 - Tipologia de dimensão facial .

Apresenta-se no quadro 2.1 soluções para os diversos tipos de revestimentos de estanquidade.

Quadro 2.1 - Revestimentos por elementos descontínuos [25].

Classificação Funcional	***Tipos de Revestimentos***	***Solução***
	Em “escama”	Soletos de ardósia
		Soletos de compósitos de cimento
		Ladrilhos de betão
		Ladrilhos de barro vermelho

Quadro 2.1 - Revestimentos por elementos descontínuos [25] (continuação).

Revestimentos de estanquidade	Placas	Pedra natural	Placas de granito
			Placas de basalto
			Placas de calcário
			Placas de mármore
			Placas de ardósia
		Outros materiais	Pedra artificial
			Compósitos de cimento
			Resinas fenólicas
			Alumínio composto
			Plástico
			Cerâmicas
			Betão polímero
			Grés porcelânico
			Madeira modificada
			Vidro
			Madeira
Revestimentos de estanquidade	Em réguas		Plástico
			Metálicas
			Cerâmico
			Vidro
			Madeira

2.4. COMPONENTES DAS FACHADAS VENTILADAS

A fachada ventilada é um sistema construtivo consolidado com grande aceitação entre arquitetos e construtores, verificando-se uma grande evolução tecnológica desta solução construtiva. A sua eficiência e resistência às variações higrotérmicas, aliado ao diversificado leque de materiais e formatos tornam esta solução bastante apelativa.

Nos parágrafos seguintes faz-se uma descrição sumária das soluções correntes de fachadas ventiladas.

2.4.1. Revestimento exterior

O revestimento é o primeiro elemento em contacto com o exterior, sendo constituído por elementos descontínuos e independentes, com diferentes tipologias para as dimensões faciais, e fixados mecanicamente através de estruturas intermédias ou pontualmente.

Os revestimentos para paramentos exteriores devem [26]:

- Proteger o tosco da parede das ações dos diversos agentes agressivos, resistindo eles próprios a esses agentes;
- Contribuir para a estanquidade à água da parede;
- Conferir à parede características aceitáveis de planeza, verticalidade e regularidade superficial;
- Proporcionar à parede o efeito decorativo pretendido, mantendo-se limpos ou de fácil limpeza.

Para isso deverão satisfazer as exigências funcionais relativas a revestimentos de paredes .

Variam quanto ao tipo de superfície, que se subdivide em superfícies planas, curvas, perfiladas ou perfuradas, para as placas, ou apresentar formas mais inovadoras como as aerodinâmicas ou em forma de asa para as lâminas. Os elementos de reduzida dimensão limitam-se às superfícies planas.

Normalmente a espessura deste elemento não ultrapassa os 5 cm, apesar da sua dimensão facial ser variável.

A gama de produtos de revestimento exterior existente no mercado é ampla sendo possível encontrar diversas soluções. Pelo facto de este elemento estar posicionado exteriormente requer cuidados especiais na sua manutenção.

São apresentadas e descritas sumariamente as soluções mais significativas no mercado português.

As **placas de pedra natural** provêm de pedras naturais de origem:

- Ígnea – granito, basalto gabro, pórfiro, sienito;
- Sedimentar – calcário, brecha, dolomite;
- Metamórfica – mármore, ardósia, xisto, quartzito, gneisse.

Este leque de pedras naturais permite uma grande diversidade estética, com diversas opções de texturas, cores e acabamentos.

A pedra a utilizar deve obedecer a requisitos mínimos de resistência mecânica, de dureza, de trabalhabilidade, de porosidade, de durabilidade e de aparência. Pedras muito porosas são desaconselhadas em zonas em que facilmente se acumulem lixos e poeiras e em climas mais agressivos, pois parte dos materiais pétreos absorvem rapidamente a água por capilaridade afetando a sua durabilidade. Assim deve ser devidamente tratada de forma a evitar este fenómeno.

As soluções mais vulgares são fundamentalmente os granitos, os mármores, os calcários, os xistos e os basaltos.

Exemplificam-se alguns desses exemplos nas figuras 2.6 e 2.7.



Fig. 2.6 – Soletos de Ardósia [3].

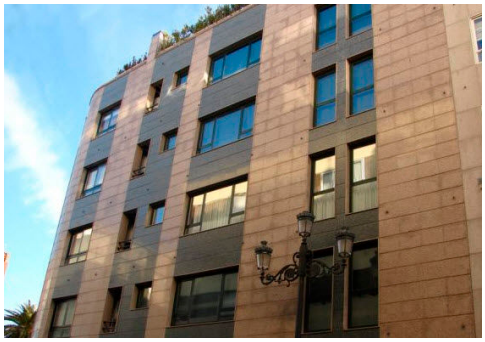


Fig. 2.7 – Fachada em granito [2].

Os **cerâmicos** são um material bastante apelativo devido à grande variedade de soluções existentes no que concerne a formatos, dimensões e uniformidade das cores. Atualmente são o principal concorrente das placas de pedra natural, destacando-se pela baixa absorção de água, elevada resistência mecânica, dureza e leveza do sistema. Destaca-se o grés porcelânico com um coeficiente de absorção de água de apenas 0,5%.

A figura 2.8 traduz alguns exemplos.



Fig. 2.8 - Fachada ventilada em grês porcelânico [Esq.] e em cerâmico impresso [Dir.] [19, 20] .

O **betão** é uma pedra artificial que pode ser fabricada através de diferentes moldes. As suas dimensões são variadas, com uma superfície geralmente plana, estando disponível em diversas cores e texturas.

As soluções disponíveis no mercado tendo em conta a composição do betão são o betão tradicional, o betão polímero, o betão de agregado leve, o betão celular e o GRC, betão reforçado com fibra de vidro.

Os betões mais utilizados são o polímero e o GRC, representados nas figuras 2.9 e 2.10, respetivamente.

O betão polímero possui uma resistência mecânica quatro vezes superior à do betão convencional, permitindo que as suas dimensões sejam menores com consequente aumento da leveza. Tem boas características físico-mecânicas, uma composição homogénea, reduzida percentagem de absorção de água e facilidade de instalação e manipulação.

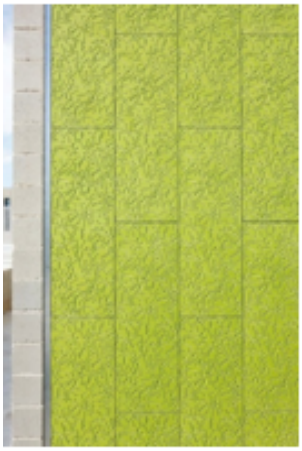


Fig. 2.9 - Fachada ventilada em betão polímero [27].

O GRC apresenta uma boa capacidade de absorção e de deformações e uma considerável resistência a esforços de tração, flexão e impacto. Permite uma maior versatilidade de formas e dimensões superiores.



Fig. 2.10 - Fachada ventilada em GRC [28] .

Os **fenólicos** são materiais naturais constituídos por lâminas de papel impregnadas com resinas fenólicas e reforçados com folha de papel ou madeira natural, que pela aplicação de elevadas pressões e temperaturas faz com que se funda e endureça, conferindo a este material uma elevada rigidez e resistência. Apesar da infinidade de padrões, a sua durabilidade pode ser comprometida se estiver sujeito a uma exposição solar elevada.

São essencialmente compostos por 3 partes:

• Pelicula protetora - pelicula (overlay) impregnada com resina melamínica;

• Folha decorativa - composta por uma folha de papel de madeira natural impregnada com resina melamínica, dotando-a de elevada resistência à abrasão.

• Núcleo - composto por folhas de papel kraft impregnadas com resinas fenólicas para o dotar de estabilidade e rigidez.

Estes produtos, representados na figura 2.11, apresentam uma elevada versatilidade com aplicações horizontais e verticais.



Fig. 2.11 - Painel fenólico (Esq) [29] e Elementos fenólicos (Dir.) [30].

A **madeira** apresenta numerosas vantagens estruturais, nomeadamente a sua imediata capacidade para ser posta em carga, o bom comportamento à flexão, a facilidade que oferece para absorver defeitos de execução, o baixo peso próprio, além do aspeto ambiental. A energia incorporada é muito baixa, além de ser um material reutilizável, reciclável e biodegradável, quando se utilizam madeiras locais e pouco transformadas. Apresenta alguns problemas de durabilidade e deformações ao longo do tempo, sendo desadequado para edifícios em altura. No entanto, existem tratamentos e mesmo produtos derivados de madeira que apresentam características mecânicas e durabilidade muito mais elevadas do que a madeira natural [7].

A aplicação de madeira em fachada divide-se em dois grupos: madeira maciça e derivados de madeira, ilustrados nas figuras 2.12 e 2.13.

As madeiras maciças, comumente designadas de madeiras modificadas, são tratadas de forma a resistirem a condições climatéricas adversas, sem necessitarem de grande manutenção.



Fig. 2.12 - Fachada ventilada em madeira maciça [10].

Os derivados de madeira aplicáveis em fachada são os contraplacados, painéis aglomerados, *OSB*, *MDF*, placas de elevada densidade e painéis de partículas de madeira aglutinadas com cimento [31].



Fig. 2.13 - Painéis de cimento-madeira [4].

As **placas de alumínio composto** são constituídas por duas camadas de alumínio e um núcleo interior de polietileno, conforme apresentado na figura 2.15. O alumínio é um material com uma durabilidade elevada e elevada resistência ao fogo, possuindo uma grande versatilidade em termos de acabamentos. Devido ao seu baixo peso é indicado para a construção de painéis de grandes dimensões, exemplificado na figura 2.14.



Fig. 2.14 - Painel compósito de alumínio [13].

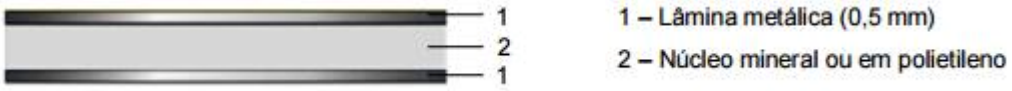


Fig. 2.15 – Painel tricamada [13, 32] .

2.4.2. Sistema de fixação

A escolha de determinado sistema de fixação do revestimento em detrimento de outro prende-se com diversos fatores designadamente a natureza do suporte, o seu comportamento físico após a colocação do revestimento e com variações dimensionais, relacionadas, por exemplo, com retração de presa, variação térmica, assentamentos e cedências.

A natureza das placas de revestimento também condiciona a escolha da fixação, nomeadamente o peso próprio das placas, as suas características geométricas e possíveis variações dimensionais [26].

São diversos os sistemas de fixação disponíveis, estando representados no quadro 2.2 as mais usuais.

Quadro 2.2 - Soluções de Fixação [33].

Tipo de fixação		***Elemento de fixação***
Fixação pontual	Fixação com selagem ao suporte	Grampos de chumbar
	Fixação mecânica ao suporte	Grampos mecânicos reforçados
		Grampos mecânicos correntes
Fixação contínua	Fixação à vista	Soluções com presilhas ou clips
		Soluções com pregos, pernos, rebites, parafusos ou agrafos

Quadro 2.2 - Soluções de Fixação [33] (continuação).

Fixação contínua	Fixação semioculta	Soluções com rasgo no topo de revestimento
		Soluções com furação no topo do revestimento
		Soluções com recorte no topo do revestimento
		Soluções por encaixe entre elementos;
	Fixação Oculta	Soluções com pregos, pernos, rebites, parafusos ou agrafos
		Soluções com rasgo no tardoz do revestimento
		Soluções com implantes no tardoz do revestimento.

A fixação pontual geralmente é utilizada nos revestimentos com reduzidas dimensões faciais e colocados com juntas de topo.

A fixação mais frequente corresponde à fixação visível ou oculta, patentes na figura 2.16. No primeiro caso os dispositivos de fixação ficam expostos, verificando-se o oposto no segundo.

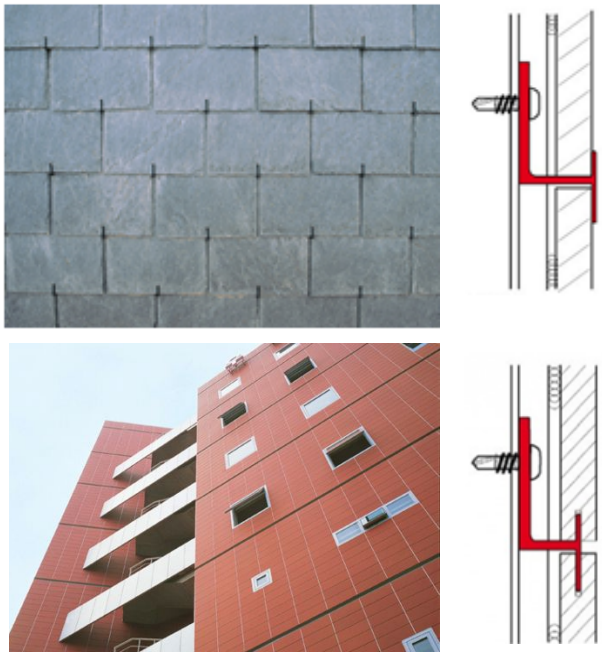


Fig. 2.16 - Sistema de fixação visível (Cima) .e sistema de fixação invisível (Baixo) [17, 18]

Apresentam-se, no quadro 2.4, as soluções de fixação utilizadas para os revestimentos analisados.

Quadro 2.3 - Sistemas de fixação utilizados para os diferentes revestimentos [31].

Material		***Espessura do elemento (mm)***	***Forma/Solução***	***Sistema de Fixação***
Pedra natural		Pelo menos 30	Retangular	Ancoragem por grampos; Ancoragem por cavilhas; Ancoragem linear; Ancoragem no tardoz; Ancoragem com discos.
			Sistema sobreposto	Parafusos ou pregos; Encaixe entre elementos.
Betão	Betão Polímero	14	Painel simples	Ancoragem por grampos; Ancoragem por cavilhas; Ancoragem linear; Ancoragem no tardoz.
	GRC	10 a 15	Painel simples	Ancoragem por cavilhas; Ancoragem no tardoz.
			Painel “stud-frame”	Ancoragem no tardoz.
Cerâmico		Desde 8	Placa	Ancoragem por grampos; Ancoragem linear; Sistema de encaixe.
			Placas sobrepostas	Ancoragem por grampos.
Placas de alumínio composto		3 a 10	Painel tricamada	Fixação por parafusos, pregos ou rebites; Moldura; Sistema de encaixe.
Madeira		Muito variável	Contraplacado, Aglomerados OSB, MDF, HDF Madeira maciça	Fixação com presilhas, pregos, rebites, parafusos; Agrafos ocultos pelo recobrimento.
Fenólicos		6 a 18	Painel fenólico	Fixação por parafusos ou rebites; Ancoragem no tardoz; Ancoragem por grampos.

Nas figuras 2.18 e 2.19 ilustram-se alguns exemplos de soluções de fixação.

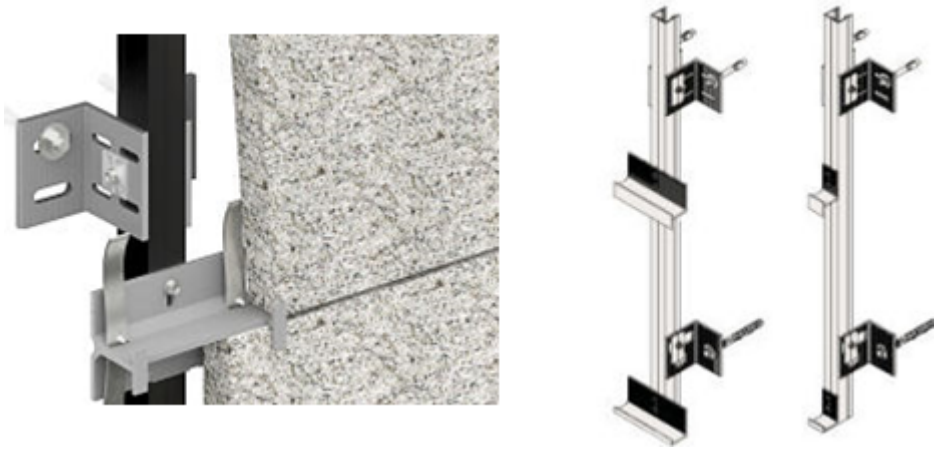


Fig. 2.18 - Fixação de pano exterior de fachada de pedra com grampo de ancoragem [34].

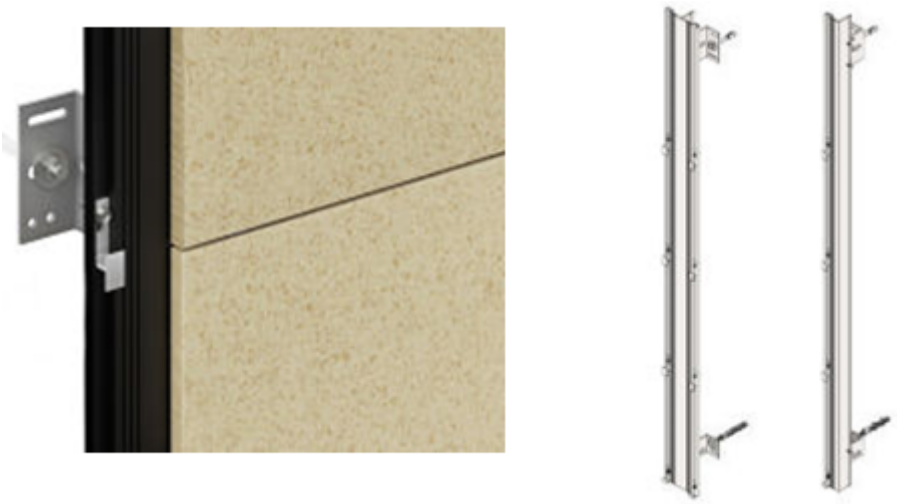


Fig. 2.19 - Fixação de pano exterior de fachada de placas cerâmicas com grampo de ancoragem [35].

2.4.3. Isolamento térmico

O isolamento térmico tem como função principal o aumento da resistência térmica da envolvente do edifício, de forma a reduzir as trocas de calor entre o edifício e o exterior, reduzindo as necessidades de aquecimento e arrefecimento, assim como o risco de condensações. São considerados isolantes térmicos materiais com $\lambda \leq 0.065$ W/m.ºC e R > 0.5 m^2.ºC/W, de forma a garantir que a espessura do material é suficiente para reduzir o fluxo de calor [36] .

A subcamada de isolamento térmico deverá ser constituída por painéis pré- fabricados, rígidos ou semirrígidos, colocados de encontro ao suporte. Deve ser aplicado em camada contínua e mantido em total contacto com o elemento de suporte.

Os isolantes térmicos podem ser classificados quanto à natureza, estrutura, modo de produção. Na tabela 2.1 são apresentados vários isolantes térmicos com a respetiva classificação.

Tabela 2.1 - Características de soluções de isolamento [37, 38].

Produto	***Natureza***	***Estrutura***	***Produção***	***Condutibilidade térmica (W/m.°C)***
Lã de rocha	Mineral	Fibrosa	Placas; Mantas	0,040-0,037
Lã de vidro	Mineral	Fibrosa	Placas; Mantas	0,040-0,034
Aglomerado negro de cortiça (10-150kg/m^3)	Vegetal	Celular	Placas; Granel	0,040
Poliestireno expandido moldado (15-35kg/m^3)	Sintética	Celular	Placas	0,040
Poliestireno expandido extrudido (25-40kg/m^3)	Sintética	Celular	Placas	0,035
Espuma rígida de poliuretano (30-40kg/m^3)	Sintética	Celular	"In-situ"	0,030

Os materiais mais utilizados são, em regra, o poliestireno expandido moldado ou extrudido, a lã mineral de rocha / vidro, as placas de aglomerado de cortiça ou a espuma de poliuretano projetado.

Caracterizam-se as soluções supracitadas com respetivas ilustrações, representadas nas figuras 2.20 a 2.23.

- Poliuretano projetado: a aplicação feita por equipas especializadas é rápida e eficaz, permitindo cobrir volumes ou peças intrincadas. Adere facilmente ao suporte, revestindo qualquer irregularidade da fachada. Melhora a resistência mecânica da superfície onde se aplica, com alta eficiência como isolante térmico e como produto impermeável. Apresenta, igualmente, baixa permeabilidade ao vapor de água e condutibilidade. No entanto é combustível, com uma classificação C a F de acordo com a EN 13501-1 e degradável quando exposto aos raios ultra violeta.



Fig. 2.20 - Aplicação de poliuretano projetado [39].

- Aglomerado negro de cortiça: apresenta-se como um material ecológico, permeável ao vapor de água, de longa durabilidade, imputrescível, resistente à compressão e de grande estabilidade dimensional. É comburente e suscetível de ganhar fungos com a humidade.



Fig. 2.21 - Aplicação de aglomerado negro de cortiça [40].

- Poliestireno expandido e extrudido: Exibem um grau de absorção reduzido, sendo fácil de cortar e aplicar. Derretem completamente em contacto com fogo, apresentando uma classe de reação ao fogo M1. Degradam-se quando expostos diretamente aos raios ultra violeta.
  O poliestireno extrudido, *XPS*, tem a vantagem de ser mais uniforme que o *EPS*, já que as suas células são de menor dimensão e por isso apresenta superfícies mais compactas e uniformes. Manifesta uma maior durabilidade e resistência mecânica [7].

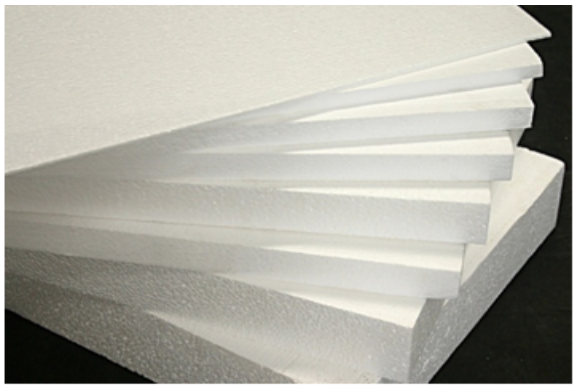




Fig. 2.22 - Poliestireno expandido (Esq.) e Poliestireno extrudido (Dir.) [41, 42] .

- Lãs de rocha e vidro: Oferecem uma resistência ao fogo e um isolamento térmico e acústico muito bom. Em presença de humidade não se desenvolvem fungos e bactérias. Permeáveis ao vapor de água são menos recomendáveis quando haja possibilidade de contacto com água, pois o seu desempenho fica prejudicado.



Fig. 2.23 - Lã de rocha e Lã de vidro [15, 16] .

Em fachadas ventiladas a propagação da combustão de um isolante térmico no interior da caixa de ar é potenciada pelo efeito chaminé que neste ocorre e que se agrava com a utilização de isolantes combustíveis de espessuras elevadas. Assim, a utilização de isolantes térmicos em fachadas ventiladas deve estar de acordo com a regulamentação de segurança contra incêndio em vigor. Atualmente a Portaria n.º 1532/1808 de 29 dezembro indica para edifícios de altura média, de 9 a 28 m de altura, isolantes térmicos com classe de reação ao fogo de pelo menos B-s2 d0 e, para edifícios de pequena altura, inferiores a 9 m de altura, de D-s3 d0 [43].

A compartimentação da caixa de ar deve ser efetuada com barreiras horizontais e verticais de forma a combater a propagação do fogo em caso de incêndio.

2.4.4. Suporte

O sistema de suporte tem por função suportar o peso do revestimento e de outros elementos a ele anexos, como subcamadas isolantes, resistindo às forças verticais, mas também evitar o deslocamento e o derrube sob o efeito de ações horizontais, como por exemplo o vento. Funciona ainda como amortecedor, absorvendo as deformações diferenciais entre o suporte e revestimento, reduzindo, assim, os esforços sobre o revestimento, geralmente mais frágil e mais sujeito a deteriorações [26].

A escolha do suporte influencia a seleção da solução de fixação, sendo possível a escolha de qualquer tipo de suporte desde que seja assegurada a estabilidade dos pontos de fixação principais da estrutura intermédia ao suporte.

De forma a garantir um desempenho aceitável em relação às solicitações a que a parede estará sujeita é recomendável uma espessura mínima do suporte de 18 mm, devendo ser resistente e estável.

Os panos contínuos resistentes preconizam as soluções mais favoráveis para uma grande parte dos sistemas de fixação de revestimentos exteriores independentes devido à sua capacidade resistente e homogeneidade, possibilitando idênticas fixações ao longo de todo o suporte.

O **tijolo**, material cerâmico, é uma evolução natural do bloco de adobe, distinguindo-se deste pela cozedura que lhe confere maior resistência e durabilidade. O tijolo furado é atualmente o material predominante na construção em Portugal [7].

O **betão** apresenta bons valores de resistência à compressão, apesar do seu mau comportamento à resistência à tração.

Existem diversos sistemas e tipos de blocos de betão: normal maciços e furados, com inertes leves maciços ou furados e betão celular autoclavado. As dimensões variam de acordo com o tipo de material e fabricantes.

As principais vantagens dos blocos de betão são a sua reação ao fogo, M0, o desempenho acústico e a massa térmica, no caso dos blocos maciços.

Apesar da energia incorporada específica ser em regra geral inferior às paredes de tijolo, o que torna os blocos de betão mais interessantes sob o ponto de vista ambiental do que os tijolos, os materiais locais pesados, como a pedra ou a terra compactada serão, neste aspeto, ainda mais vantajosos, por serem materiais naturais pouco transformados [7].

Apresenta-se, na tabela 2.2, um resumo com as características mais relevantes de cada solução.

Tabela 2.2 - Caraterísticas de soluções correntes para o suporte [44].

	Espessura (cm)	***Massa volúmica (Kg/m^3)***	***Resistência à compressão (MPa)***	***Resistência térmica (m^2.ºC/ W)***
Tijolo maciço	22	390	17,0-48,0	0,2
Tijolo perfurado normal	22	350	>9,0	0,26
Betão corrente	-	2180-2400	18-30	1,75
Betão de agregados leves	-	250-1800	7,0-11,0	0,10-1,05
Blocos de betão de agregados leves	18	218	4,0-6,0	0,19
Blocos de betão celular autoclavado	18	118	≥4,5	0,93
Pedra natural	-	1900-2900	≥50	3

2.4.5. Pormenores de desempenho

Para que se verifique o bom funcionamento da fachada é necessário a existência de um espaço em aberto entre as placas, ou seja, as juntas entre os componentes. As juntas entre painéis têm como função absorver as deformações intrínsecas ao revestimento, mas também são responsáveis pela água que possa penetrar através das mesmas, devendo garantir uma certa estanquidade do mesmo [43].

Numa fachada ventilada existem dois tipos de juntas, abertas e fechadas, ilustradas nas figuras 2.24 e 2.25, respetivamente.

No caso de juntas abertas a sua espessura não deverá exceder os 3 mm, sendo no entanto admissível uma maior espessura quando os materiais estão sujeitos a uma variabilidade dimensional significativa.

Em localidades com condições climáticas extremas as juntas abertas não devem ser usadas, uma vez que não possuem uma proteção adequada contra a ação da chuva.

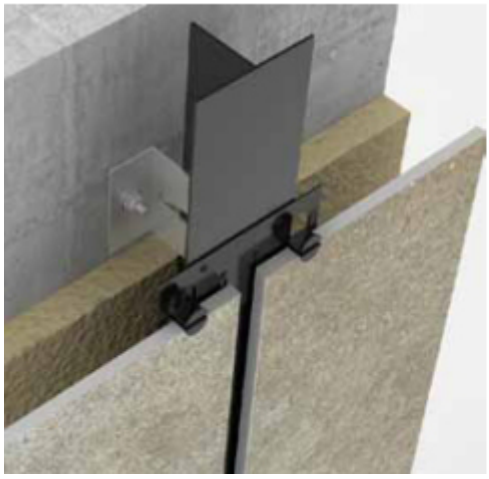



Fig. 2.24 - Pormenor de junta aberta entre elementos do revestimento [45, 46].

As juntas fechadas caracterizam-se pela proteção acrescida contra a infiltração das águas da chuva.




Fig. 2.25 - Pormenor de junta fechada entre elementos do revestimento [43, 47] .

É fundamental a existência de uma caixa de ar ventilada, criando um fluxo de ar contínuo na cavidade para a eliminação das condensações e humidades, proporcionando dissipação de calor, logo reduzindo os ganhos solares para o interior. A variação de densidade do ar no interior da cavidade em relação ao exterior cria um efeito chaminé, evitando a transmissão direta do calor para o edifício. Por isso, de inverno reduz os problemas de condensação e de verão há uma maior dissipação do calor na cavidade não permitindo a sua passagem para o interior do edifício.

Para que esta lâmina de ar seja eficazmente ventilada é conveniente evitar as perdas de carga.

Deve ser garantindo uma lâmina de ar livre, no mínimo 2 cm, para garantir efetivamente a ventilação.

Para espessuras superiores a 50mm, devido à diferença de densidade, desenvolve-se circulação natural de ar acompanhada de transferência de calor por convecção. Quanto mais espessa é a caixa de ar, maior é a transferência de calor por convecção [7].

A compartimentação da caixa de ar permite controlar a penetração de água pela incidência de vento sobre a fachada, velocidades excessivas da circulação de ar na ventilação e ainda a propagação do fogo em caso de incêndio, como demonstrado na figura 2.26.

Na caixa de ar ocorre um processo de transferência de calor combinado. Existe um fluxo de calor por condução entre as superfícies limites, por radiação e por convecção. A intensidade da troca de calor por radiação entre as superfícies limites opostas na caixa de ar depende da temperatura das superfícies e não apenas da diferença de temperaturas, bem comoda emissividade das mesmas. A introdução de revestimentos superficiais com emissividades diferentes influencia as trocas de calor por radiação.

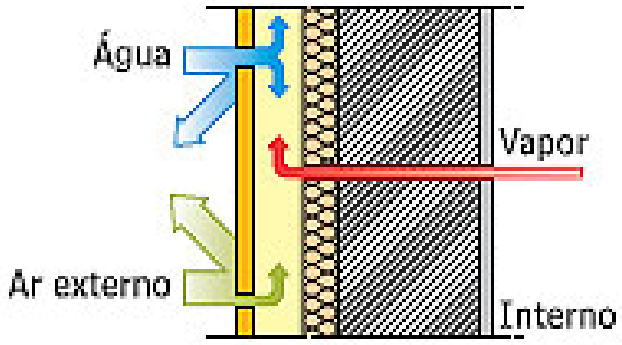


Fig. 2.26 - Ação da água e ar sobre a fachada ventilada [48].

3

EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO E SELECÇÃO EXIGENCIAL

3.1. IDENTIFICAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO

As fachadas, como elemento de transição entre o exterior e interior, devem cumprir um funcionamento expectável dentro de certos parâmetros. O estabelecimento de exigências de desempenho para os diferentes componentes visa salvaguardar o utente, respondendo às suas necessidades e satisfação.

O conceito de exigência funcional é introduzido em Portugal através de publicações do LNEC na década do 60.

Com a subdivisão do edifício em elementos, podendo cada um deles assegurar uma ou mais funções, surgiu a associação das exigências funcionais.

Para a avaliação da aptidão de determinado produto da construção devem ser considerados os fatores que influenciam a durabilidade deste, tais como o clima, a agressividade do meio, as solicitações decorrentes da utilização, entre outras ações.

O desempenho de um produto visa a quantificação das suas características que permitam avaliar a sua aptidão para satisfazer as exigências de desempenho, nas condições reais de utilização. A Diretiva Europeia dos Produtos da Construção estabelece que todos os produtos a serem incorporados ou aplicados, de forma permanente, numa obra de construção devem satisfazer seis exigências essenciais:

- Resistência mecânica e estabilidade;
- Segurança contra incêndios;
- Higiene, saúde e ambiente;
- Segurança na utilização;
- Proteção contra o ruído;
- Economia de energia e retenção de calor.

Estas têm como objetivo regular as exigências funcionais dos produtos da construção, encontrando-se explanadas no quadro 3.1.

A cada exigência está associada uma descrição a clarificar quais as características envolvidas, que podem ser quantificáveis ou não. As características podem ser uma grandeza física quantificável por cálculo, ensaio ou medição direta, ou outra grandeza com definição associada a uma classificação. Para características em que seja impossível a sua avaliação quantitativa, esta pode ser expressa de forma qualitativa [24].

Quadro 3.1 - Exigências de desempenho a satisfazer pelo sistema de fachada [44].

Grupo Exigencial	***Exigência de Desempenho***	***Relevância nos elementos do sistema de fachada***
EE1 Resistência mecânica e estabilidade	Estabilidade mecânica do suporte; Resistência ao vento; Fixação do revestimento; Peso próprio; Resistência a sismos; Resistência aos choques: suporte e revestimento; Resistência às deformações e variações dimensionais; Alteração das características mecânicas do revestimento no estado húmido; Resistência a cargas permanentes horizontais.	Suporte; Sistema de fixação; Revestimento.
EE2 Segurança em caso de incêndio	Resistência ao fogo; Espessura da parede; Reação ao fogo.	Suporte; Isolamento; Sistema de fixação; Revestimento.
EE3 Higiene, saúde e ambiente	Limpeza; Aptidão para reutilização; Odores; Fixação de bolores e microrganismos; Resistência ao enodoamento.	Revestimento.
EE4 Segurança na utilização	Perfil geométrico; Resistência à peladura; Equipotencialização(1).	Sistema de fixação; Revestimento.

Quadro 3.1 - Exigências de desempenho a satisfazer pelo sistema de fachada [44] (continuação).

EE5 Proteção contra o ruído	Isolamento sonoro a sons de condução aérea; Tempo de reverberação, T: paramento interior;	Isolamento; Caixa de ar.
EE6 Economia de energia e comportamento higrométrico	Coeficiente de transmissão térmica; Estanquidade à água; Permeabilidade ao vapor de água; Permeabilidade ao ar; Inércia térmica interior.	Isolamento; Caixa de ar;

(1) Norma aplicável a fachada com estrutura metálica.

Para além destas exigências funcionais existem outro tipo de exigências que devem ser consideradas, nomeadamente:

- Conforto visual;
- Durabilidade;
- Montagem, manutenção e reparação.

O **conforto visual** tem uma influência considerável, influenciando a estética global do edifício. O estado da superfície e acabamento dos paramentos devem ser agradáveis à vista, devendo apresentar-se planos e verticais e sem defeitos de superfície, reentrâncias, fissuras e deslocamentos [33].

A **durabilidade** de um material, segundo a norma internacional ISO 15686, define-se como a capacidade do edifício ou seus elementos de desempenhar as funções requeridas durante um determinado período de tempo sob a influência dos agentes atuantes em serviço. No entanto, este conceito tem uma componente subjetiva associada, para além do lado normativo exigencial. As expectativas que se tem de um edifício, sistema ou material de construção, ou o significado da sua funcionalidade podem variar em função da utilização prevista, do seu utilizador, ou da época a que se reporta [25].

Deve ser avaliada a durabilidade dos componentes quanto:

- Materiais e acabamentos;
- Resistência ao atrito, à erosão por partículas do ar, pela água e pelo granizo e ao escorrimento da água;
- Resistência ao choque térmico;
- Resistência aos agentes climáticos;
- Resistência aos produtos químicos do ar.

Quanto à **montagem, manutenção e reparação** a facilidade de transporte de componentes, montagem, aptidão para armazenagem e posterior reparação e manutenção são características que pesam na escolha do sistema de fachada [8].

3.1.1. Principais exigências de desempenho

São desenvolvidas, no quadro 3.3, as exigências de desempenho que mais influem na envolvente vertical opaca.

A normalização portuguesa não é específica para fachadas ventiladas, sendo necessário recorrer a documentação francesa e a norma de produto referente a fachadas cortina.

Quadro 3.2 -Exigências de desempenho que mais influem na envolvente vertical opaca [24].

Exigência de Desempenho	***Característica e Especificação de Desempenho***	***Documentação de referência***
Resistência ao vento	A fachada ventilada deve ser suficientemente rígida para resistir, à pressão do vento declarada para o estado limite de utilização, quer positiva, quer negativa.	EN 12179
	Deve transferir a pressão declarada do vento para a estrutura do edifício, de forma segura, através das fixações próprias para o efeito.	
	Quando sujeita às pressões declaradas do vento, a deformação máxima dos perfilados que constituem a estrutura da fachada ventilada não deve exceder L/200 ou 15 mm, aquela que for menor, quando medida entre os pontos de suporte ou ancoragem à estrutura do edifício.	EN 13116
Fixação do revestimento	Definição da resistência ao arrancamento por tração através de ensaio	-
Resistência aos choques: suporte e revestimento	Após o impacto ou colisão, casual ou acidental, entre o utilizador e o revestimento, este último deve apresentar segurança ao uso e condições adequadas ao serviço.	ISO 7892:1988 EN 12600(1) EN 14019(2)
	Os revestimentos em vidro devem cumprir as especificações desse produto.	EN 12600(1)
Reação ao fogo	Referência à classe de reação ao fogo.	EN 13501-2
Resistência ao fogo	Referência à classe de resistência ao fogo	EN 13501-2
Isolamento sonoro a sons de condução aérea	Quando for especificamente requerido, o índice de isolamento sonoro deve ser determinado por ensaio	NP EN 20140-3 NP EN ISO 717-1

Quadro 3.3 -Exigências de desempenho que mais influem na envolvente vertical opaca [50] (continuação).

Coeficiente de transmissão térmica	A avaliação/cálculo do coeficiente de transmissão térmica da fachada ventilada, bem como os ensaios, devem ser realizados pelos métodos normalizados.	EN 13947
Estanquidade à água	Classificação da parede segundo a sua estanquidade à água.	EN 12155(2) EN 12154(2)
	Referência do coeficiente de capilaridade e da absorção de água do revestimento.	
Permeabilidade ao vapor de água	As barreiras de controlo de vapor de água, em conformidade com a respetiva Norma, devem ter em conta as condições higro-térmicas do edifício.	NP EN 13830(2)
Durabilidade dos componentes, materiais e acabamentos	Os componentes, materiais e acabamentos deverão manter as suas características quando submetidos ao envelhecimento natural. A durabilidade do desempenho de qualquer característica da fachada ventilada está relacionada com a conformidade dos materiais e acabamentos constituintes com as soluções atualizadas, ou com especificações técnicas europeias, relativas ao material ou acabamento. As durabilidades devem ser semelhantes para todos os componentes, materiais e acabamentos da fachada ventilada.	NP EN 13830(2)

(1) Apenas aplicável ao material vidro

(2) Norma aplicável a fachada-cortina

A fachada ventilada pode ser enquadrada na norma das fachadas cortina, sendo as suas exigências, como revestimento de fachada, semelhantes e os ensaios, de uma forma geral, da mesma forma aplicáveis. A única diferença entre as duas reside no fato da caixa de ar da fachada ventilada ser dimensionada de forma a permitir a remoção do ar aquecido da zona inferior da mesma pelo efeito chaminé, permitindo a evaporação da água infiltrada ou condensada.

3.2. ISOLAMENTO TÉRMICO E CERTIFICAÇÃO ACERMI

Como não existe uma certificação para isolamentos térmicos no âmbito do CEN, correntemente é usada a certificação ACERMI, de origem francesa e de referência internacional, exemplificado na figura 3.1.

Esta certificação define os níveis de aptidão caracterizados como ISOLE, destinados a expressar de forma simples a aptidão dos isolamentos em função das necessidades, sendo obtidas a partir das características definidas nas normas europeias, como representado no quadro 3.1.



Fig. 3.1 - Exemplo classificação ACERMI [49].

Tabela 3.1 - Classificação ACERMI

Propriedades	***Identificação***	***Quantificação***
Resistência térmica	R	$(m^2 °C) / W$
Compressibilidade	I	1-5
Estabilidade dimensional	S	1-4
Comportamento à água	O	1-3
Comportamento mecânico em coesão e flexão	L	1-4
Permeabilidade ao vapor de água	E	1-5

Segundo o Manual Exigencial NIT001, os níveis mínimos de desempenho para fachadas ventiladas são nível de desempenho 1 quanto às características "I", “S" e “E" e nível de desempenho 2 para as características “O”, relativo a isolante não hidrófugos, e “L” relativo a isolante semi-rígidos.

4

SIMULAÇÕES: CARACTERIZAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO

4.1. INTRODUÇÃO

Com a crescente evolução do processo construtivo é necessário ter ferramentas que simulem e prevejam o comportamento dos elementos face às diferentes ações externas.
Como resposta surgem os programas de simulação, apresentando-se como uma ferramenta útil para prever cenários, encontrando soluções válidas para cada situação.

Na presente tese foi utilizado o programa de cálculo CAPSOL, visto satisfazer os requisitos para o cálculo do desempenho térmico de uma fachada ventilada.

O CAPSOL é um programa que permite simular a transferência de calor estática ou dinâmica entre diferentes zonas.

O cálculo estático é utilizado para determinar as condições iniciais do sistema bem como para estimar as necessidades de aquecimento e refrigeração.

O cálculo dinâmico tem como base o método das diferenças finitas de Crank-Nicolson.

4.2. PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DO CAPSOL

O programa permite que os dados de saída e entrada sejam guardados como ficheiros de texto, podendo ser manipulados por programas externos, como por exemplo o excel.

O modelo de cálculo do CAPSOL é baseado numa rede de resistências e condensadores térmicos, onde cada componente é representado por uma série destes elementos.

As componentes separam zonas que podem ser de diferentes tipos, interiores ou exteriores.

Os espaços de ar são simulados ou por uma resistência convectiva paralela a uma resistência radiativa ou usando uma resistência térmica equivalente.

Nas zonas interiores a transmissão de calor entre superfícies é realizada por convecção e radiação infravermelha.

A reflexão da radiação solar incidente na superfície exterior do elemento resulta da soma da radiação direta (DIR), difusa (DIF) e proveniente da reflexão do solo (GRF), sendo dependente do ângulo de incidência (α).

A radiação solar que incide na superfície interior do elemento (INT) e proveniente de superfícies adjacentes à zona interior é tratada da mesma forma que a radiação exterior não sendo no entanto tido em conta o ângulo de incidência. [50], como ilustrado na figura 4.1.

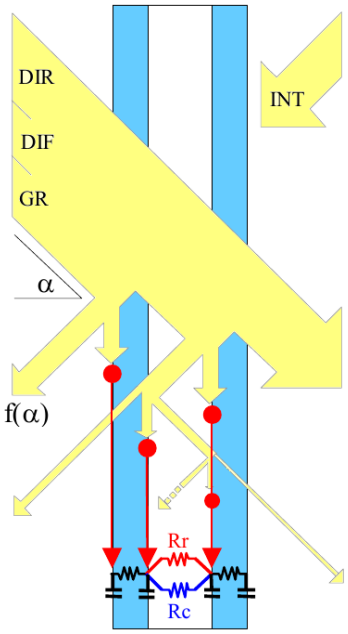


Fig. 4.1 - Esquema básico do CAPSOL, condução, convecção e radiação [14].

4.3. DADOS DE ENTRADA

Neste subcapítulo são descritos quais os inputs que devem ser fornecidos ao programa, com uma breve explicação das características e funcionalidades do mesmo.

4.3.1. Importação de dados climáticos do SolTerm

De modo a prever o comportamento do edifício é importante que o clima exterior seja simulado de forma real, para que os resultados sejam fidedignos. No CAPSOL o clima exterior é definido por uma função temperatura, duas funções de radiação horizontal e uma radiação infravermelha, se necessária.

Outras características climáticas como a humidade, a velocidade e direção do vento não são consideradas.

Para definir o clima no programa CAPSOL foram utilizados os dados climáticos provenientes do SolTerm, nomeadamente referentes ao Porto e Évora. Este consiste num programa de análise de desempenho de sistemas solares, através de simulação numérica de balanços energéticos ao longo de um ano de referência, e especialmente concebido para as condições climáticas e técnicas de Portugal. O SolTerm é desenvolvido e distribuído pelo LNEG pelo método de licença de utilização[51].

Dos dados importados, conforme visualizado na figura 4.2, apenas alguns são oportunos para serem utilizados no CAPSOL, sendo:

- **Temperatura [ºC]** – função FTE;
- **Radiação solar global horizontal [W/m^2]** – função FSG;
- **Radiação solar difusa horizontal [W/m^2]** – função FSD.

```
5.0
: ------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
 TRY para RCCTE/STE e SOLTERM
 INETI(2006)  www.ineti.pt  sec.der@ineti.pt
: ------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
: Zona
Porto
: Longitude (°W)
8.62
: Latitude (°N)
41.16
: Altitude (m)
100
: ------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
: Período
 1961-1990 (nominal)
: ------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
: Temperatura [°C*10]                          - climatologia e algoritmos INETI-DER (2004)
: Precipitação [mm]                            - sem dados
: Humidade relativa [%]                        - climatologia e algoritmos INETI-DER (2004)
: Vento - magnitude [m/s*10]                   - sem dados
: Vento - rumo[0°...359° 0°=N]                 - sem dados
: Pressão [hPa]                                - sem dados
: Nebulosidade total [0...10 limpo a coberto]  - algoritmos INETI-DER (2004)
: Nebulosidade opaca [0...10 limpo a coberto]  - algoritmos INETI-DER (2004)
: Radiação solar - global horizontal[W/m²]     - climatologia e algoritmos INETI-DER (2004)
: Radiação solar - difusa horizontal[W/m²]     - climatologia e algoritmos INETI-DER (2004)
: Radiação solar - global vertical N [W/m²]    - algoritmo Muneer (1990) com albedo do solo 20%
: Radiação solar - global vertical NW [W/m²]   - algoritmo Muneer (1990) com albedo do solo 20%
: Radiação solar - global vertical W [W/m²]    - algoritmo Muneer (1990) com albedo do solo 20%
: Radiação solar - global vertical SW [W/m²]   - algoritmo Muneer (1990) com albedo do solo 20%
: Radiação solar - global vertical S [W/m²]    - algoritmo Muneer (1990) com albedo do solo 20%
: Radiação solar - global vertical SE [W/m²]   - algoritmo Muneer (1990) com albedo do solo 20%
: Radiação solar - global vertical E [W/m²]    - algoritmo Muneer (1990) com albedo do solo 20%
: Radiação solar - global vertical NE [W/m²]   - algoritmo Muneer (1990) com albedo do solo 20%
: Radiação IV - celeste descendente [W/m²]     - algoritmos 4th ESRA (1999)
: Iluminância - global horizontal [lux]        - algoritmos CEC Daylighting Atlas (1995)
: Iluminância - difusa horizontal [lux]        - algoritmos CEC Daylighting Atlas (1995)
: Iluminância - directa normal [lux]           - algoritmos CEC Daylighting Atlas (1995)
: Luminância zenital [Cd/m²]                   - algoritmos CEC Daylighting Atlas (1995)
: ------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
 1  1  1  81    0  84    0    0 1013 10  7    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0 315     0     0     0     0
 1  1  2  74    0  86    0    0 1013 10  7    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0 312     0     0     0     0
 1  1  3  67    0  89    0    0 1013 10  3    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0 309     0     0     0     0
 1  1  4  60    0  91    0    0 1013 10  2    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0 306     0     0     0     0
 1  1  5  53    0  94    0    0 1013 10  5    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0 303     0     0     0     0
 1  1  6  46    0  96    0    0 1013 10  8    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0 300     0     0     0     0
 1  1  7  39    0  99    0    0 1013 10  9    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0 297     0     0     0     0
 1  1  8  42    0  98    0    0 1013  2  2   10    9    4   11   27   31   20    4    4    4 263  1347  1172  1027   236
 1  1  9  49    0  95    0    0 1013 10  8   28   25   12   15   30   36   29   14   12   12 301  3965  3255  1082   673
 1  1 10  62    0  91    0    0 1013 10  7   40   36   17   17   31   37   34   24   17   17 307  5736  4687  1041  1005
 1  1 11  77    0  85    0    0 1013 10  7   70   62   29   29   46   56   56   46   29   29 314 10048  8072  1743  1803
```

Fig. 4.2 - Folha de dados climáticos do SolTerm para o Porto.

Para ser possível utilizar os dados importados do SolTerm foi necessário proceder a umas modificações. Para isso foi utilizado o programa Microsoft Office Excel criando-se três ficheiros distintos, representados na figura 4.3, correspondentes à temperatura, radiação global e radiação difusa.

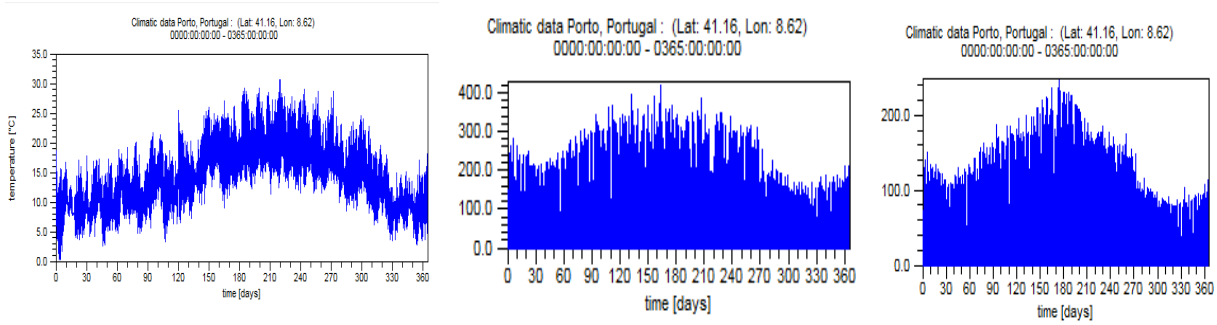


Fig. 4.3 - Funções FTE, FSG e FSD usadas pelo CAPSOL para o Porto.

4.3.2. Parâmetros de cálculo

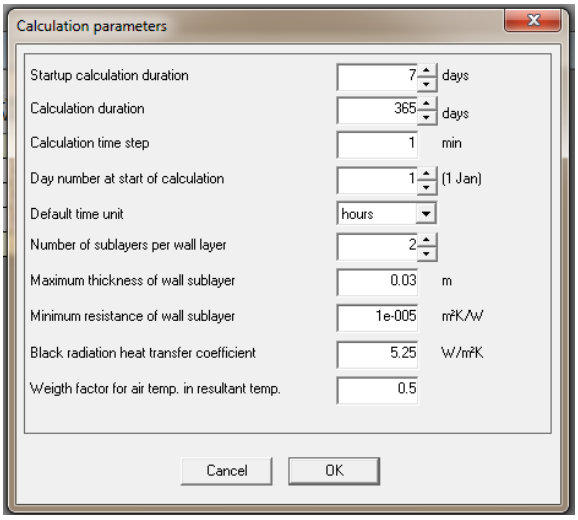


Fig. 4.4 - Parâmetros de cálculo.

Os parâmetros de cálculo que são introduzidos neste passo, demonstrado na figura 4.4, vão afetar o processo de cálculo:

- **Duração do cálculo prévio**: número de dias que o CAPSOL irá simular antes do dia definido para o início da simulação, de forma a obter valores dinâmicos iniciais. Considerou-se uma pré-simulação de 7 dias;
- **Duração do cálculo:** o cálculo tem uma duração de 365 dias;
- **Intervalos de cálculo:** intervalo de cálculo adotado pelo programa através do método das diferenças finitas de Crank-Nicolson. Foi escolhido o valor de 1 minuto de forma a evitar flutuações exageradas dos valores registados para as temperaturas na caixa de ar do módulo;
- **Dia de início da simulação**: Iniciou-se o cálculo no dia 1 de Janeiro;
- **Número de subcamadas por cada camada de parede:** Considerou-se duas subcamadas para cada camada de parede;
- **Espessura máxima de uma subcamada:** Adotou-se a espessura máxima de 0.03m. Quanto menor for este valor maior será o número de resistências consideradas para simular uma camada de um dado elemento;
- **Resistência térmica mínima de cada subcamada**: O valor recomendado é de 1E-5 m^2 K/W. Para prevenir erros de cálculo é considerado durante o cálculo um valor mínimo para a resistência de cada camada;
- **Black radiation heat transfer coefficient:** A transferência da radiação infravermelha é linearizada. O valor para este coeficiente, dependente da temperatura média das superfícies envolvidas, foi admitido de 5.25 W/m^2 K tendo em conta uma temperatura média das superfícies em estudo de 12ºC;
- **Coeficiente de ponderação usado para a temperatura do ar, no cálculo da temperatura resultante**: Valor usado no cálculo da temperatura de conforto, tomando o valor de 0.5.

Os valores considerados foram definidos segundo o recomendado no CAPSOL Pilot book [9].

4.3.3. Propriedades de cada zona

O CAPSOL é um programa de cálculo baseado na transferência de calor entre diferentes zonas. Uma zona é definida como um fluido contínuo isotérmico, assim é necessário dividir a cavidade de ar em diferentes zonas, de forma a ter em conta a estratificação térmica.

					Steady-state calculation							Dynamic calculation		
Zone	**Name**	Type	V [m³]	ρc [J/m³K]	θ-w [°C]	Qfree-w [W]	n-w [1/h]	θ-s [°C]	Qfree-s [W]	n-s [1/h]	Ventilation zone	θ [°C]	Ir [W/m²]	Qfree [W]
1	exterior	**ES**	-	1200	0	-	-	30	-	-	-	**T01**	**I00**	-
2	E1	**IV**	0.045	1200	0	0	0	0	0	0	**NIHIL**	-	-	**P00**
3	E2	**IV**	0.045	1200	0	0	0	0	0	0	**NIHIL**	-	-	**P00**
4	E3	**IV**	0.045	1200	0	0	0	0	0	0	**NIHIL**	-	-	**P00**
5	interior	**E**	-	1200	18	-	-	25	-	-	-	**T05**	-	-

Fig. 4.5 - Exemplo das propriedades básicas de cada zona a simular.

Cada zona pode ser interior (I) ou exterior (E), como representado na figura 4.5.

- **Exterio**r: zona exterior solar com temperatura conhecida (ES). A temperatura é determinada pela função T0X que representa os valores médios horários da temperatura na zona climática em estudo. A função I00 representa a radiação infravermelha que é aplicada em todas as superfícies adjacentes à zona solar, tomando um valor nulo nas simulações realizadas, visto a sua definição apenas ser correta em casos onde se estuda uma superfície horizontal.

E1, E2 ,E3: Estas zonas representam o terço inferior, médio e superior da caixa de ar do módulo, respetivamente, como pode ser notado na Fig. 4.9. Foram consideradas zonas interiores baseadas num modelo com fatores de forma, com temperatura desconhecida. O seu volume é dependente da espessura da caixa de ar do módulo.

- **Interior**: Como não se pretende estudar em detalhe o ambiente no interior da habitação, este foi definido como uma zona exterior com temperatura conhecida e constante, mas sem volume definido, de forma a simplificar o processo de cálculo.

A temperatura interior é determinada pela função T0Y que assume o valor de 18ºC na estação de aquecimento e 25ºC na estação de arrefecimento.

4.3.4. Parâmetros da zona Solar

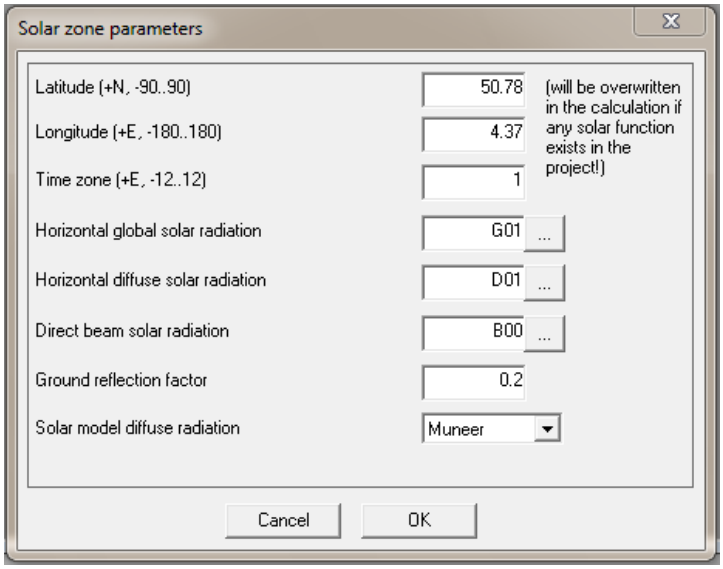


Fig. 4.6 – Introdução dos parâmetros da zona solar.

Na janela representada na Fig. 4.6 são definidas as características referente à zona solar.

A **Latitude, Longitude e o fuso horário** são obtidos diretamente através da informação contida nas funções solares.

A **radiação horizontal global, a radiação horizontal difusa e a radiação solar direta** já foram definidas em 4.3.1.

O **fator de reflexão do solo** admitiu-se um valor de 0.2, representativo de um solo normal.

Quanto ao **modelo solar** existem dois modelos de cálculo disponíveis, o isotrópico e o de Muneer. No modelo de Munner, mais complexo mas mais preciso, a radiação difusa numa superfície é derivada da radiação horizontal difusa tendo em conta vários parâmetros como a inclinação da parede, a visibilidade do Sol, a nebulosidade, entre outros.

4.3.5. Definição de limites ou "Walls"

As "walls" como são designadas no manual do CAPSOL são um elemento multicamada entre duas zonas, representativo de uma parede, pavimento, teto.

Para a configuração do elemento construtivo deve-se especificar a sequência, as características e a espessura das diferentes camadas, conforme ilustrado na figura 4.7.

As propriedades dos diferentes materiais utilizados nas simulações foram: condutibilidade térmica (λ), resistência térmica (R), densidade (ρ), capacidade calorífica (c), coeficiente de transmissividade (τs) , emissividade ($\varepsilon 1s$ e $\varepsilon 2s$), coeficiente de absorção ($\alpha 1s$ e $\alpha 2s$) e reflexão ($\rho 1s$ e $\rho 2s$).

iso+suporte

side1 => side2												side 1			
No.	Name	Type	Pat	d [m]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	Nu [-]	hrb [W/m²K]	τs [-]	αs1ir [-]	ρs1 [-]	**αs1s [-]**	αs2ir [-]
1	ps extruded	NORMAL		0.04	0.035	1.143	25	1470	-	-	0	0.60	0.00	1.00	0.00
2	reboco	NORMAL		0.012	1.200	0.010	900	850	-	-	0	0.00	0.00	1.00	0.00
3	brickwork_1200	NORMAL		0.22	0.450	0.489	1200	850	-	-	0	0.00	0.00	1.00	0.00
4	reboco	NORMAL		0.012	1.200	0.010	900	850	-	-	0	0.00	0.00	1.00	0.90

Fig. 4.7 - Exemplo das características do isolamento e do suporte

O coeficiente transmissividade toma valor nulo para materiais opacos.

As últimas três propriedades são definidas para ambas as faces de cada material, daí a sua designação.

Estas têm que ser definidas pelo utilizador, sendo de extrema importância, com influência significativa no comportamento térmico do revestimento e, consequentemente, do sistema completo.

O programa tem uma base de dados de diferentes materiais, contudo podem ser adicionados novos materiais.

Uma zona a ter especial atenção é a caixa de ar do módulo. Procedeu-se a uma divisão da estrutura do sistema em dois elementos distintos, evidente na figura 4.8. Um elemento que separa o clima exterior da caixa de ar e outro elemento que separa a caixa de ar do espaço interior.

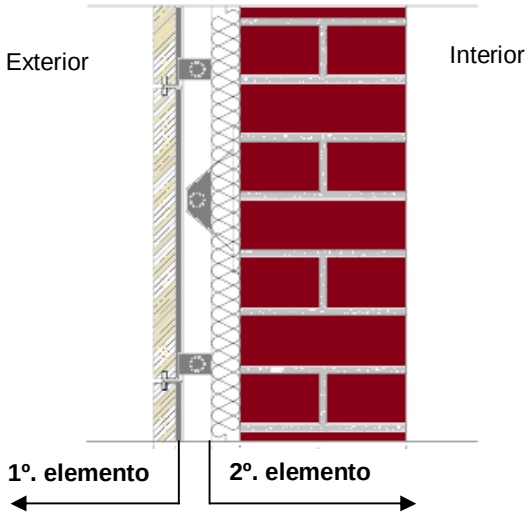


Fig. 4.8 - Separação do sistema construtivo [7].

Para melhor traduzir o efeito vertical do gradiente da temperatura e porque o CAPSOL assume zonas isotérmicas, a caixa de ar foi dividida em 3 zonas, visível na figura 4.9.

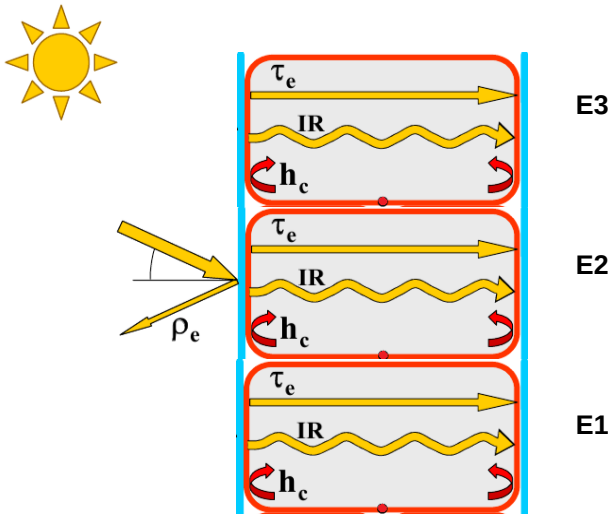


Fig. 4.9 - Divisão da caixa de ar em três zonas [14].

4.3.6. Controle de ventilação

Apesar de o CAPSOL ser um modelo térmico a ventilação pode ser simulada de duas formas distintas. Pode ser admitido um caudal de ventilação horário de volume constante ou então simular o caudal provocado pelo efeito chaminé dentro da caixa de ar do módulo (*multilateral ventilation controls).*

Vamos optar por calcular o caudal pela segunda via, visto traduzir mais fielmente o que se passa na realidade.

O princípio usado para simular a estratégia de ventilação devido ao efeito chaminé consiste na utilização de uma série de controlos com o intuito de reproduzir, de forma relativamente próxima, o fluxo de ar calculado por um modelo de ventilação. Este princípio pressupõe que o fenómeno seja linear, o que não acontece na realidade, no entanto a diferença entre os dois métodos é aceitável, visto serem usados uma série de controlos.

Apesar de a ação do vento ter influência não é possível conjugar o efeito chaminé com a acção do vento através deste método, pois a sua combinação nunca é um fenómeno linear.

Os controlos no CAPSOL permitem a manipulação do comportamento térmico do sistema de forma a ser atingida uma determinada temperatura alvo. A temperatura alvo é a temperatura que após atingida no ponto de medição irá alterar o estado de um determinado controlo. Um controlo é ativado ou desativado consoante a temperatura registada num sensor localizado num ponto ou numa zona.

Os dados necessários para definir um controlo são:

Sensor point: o ponto ou local de controlo da temperatura;

θ Target: a função que define a temperatura alvo no sensor;

Purpose: objetivo do controlo, função de aquecimento ou arrefecimento.

No caso da fachada ventilada simulada temos apenas uma entrada e uma saída de ar, onde este circula devido ao efeito chaminé.

O ar apresenta o seguinte trajeto: **Exterior → E1 → E2 → E3 → Exterior**. Como mencionado, um controlo pode ter o propósito de arrefecimento ou aquecimento.

Controlos com função de aquecimento obedecem ao seguinte princípio:

– Temperatura no sensor < temperatura alvo → o controlo é ligado;

– Temperatura no sensor > temperatura alvo → o controlo é desligado,

Controlos com a função de arrefecimento seguem a lógica inversa.

Foi definida uma temperatura alvo elevada de 80ºC, constante ao longo do ano.

O ponto de monitorização da temperatura é a zona E3 da caixa de ar do módulo, correspondendo portanto ao topo do módulo onde a temperatura do ar será maior.

Como a temperatura em E3 nunca atinge o valor da temperatura alvo, 80 ºC, o controlo permanece sempre ativo, tendo em conta o princípio de aquecimento explanado.

De modo a verificar-se se o controlo se encontra ligado ou desligado é necessário definir uma zona de controlo, conforme demonstrado na figura 4.10. Para simular o efeito chaminé o CAPSOL irá comparar a diferença de temperatura entre a primeira zona no percurso de ventilação, o exterior, e a temperatura na zona de controlo, zona E2 correspondente ao terço médio da caixa de ar do módulo.

Esta diferença de temperatura é representada pelo parâmetro Δθmin e o controlo só é ativado se for verificada a seguinte condição:

- Temperatura exterior ≤ temperatura na zona de controlo - Δθmin.

								Power			Sunshade		Ventilation			
No.	Sensor point	θ target	Sens ↑ [°C]	Sens ↓ [°C]	Purpose	t min ON [min]	t min OFF [min]	Ctrl. type	In point	Q max [V/]	τ [min]	In wall	Ctrl. walltype	Qm [m³/h]	Ventilation path	Ctrl. Δθ ON/OFF	Δθmin [°C]	Ctrl. zone
1	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						5.47	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	0.2	E2
2	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						3.18	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	0.5	E2
3	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						3.59	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	1	E2
4	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						2.75	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	1.5	E2
5	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						2.32	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	2	E2
6	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						2.04	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	2.5	E3
7	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						1.85	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	3	E3
8	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						1.7	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	3.5	E2
9	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						1.58	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	4	E2
10	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						1.48	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	4.5	E2
11	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						1.4	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	5	E2
12	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						1.34	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	5.5	E2
13	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						1.28	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	6	E2
14	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						1.22	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	6.5	E2
15	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						1.18	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	7	E2
16	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						1.14	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	7.5	E2
17	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						1.1	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	8	E2
18	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						1.07	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	8.5	E2
19	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						1.03	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	9	E2
20	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						1.01	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	9.5	E2
21	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						0.98	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	10	E2
22	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						0.96	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	10.5	E2
23	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						0.93	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	11	E2
24	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						0.91	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	11.5	E2
25	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						0.89	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	12	E2
26	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						0.87	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	12.5	E2
27	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						0.86	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	13	E2
28	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						0.84	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	13.5	E2
29	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						0.83	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	14	E2
30	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						0.81	exterior ▶ E1 ▶ ...	ON	14.5	E2
31	E3	T04	0	0	COOLING	0	0	VENTILATION						0.8	exterior ▶ E1 ▶	ON	15	E2

Fig. 4.10 – Definição de controlos para simular o efeito chaminé na caixa de ar

O caudal foi calculado usando um modelo de ventilação construído em Excel pela equipa do CAPSOL e que tenta simular de forma simplificada o efeito chaminé numa cavidade, ilustrado na figura 4.11. Este modelo apenas é válido em regime laminar.

Os inputs necessários são:

- **Θ interior** [ºC];
- **Θ exterior** [ºC];
- **H** - altura da cavidade [m];
- **D** - espessura da cavidade [m];
- **L** - largura da cavidade [m];
- **hi** - altura das entradas de ar [m];
- **ξi** – coeficiente de vazão, tomando o valor 0.5 no local de entrada e 1 no local de saída.

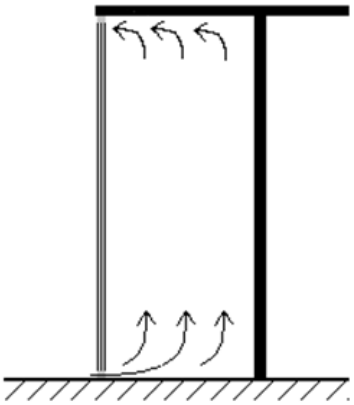


Fig. 4.11 - Esquema de ventilação [9]

Foi necessário fazer um ajuste ao modelo de forma a traduzir resultados mais fidedignos, já que esta folha foi desenvolvida para um caso de uma fachada ventilada transparente onde o gradiente térmico entre a caixa de ar e o clima exterior pode assumir valores mais díspares.

No caso de uma fachada opaca, objeto do caso de estudo, a diferença de temperatura entre o clima exterior e a caixa de ar não será tão acentuada pelo que se considerou útil definir a sensibilidade dos controlos com valores mais plausíveis. O processo de cálculo não sofreu alterações, apenas os valores de Δθ foram definidos manualmente e não através de uma função.

As alterações encontram-se patentes na tabela 4.1.

A definição dos caudais correspondentes a cada aumento de temperatura é calculada pela equação:

$$Qm = b * |\Delta\Theta|^{0.5}$$

Onde:

- Qm: caudal [m^3/h];
- ΔΘ: diferença de temperatura interior-exterior [ºC];
- b: coeficiente dependente das características geométricas da cavidade.

Tabela 4.1- Alterações ao modelo ventilação em excel

Controlo	$\Delta\Theta$ [°C]	Q_m [m^3/h]	ΔQ_m [m^3/h]
1	0,2	5,47	5,47
2	0,5	8,65	3,18
3	1	12,24	3,59
4	1,5	14,99	2,75
5	2	17,31	2,32
6	2,5	19,35	2,04
7	3	21,20	1,85
8	3,5	22,90	1,70
9	4	24,48	1,58
10	4,5	25,96	1,48
11	5	27,37	1,40
12	5,5	28,71	1,34
13	6	29,98	1,28
14	6,5	31,21	1,22
15	7	32,38	1,18
16	7,5	33,52	1,14
17	8	34,62	1,10
18	8,5	35,69	1,07
19	9	36,72	1,03
20	9,5	37,73	1,01
21	10	38,71	0,98
22	10,5	39,66	0,96
23	11	40,60	0,93
24	11,5	41,51	0,91
25	12	42,40	0,89
26	12,5	43,27	0,87
27	13	44,13	0,86
28	13,5	44,97	0,84
29	14	45,80	0,83
30	14,5	46,61	0,81
31	15	47,41	0,80
32	15,5	48,19	0,78
33	16	48,96	0,77
34	16,5	49,72	0,76
35	17	50,47	0,75
36	17,5	51,20	0,74
37	18	51,93	0,73
38	18,5	52,65	0,72
39	19	53,35	0,71
40	19,5	54,05	0,70

Como se pode observar pela Tabela 4.1um incremento de temperatura de 0,5ºC foi definido para cada controlo. Ou seja, por cada meio grau de diferença entre a temperatura exterior e a temperatura na caixa de ar do módulo um controlo é ativado. Assim sendo, quanto maior for a diferença de temperatura entre os dois elementos, maior o caudal de ventilação que irá percorrer a caixa de ar . Como tal, um maior número de controlos estará ativo, pois sempre que a diferença de temperatura aumentar 0,5ºC é ativado mais um controlo.

4.3.7. Potencialidades de saída

Os dados de saída estão compilados num relatório elaborado pelo programa, tanto em formato gráfico como numérico, para posterior tratamento pelo utilizador.

Exemplificando, pode ser requerido a temperatura numa zona ou interface, o somatório da quantidade de calor transmitido por condução, convecção e radiação, o caudal de ventilação médio que entra proveniente do exterior, a configuração da ventilação do módulo num determinado momento.

5

SIMULAÇÕES: ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

5.1. INTRODUÇÃO

O objetivo do presente trabalho é simular o comportamento térmico de uma fachada ventilada fazendo variar alguns parâmetros, de forma a relacioná-los e a identificar qual a sua influência no comportamento do sistema.

Foram testados 4 sistemas construtivos para duas zonas, Porto e Évora.

O período de simulação considerado foi de um ano, no entanto foi dado ênfase a dois períodos específicos. No período de aquecimento e no período de arrefecimento foi analisada a sequência de sete dias de maior pico da temperatura no isolamento, visto traduzir condições extremas.

No cálculo estático estabeleceu-se como temperatura operativa interior 18ºC e 25ºC para as estações de aquecimento e arrefecimento, respetivamente.

Apesar das potencialidades da simulação numérica, é preciso prestar atenção aos dados de entrada e à interpretação dos resultados, já que algumas propriedades dos materiais são de determinação mais complexa.

5.1.1. Análise dos modelos

Todos os valores apresentados são relativos a um módulo com 1 metro de largura e 2.70 de altura, traduzindo um pé-direito, visível na figura 5.1.

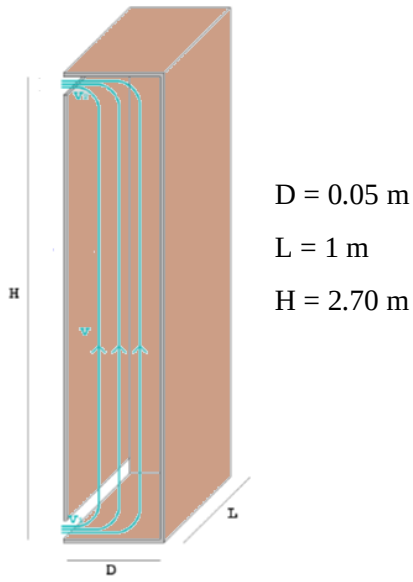


Fig. 5.1 - Esquema de ventilação [6].

O suporte e o isolamento térmico da fachada não sofreram alteração nas diversas simulações, uma vez que se queria identificar a influência do sistema utilizado nas camadas exteriores, estando as suas propriedades apresentadas no quadro A espessura da caixa de ar foi mantida constante, igualmente, visto não alterar significativamente o volume de ar que entra no módulo nem a respetiva velocidade de entrada ou saída. Influencia porém, a velocidade de circulação no interior da cavidade o que pode provocar uma maior taxa de arrefecimento do ar [8].

Um esquema do sistema de fachada apresenta-se na figura 5.2.

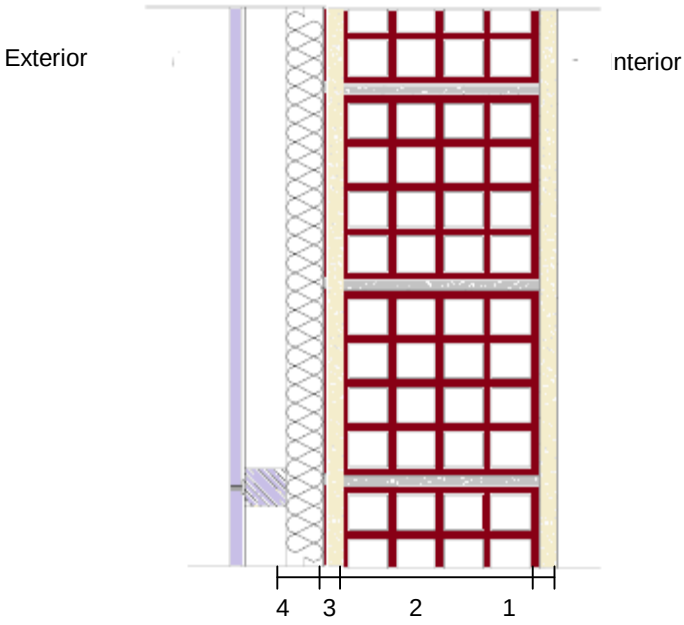


Fig. 5.2 - Esquema do sistema fachada ventilada [8].

Quadro 5.1 – Propriedades do suporte e isolamento da fachada ventilada

	Posição	Elemento	e [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m^3]	c [J/kgK]
Suporte	1	reboco	0.015	1.2	900	850
	2	alvenaria de tijolo	0.22	0.45	1200	850
	3	reboco	0.012	1.2	900	850
Isolamento	4	*XPS*	0.06	0.037	25	1470

5.1.2. Sistema ETICS

O crescimento forte da aplicação da solução ETICS em Portugal nos últimos anos deve-se em grande parte à sua utilização no revestimento de fachadas em reabilitação, tendo grande aplicação, igualmente, em obra nova. A crescente preocupação com o aspeto visual e estético da fachada valorizou esta alternativa.

Este sistema é constituído por placas de poliestireno moldado expandido, fixadas ao suporte, revestidas por um reboco delgado, ilustrado na figura 5.3. Este é aplicado em várias camadas, armado com rede de fibra de vidro. Como acabamento é utilizado um revestimento plástico.

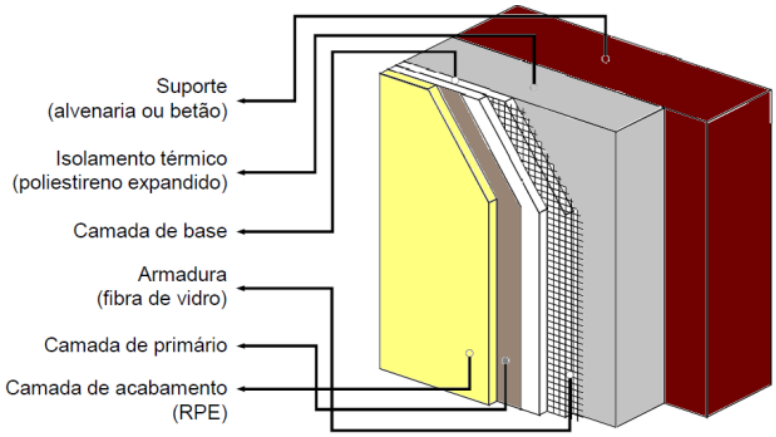


Fig. 5.3- Constituição do sistema ETICS [5].

Dada a sua importância e popularidade, considerou-se pertinente analisar este sistema e compará-lo com a fachada ventilada.

Apresenta-se na figura 5.4 e quadro 5.2 as características do sistema ETICS simulado.

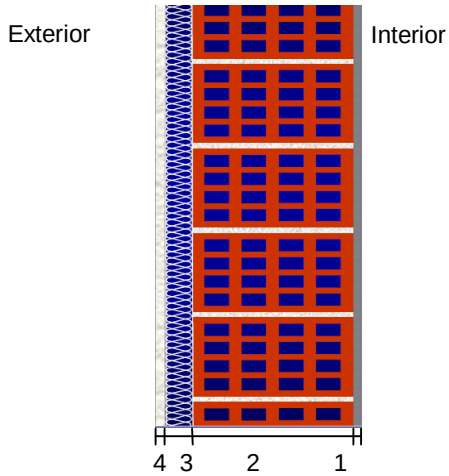


Fig. 5.4 - Esquema do sistema ETICS [5].

Quadro 5.2 –Propriedades dos elementos do sistema ETICS.

	Posição	*Elemento*	*e [m]*	*λ [W/mK]*	*ρ [kg/m^3]*	*c [J/kgK]*
Suporte	1	reboco	0.015	0.2	850	850
	2	tijolo de alvenaria	0.2	0.9	1800	850
Isolamento	3	*EPS*	0.075	0.038	20	1470
Camada base+acabamento	4	reboco	0.01	0.8	1900	850

5.1.3. Descrição das simulações efetuadas

Neste subcapítulo procura-se avaliar a influência da alteração das características da fachada analisando-se a sua variação ao longo do tempo. Mais concretamente foram realizadas simulações numéricas em que se pretende avaliar:

- A influência da orientação;
- A influência da introdução de um material de características diferentes na face interior do revestimento;
- A influência das características do revestimento;
- A influência da emissividade e do coeficiente de absorção solar do revestimento.

De modo a que fosse possível relacionar convenientemente as diferentes soluções, todos os sistemas testados possuem praticamente o mesmo coeficiente de transmissão térmica de 0.42 W/m^{2}K.

5.1.3.1. Revestimentos

Como já foi referido, a fachada é constituída por elementos que não sofrem alterações das suas características ao longo das simulações, nomeadamente, caixa de ar, isolamento e suporte.

Quanto ao revestimento foram testados dois elementos diferentes, granito e cerâmico, ambos de utilização corrente no sistema de fachadas ventiladas. Quanto à solução de granito foram estudadas duas variantes, apenas a pedra granito e granito revestido com uma película de alumínio na sua face interior, traduzidos na tabela 5.1.

Tabela 5.1 -Características dos materiais utilizados no revestimento.

Elemento	**Espessura [m]**	**λ [W/mK]**	**ρ [kg/m^3]**	**c [J/kgK]**
Granito	0.03	3.5	2500	840
Alumínio	0.0015	230	2700	880
Cerâmico	0.03	1.3	2300	840

5.1.3.2. Emissividade e coeficiente de absorção

A emissividade da superfície traduz a relação entre a radiação emitida pela superfície real e a radiação emitida por um corpo negro à mesma temperatura.

Notar que a emissividade varia com a direção de emissão, com o comprimento de onda e, também, com a temperatura. Assim, há materiais em que a emissividade varia significativamente.

O valor da emissividade depende da natureza da superfície, isto é, dos acabamentos superficiais, que por sua vez são influenciados pelos métodos de fabrico, pinturas, tratamentos térmicos.

A emissão ou a absorção das ondas eletromagnéticas é função da geometria da troca, da temperatura e das características do material de revestimento das superfícies.

Os coeficientes de absorção escolhidos foram 0.4 e 0.6, traduzindo uma superfície de cor branca e de tonalidade intermédia, conforme figura 5.5.

Cor	*a*
Clara (branco, creme, amarelo, laranja, vermelho-claro)	0,4
Média (vermelho-escuro, verde-claro, azul claro)	0,5
Escura (castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro)	0,8

Fig. 5.5 – Coeficiente de absorção da radiação solar [12].

5.1.3.3. Orientação da fachada

Foram simuladas as 4 orientações de forma a perceber qual o impacto que pode advir dessa escolha em termos térmicos.

Apresenta-se no quadro 5.2 as variantes de cada solução estudada, tidos em conta conforme o manual fornecido pela equipa do CAPSOL.

Tabela 5.2 – Tabela resumo com as características simuladas.

Revestimento	***Solução***	***Emissividade***	***Coeficiente de absorção***	***U [W/m²K]***
Granito	Gra 0.4	0.96	0.4	0.417
	Gra 0.6		0.6	
Granito revestido a alumínio pelo interior	Gra+al 0.4	granito-0.96 alumínio polido-0.05	granito-0.4	
	Gra+al 0.6		granito-0.6	
Cerâmico	Cer 0.4	0.9	0.4	
	Cer 0.6		0.6	
ETICS	ETICS 0.4	0.88	0.4	0.419
	ETICS 0.6		0.6	

5.2. ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise foi dividida para os períodos de aquecimento e arrefecimento para ambas as localizações, Évora e Porto, com o objetivo de perceber quais as soluções que funcionam melhor em cada situação.

Vai ser analisada a pior sequência de 7 dias para ambos os períodos.

Estudaram-se 8 soluções para as 4 orientações. As diferentes orientações vão ser discutidas individualmente para melhor compreender a influência da orientação no comportamento dos sistemas estudados. Por forma a tornar mais percetível as diferenças exibidas na temperatura no isolamento foi reduzida a escala de análise para o pior dia da sequência estudada.

Foi considerada uma temperatura operativa interior de 18ºC na estação de aquecimento e 25 ºC na estação de arrefecimento.

A temperatura estudada será na face exterior do isolamento, visto as soluções de fachada ventilada e ETICS terem um valor do coeficiente de transmissão térmica praticamente igual.

5.2.1. Análise para a cidade de Évora

Como cenário base foi escolhida para Évora a solução Gra 0,4 orientada a sul, visível na figura 5.6.

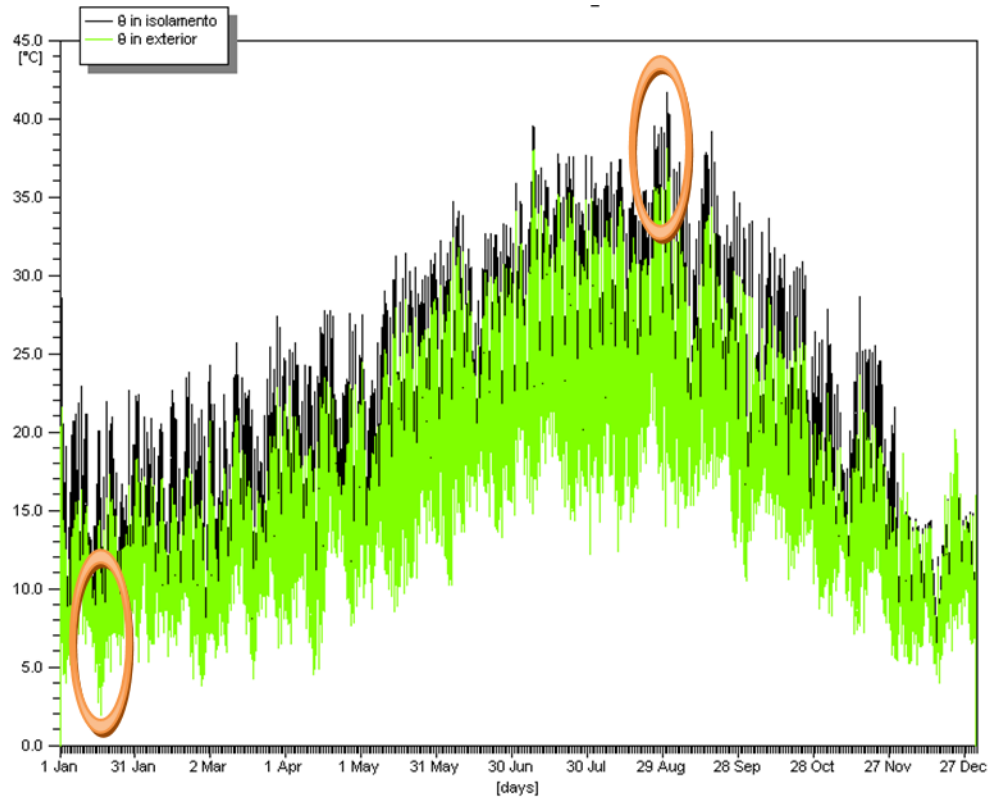


Fig. 5.6 – Variação anual da temperatura exterior e do isolamento para o cenário base.

A partir da análise do Fig. infere-se que a sequência de sete dias em que se verificam as temperaturas mais baixas pertencem ao intervalo de 13 a 19 de janeiro, apresentado na figura 5.7.

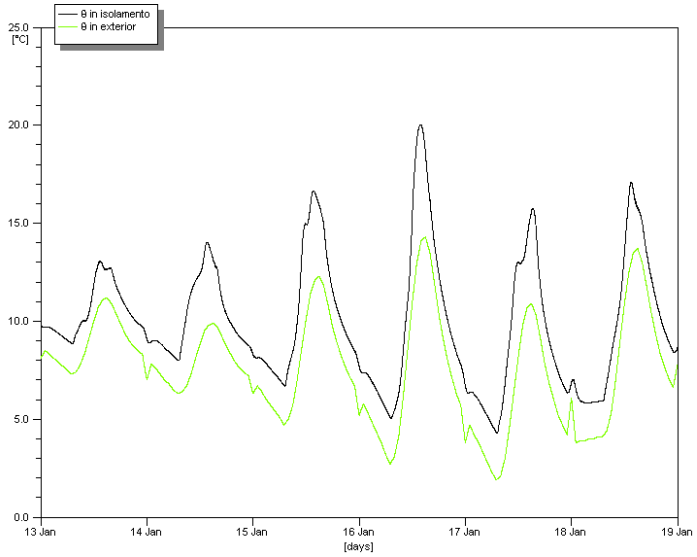


Fig. 5.7 – Sequência de dias em que temperatura exterior toma valores mais baixos para o cenário base.

Para a estação de arrefecimento a sequência de sete dias em que se verificam as temperaturas mais altas pertencem ao intervalo de 26 de Agosto a 1 de Setembro.

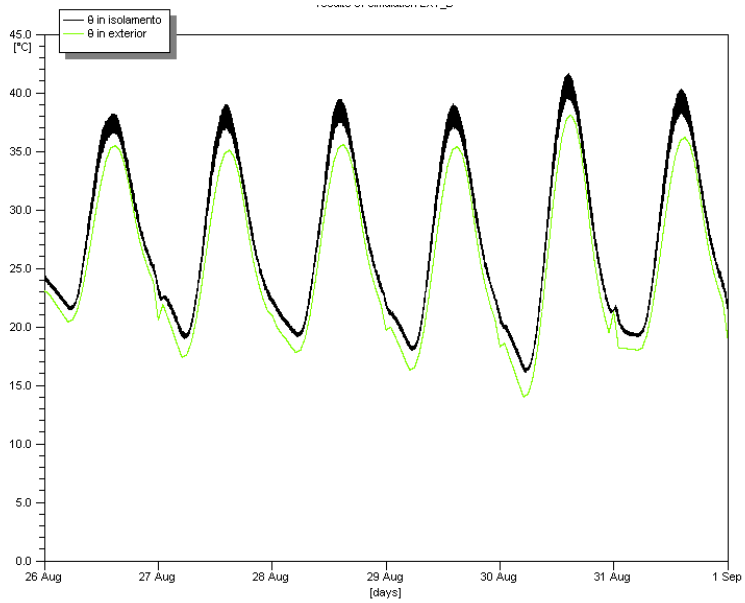


Fig. 5.8 - Sequência de dias em que temperatura exterior toma valores mais elevados para o cenário base.

5.2.1.1. Estação de Aquecimento em Évora

– Fachadas orientadas a **norte**

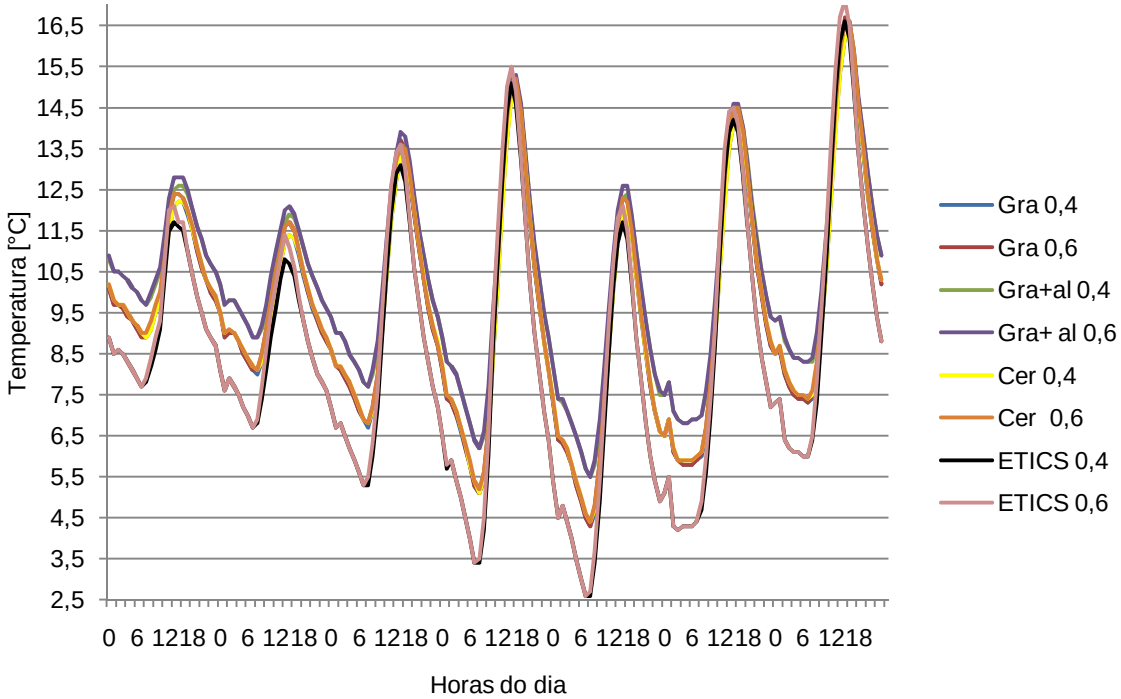


Fig. 5.9 - Temperaturas no isolamento para a orientação norte de 13 a 19 de janeiro.

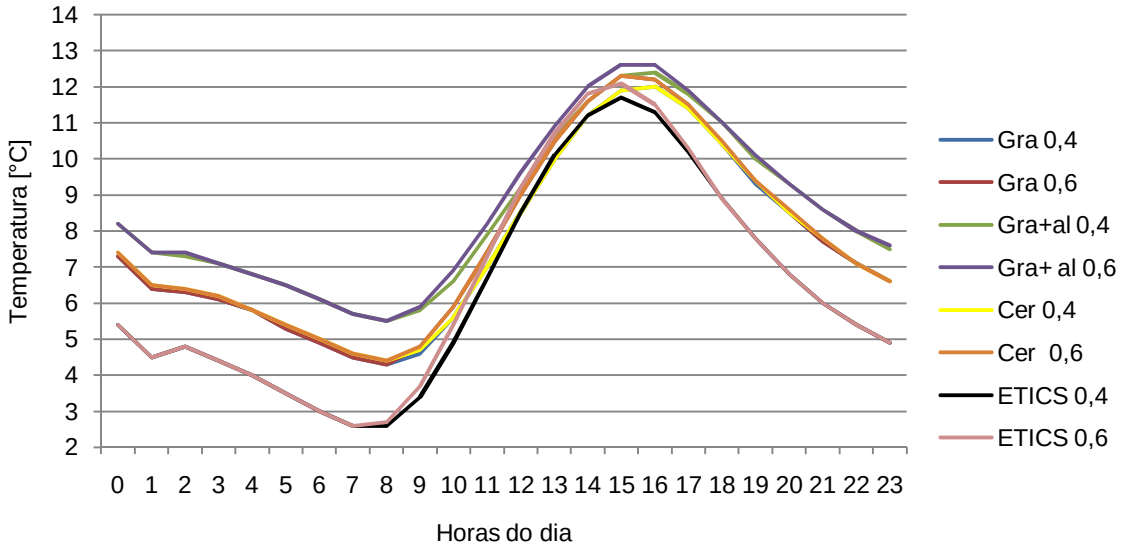


Fig. 5.10- Temperaturas no isolamento para a orientação norte no pior cenário, dia 17 de janeiro.

O *ETICS* é a solução que apresenta as temperaturas mais baixas no isolamento, chegando aos 2,6 ºC, sendo a solução que sofre as maiores amplitudes térmicas.

A solução de granito revestida com uma película de alumínio polido com um coeficiente de absorção de 0,6 apresenta as temperaturas mais elevadas, chegando a atingir os 16,6 ºC no dia 19 de janeiro. Apresenta como temperatura mínima o valor de 5,5 ºC.

Assim, o diferencial no pico de temperaturas baixas é bastante considerável entre as duas soluções.

Verifica-se que a variação do coeficiente de absorção não provoca alterações expressivas para uma mesma solução do sistema de fachada. Para a orientação norte na estação de aquecimento as soluções com coeficiente de absorção 0.6 apresentam nos picos de temperatura mais elevada uma divergência na ordem dos 0.4 ºC, nomeadamente das 12 às 15 horas.

– Fachadas orientadas a **este**

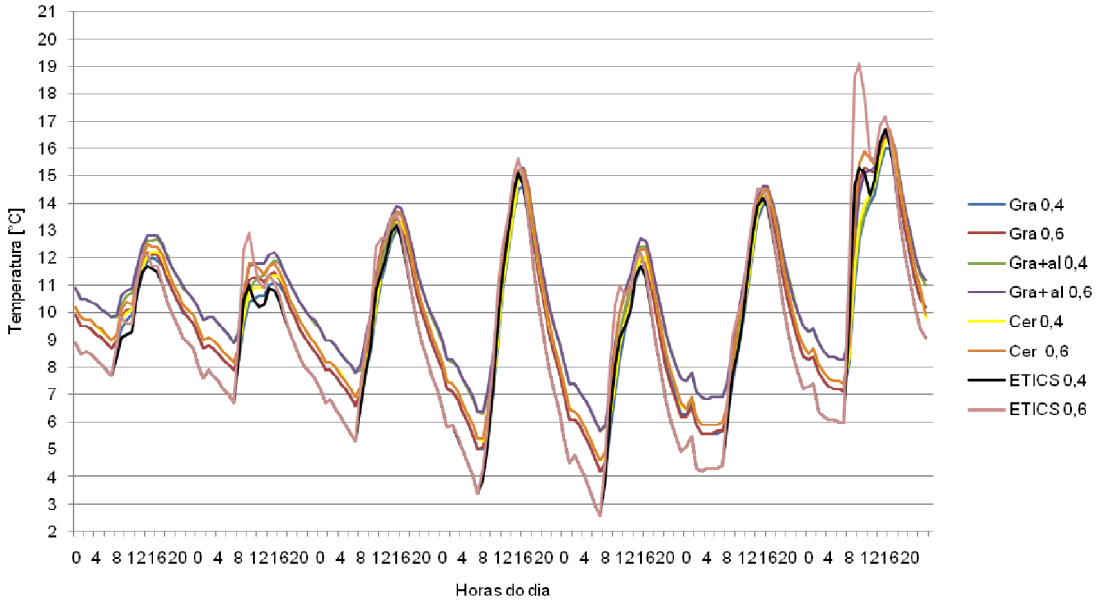


Fig. 5.11-Temperaturas no isolamento para a orientação este de 13 a 19 de janeiro.

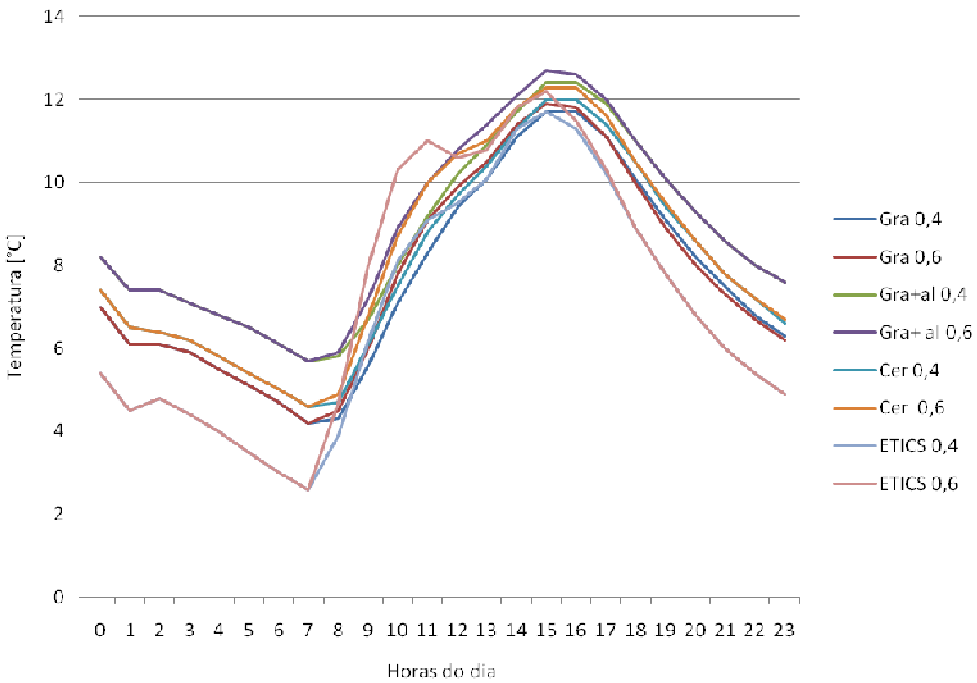


Fig. 5.12- Temperaturas no isolamento para a orientação este no pior cenário, dia 17 de janeiro.

O comportamento é idêntico ao que se passa nas fachadas orientadas a norte, no entanto o período de tempo em que se verificam temperaturas mais baixas é inferior.

Os valores da temperatura atingidos no isolamento são ligeiramente superiores em todas as soluções. Nos picos de temperatura mais alta os vários cenários aproximam-se mais.

– Fachadas orientadas a **sul**

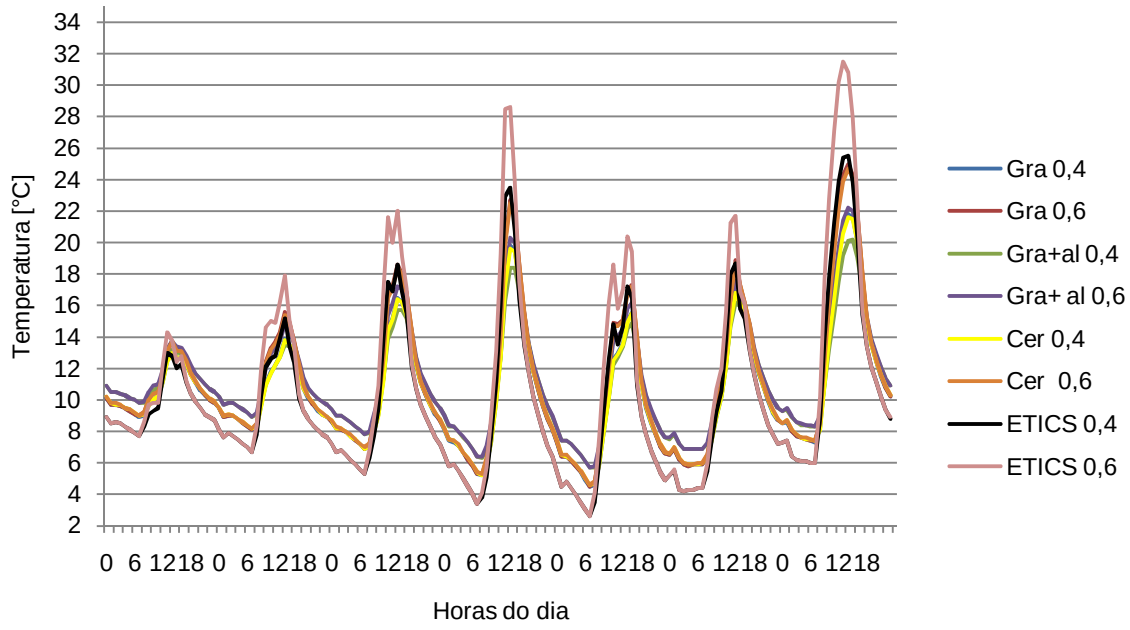


Fig. 5.13- Temperaturas no isolamento para a orientação sul de 13 a 19 de janeiro.

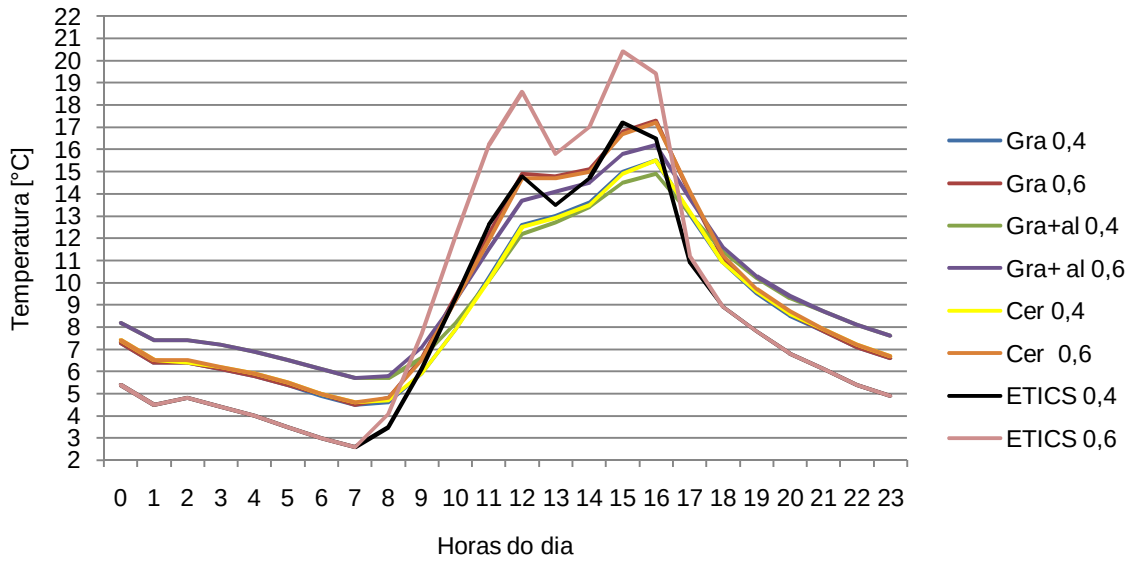


Fig. 5.14- Temperaturas no isolamento para a orientação sul no pior cenário, dia 17 de janeiro.

O sistema *ETICS* manifesta a mesma tendência, ou seja é a solução que se encontra sujeita a maiores amplitudes térmicas.

As temperaturas mais elevadas são bastante superiores com a solução *ETICS* 0,6 a atingir os 31,5 ºC no dia 19 de janeiro.

As temperaturas mínimas são similares.

– Fachadas orientadas a **oeste**

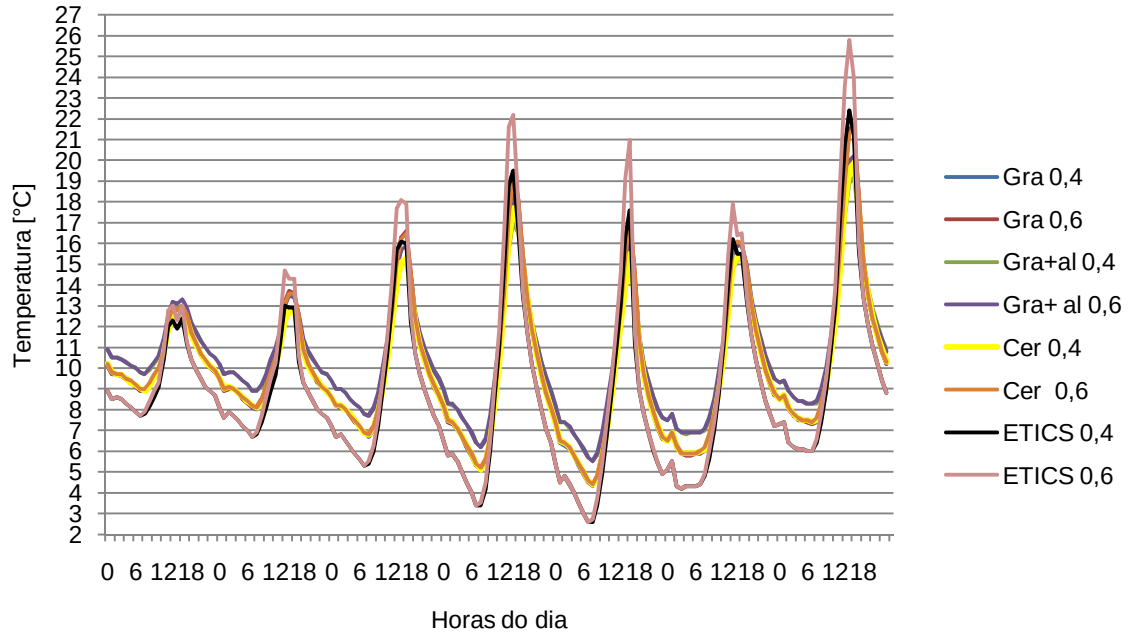


Fig. 5.15- Temperaturas no isolamento para a orientação oeste de 13 a 19 de janeiro.

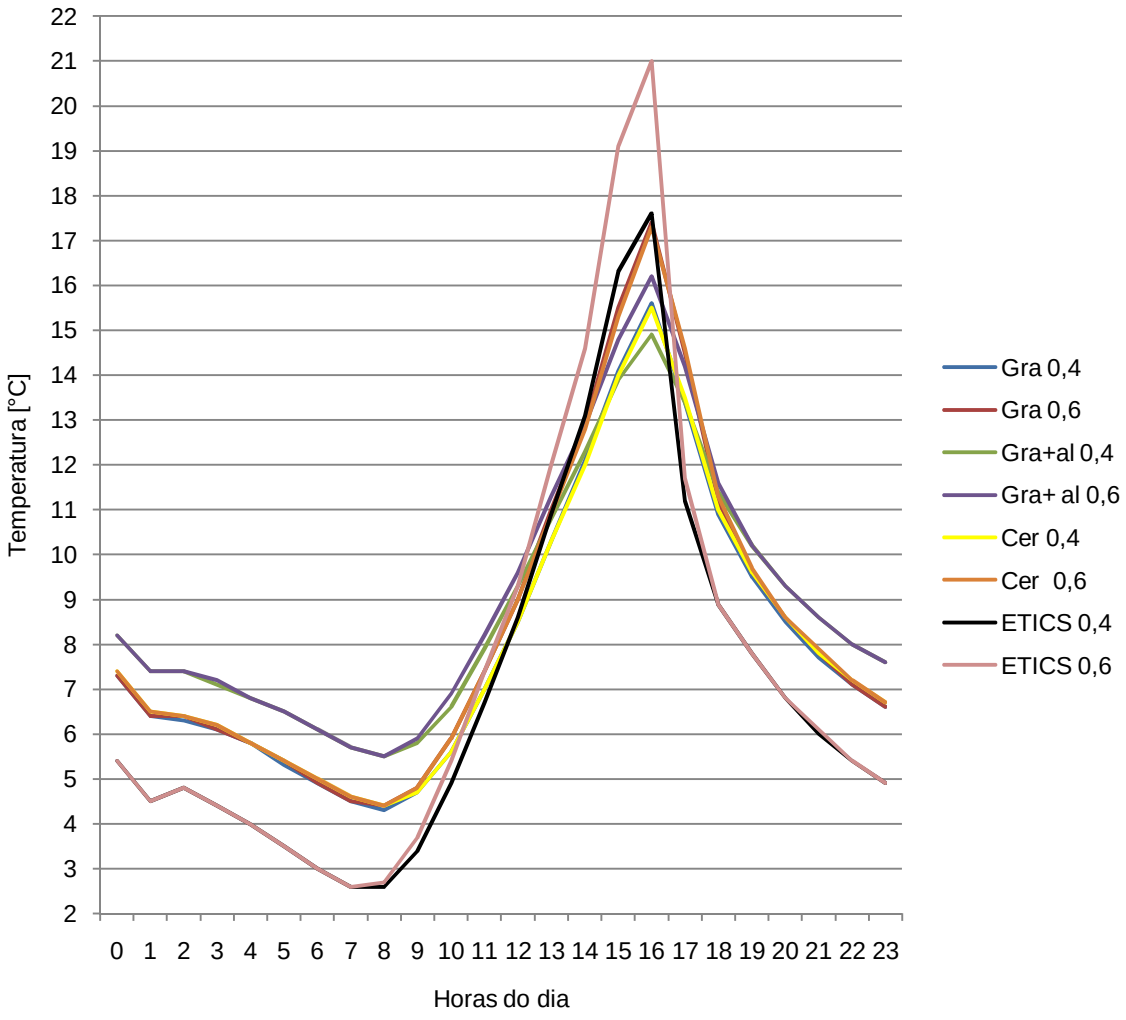


Fig. 5.16- Temperaturas no isolamento para a orientação oeste no pior cenário, dia 17 de janeiro.

As temperaturas máximas atingidas são inferiores à orientação Sul, com um valor de 25,8 ºC exibida pela solução *ETICS* 0,6.

A solulção *ETICS* apresenta, mais uma vez, amplitudes térmicas muito mais significativas.

Apesar de a solução de cerâmicos apresentar temperaturas superiores comparativamente com as restantes soluções de fachadas ventiladas, a solução de granito revestido a alumínio polido pelo interior do revestimento apresenta as menores amplitudes térmicas.

5.2.1.2. Estação de Arrefecimento em Évora

– Fachadas orientadas a **norte**

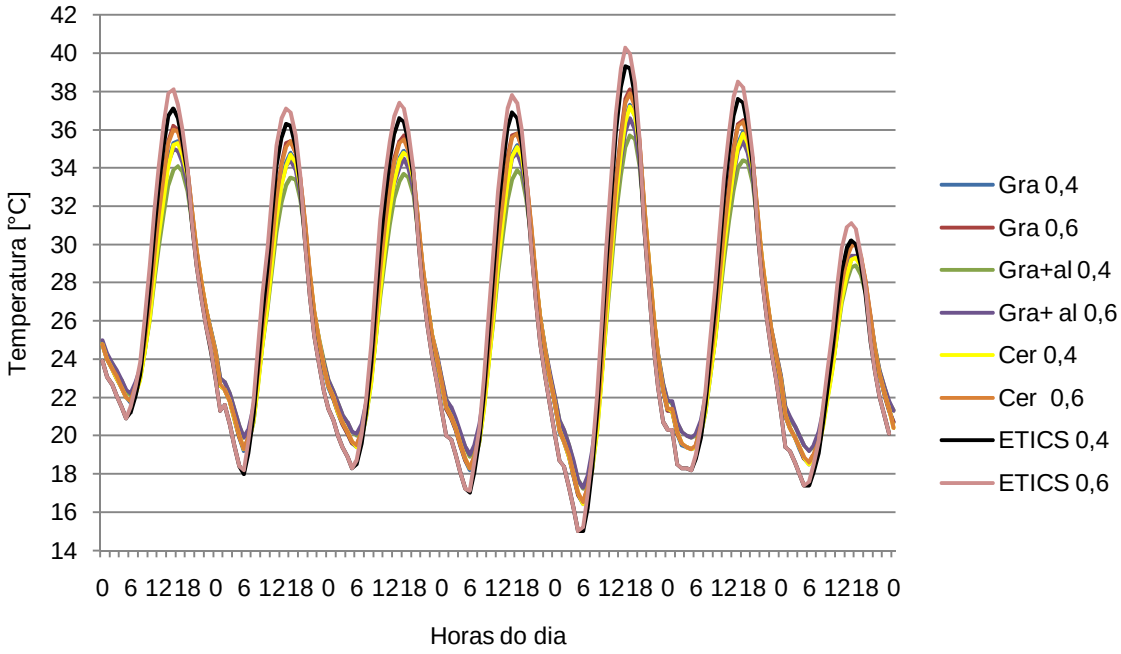


Fig. 5.17- Temperaturas no isolamento para a orientação norte de 26 de Agosto a 1 de Setembro.

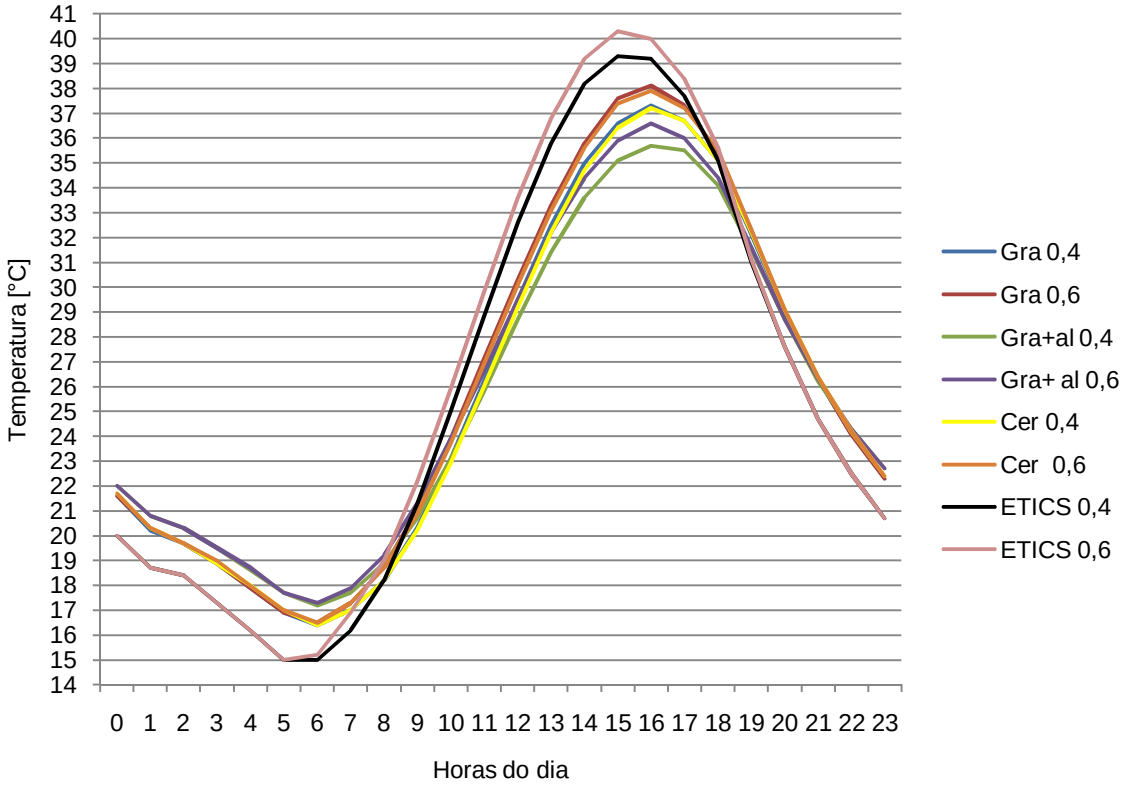


Fig. 5.18- Temperaturas no isolamento para a orientação norte no pior cenário, dia 30 de agosto.

Verificam-se temperaturas superiores a 25 ºC das 11 às 21 horas em todas as soluções, ou seja, neste intervalo de tempo o fluxo de calor direciona-se do exterior para o interior.

A solução de granito revestido a alumínio polido pelo interior do revestimento com coeficiente de absorção de 0,4 apresenta as menores amplitudes térmicas, atingindo os 35,7 ºC no dia 29 de agosto.

Para o mesmo dia, a solução de *ETICS* 0,6 atinge a temperatura mais elevada no isolamento com 40,3 ºC, exibindo uma diferença de 2,7 ºC para a solução de fachada ventilada com maior temperatura, Gra 0,6.

Variando o coeficiente de absorção as diferentes soluções tem um diferencial no pico de temperatura de 1º. C, aproximadamente.

– Fachadas ventiladas orientadas a **este**

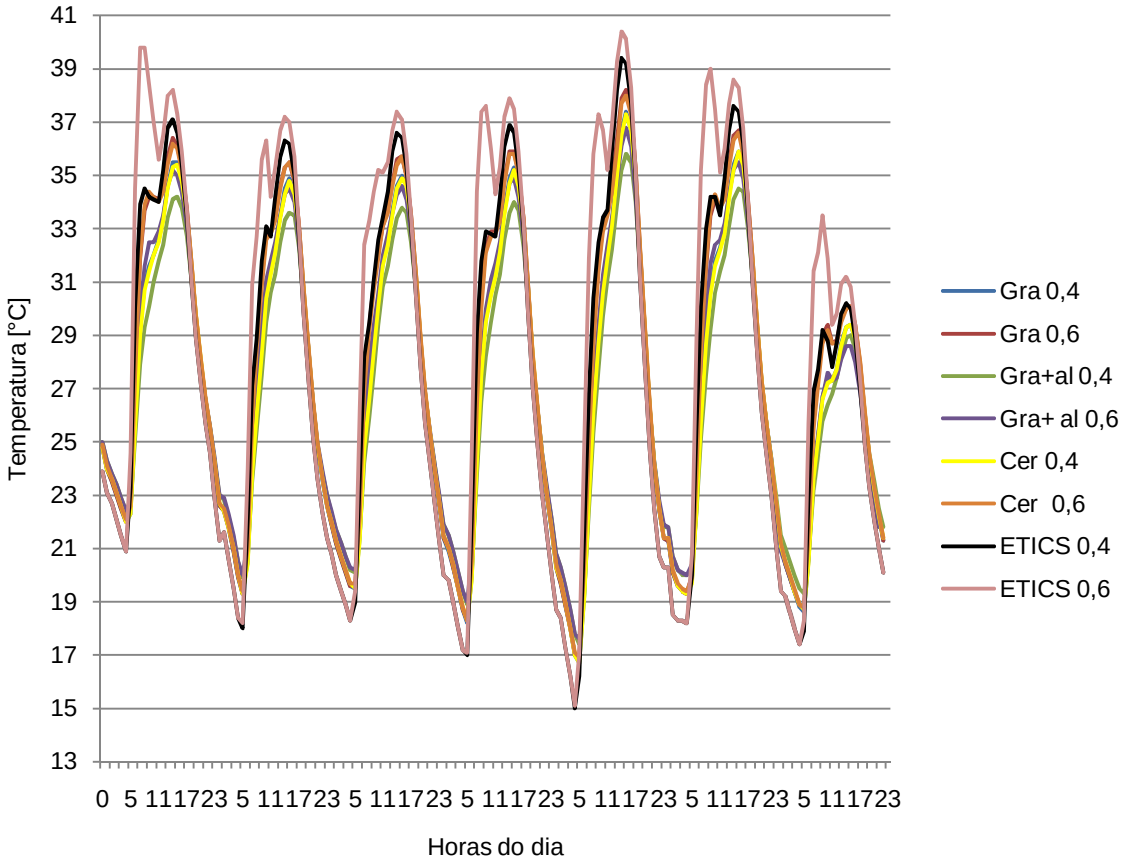


Fig. 5.19- Temperaturas no isolamento para a orientação este de 26 de Agosto a 1 de Setembro.

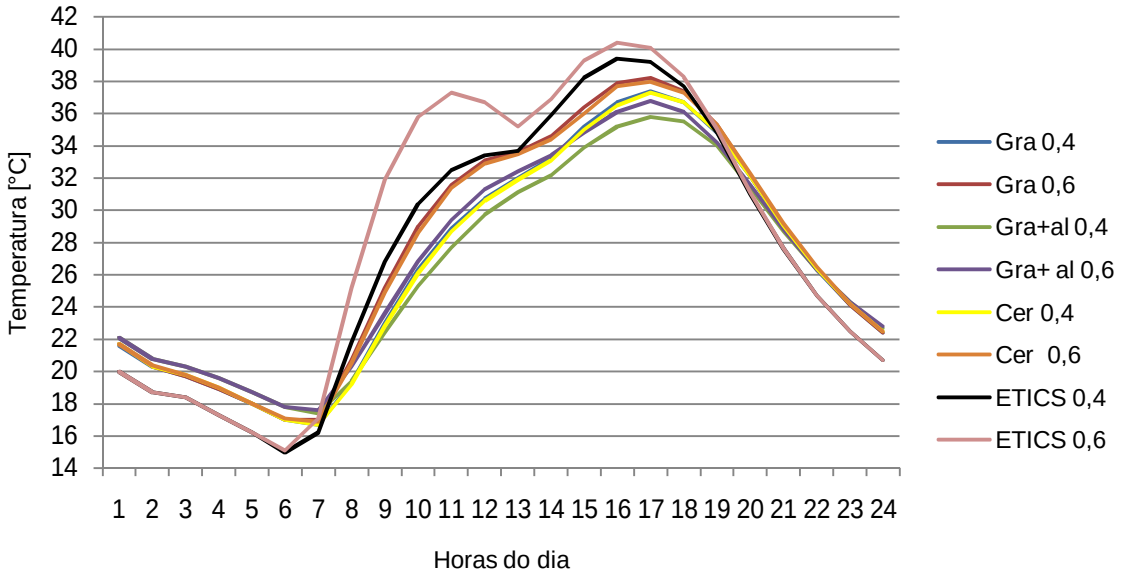


Fig. 5.20- Temperaturas no isolamento para a orientação este no pior cenário, dia 30 de agosto.

Entre as 11 e as 21 horas todos os casos exibem uma temperatura no isolamento superior a 25 ºC.

A solução de granito revestido a alumínio polido pelo interior do revestimento com coeficiente de absorção de 0,4 apresenta a melhor desempenho.

A solução de *ETICS* 0,6 atinge a temperatura mais elevada no isolamento com 40,4 ºC, exibindo uma diferença de 5,2 ºC para a solução de fachada ventilada Gra+al 0,4, valor muito relevante.

– Fachadas ventiladas orientadas a **sul**

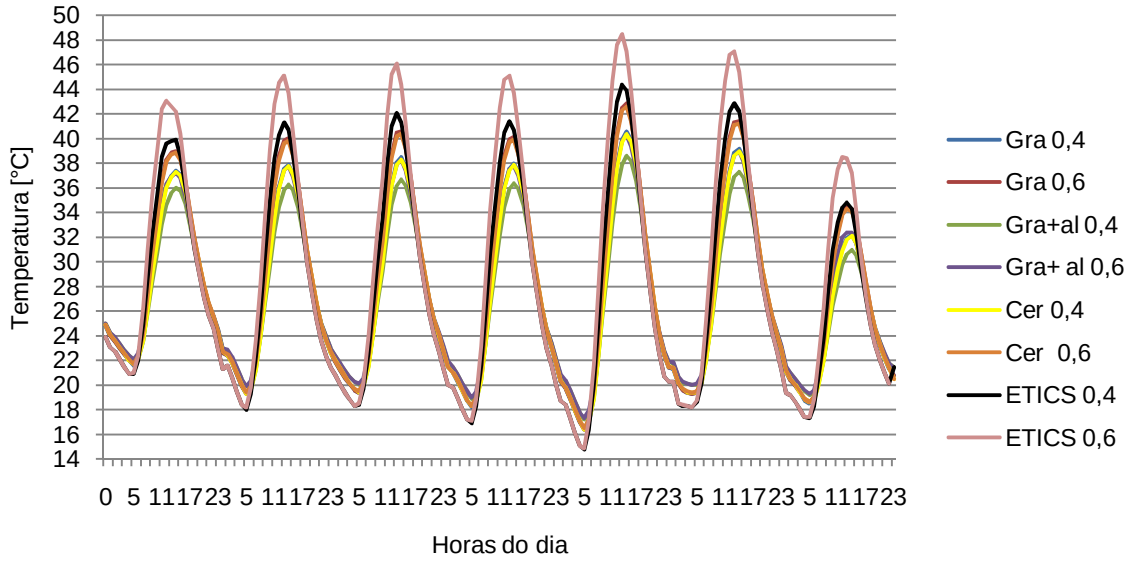


Fig. 5.21- Temperaturas no isolamento para a orientação sul de 26 de Agosto a 1 de Setembro.

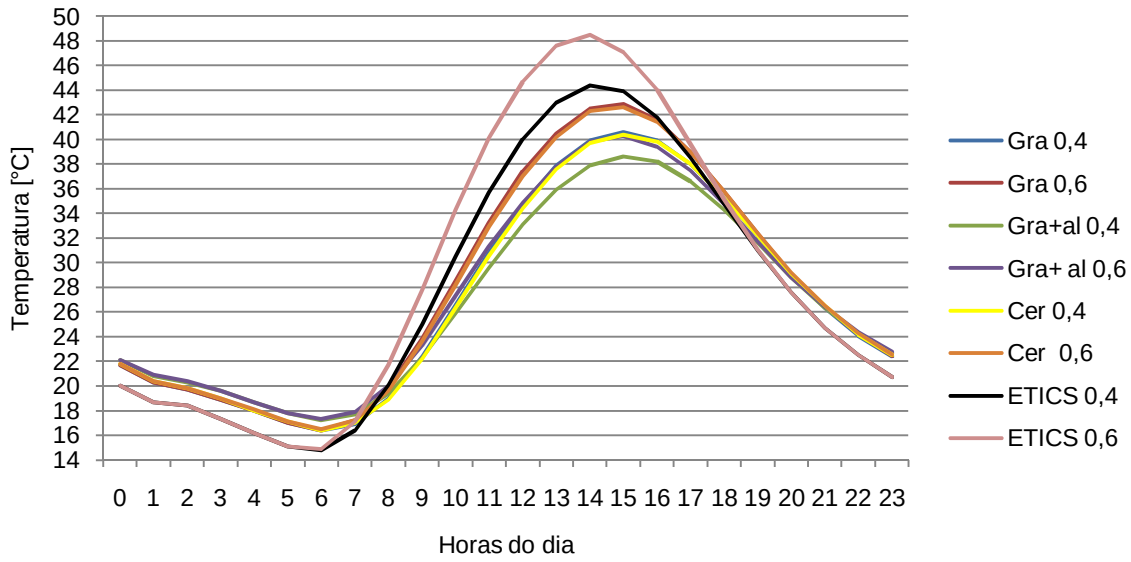


Fig. 5.22- Temperaturas no isolamento para a orientação sul no pior cenário, dia 30 de agosto.

A solução de granito revestido a alumínio polido pelo interior do revestimento apresenta as menores amplitudes térmicas, atingindo os 40,3 ºC.

Variando o coeficiente de absorção a solução de *ETICS* tem um diferencial no pico de temperatura máxima de 4,1 ºC, sendo mais atenuado nas outras soluções rondando os 2ºC.

A solução de *ETICS* 0,6 atinge os 48,5 ºC no isolamento, exibindo uma diferença de 6 ºC para a solução de fachada ventilada com maior temperatura, Gra 0,6.

De um modo geral, o fluxo de calor dirige-se para o interior da habitação, entre as 11 e as 21 horas.

– Fachadas ventiladas orientadas a **oeste**

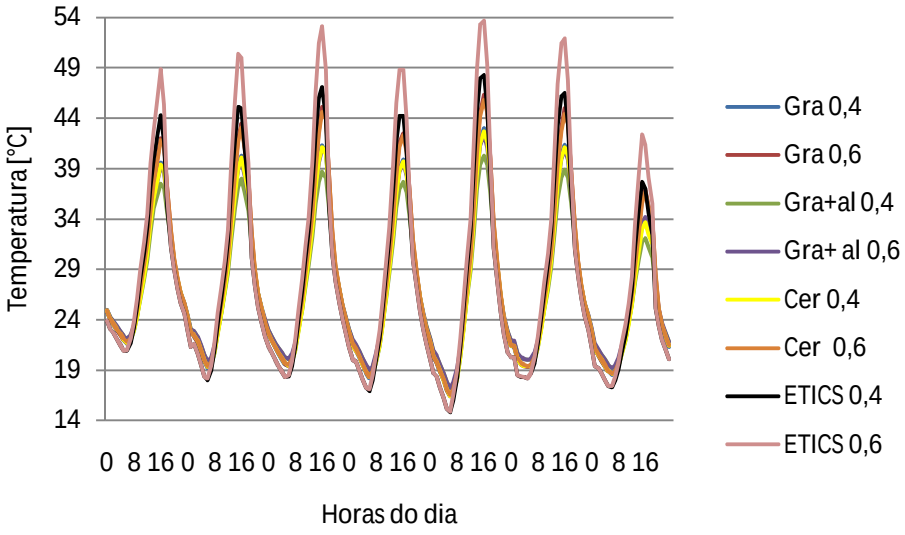


Fig.5.23 - Temperaturas no isolamento para a orientação oeste de 26 de Agosto a 1 de Setembro.

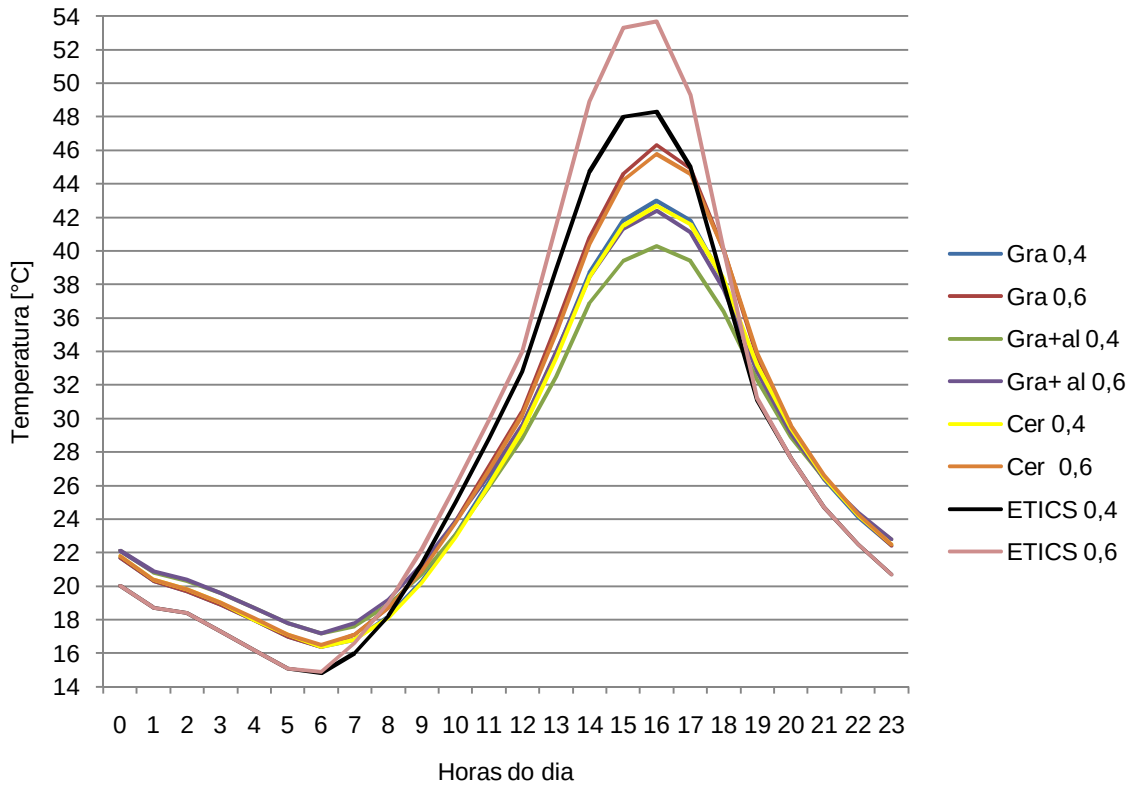


Fig. 5.24- Temperaturas no isolamento para a orientação oeste no pior cenário, dia 30 de agosto.

O cenário é semelhante ao que se passa na orientação sul em termos gerais, no entanto as temperaturas máximas atingidas são mais elevadas.

O pior desempenho corresponde ao sistema *ETICS* 0,6 com uma temperatura no isolamento de 53,7 ºC. Observa-se que a solução de fachada ventilada de granito revestida a alumínio pelo interior do revestimento atinge os 40,3 ºC, assim é notório a disparidade de temperaturas entre os sistemas supracitados.

Entre as 11 e as 21 horas a temperatura no isolamento é superior a 25 º C.

Nesta orientação é mais evidente a influência do coeficiente de absorção para a mesma solução, traduzindo-se em diferenças de temperatura mais claras. Para a mesma solução de *ETICS* o diferencial no pico de temperatura máxima é de 5,4 ºC. Tanto para a solução de granito como para a solução de cerâmicos a diferença ronda os 3 ºC, sendo inferior no granito revestido com alumínio, alcançando os 2,1 ºC.

5.2.2. Análise para a cidade do Porto

Para a cidade do Porto a solução adotada para o cenário base foi a mesma, no entanto o período onde se verificaram as temperaturas mais baixas pertencem ao intervalo de 2 a 8 de janeiro e 3 a 9 de julho, correspondendo à estação de aquecimento e arrefecimento, respetivamente.

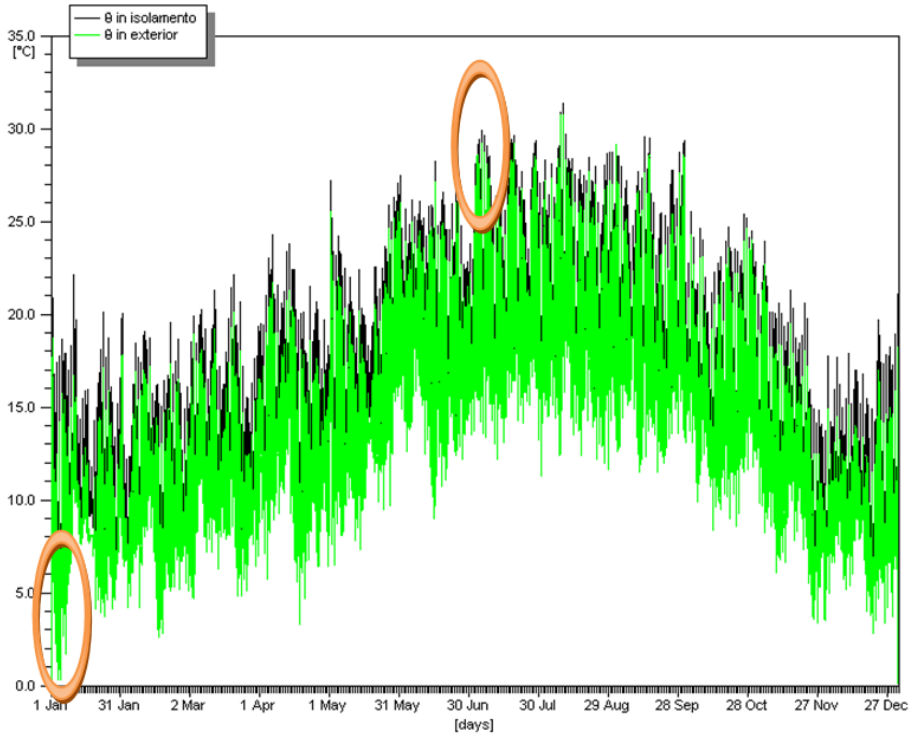


Fig. 5.25- Sequência de dias em que temperatura exterior toma valores mais elevados para o cenário base.

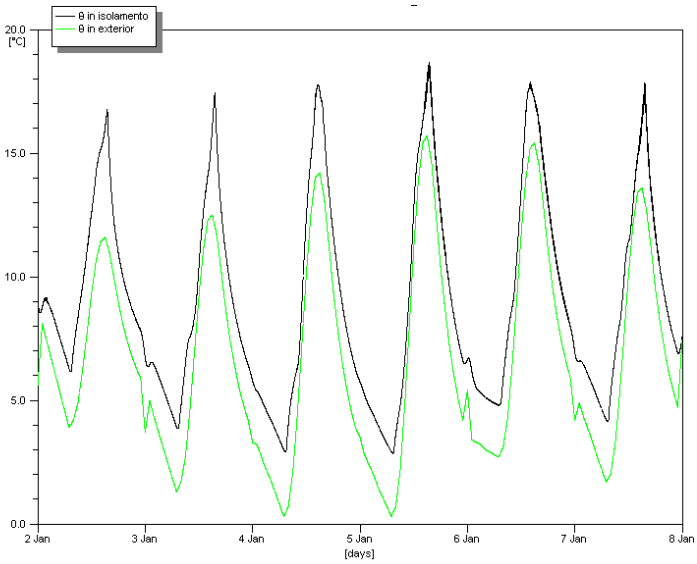


Fig. 5.27- Sequência de dias em que temperatura exterior toma valores mais baixos para o cenário base.

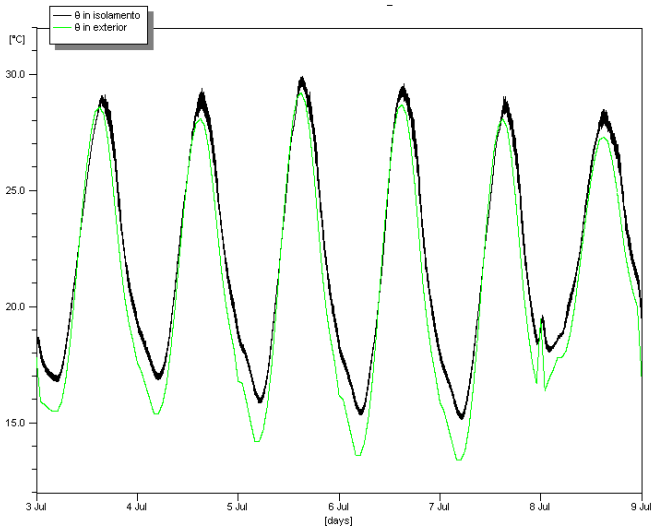


Fig. 5.28- Sequência de dias em que temperatura exterior toma valores mais elevados para o cenário base.

5.2.2.1. Estação de Aquecimento no Porto

- Fachadas orientadas a **norte**

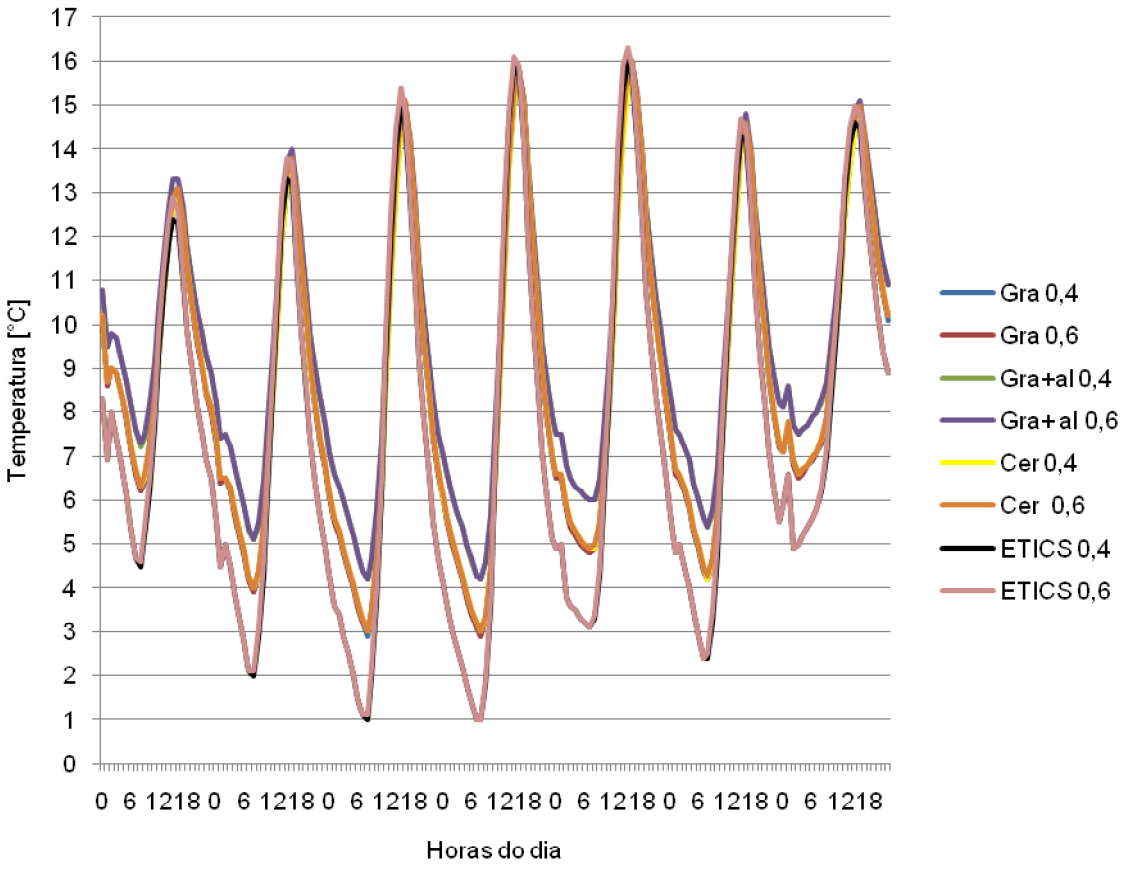


Fig. 5.29- Temperaturas no isolamento para a orientação norte de 2 a 8 de janeiro.

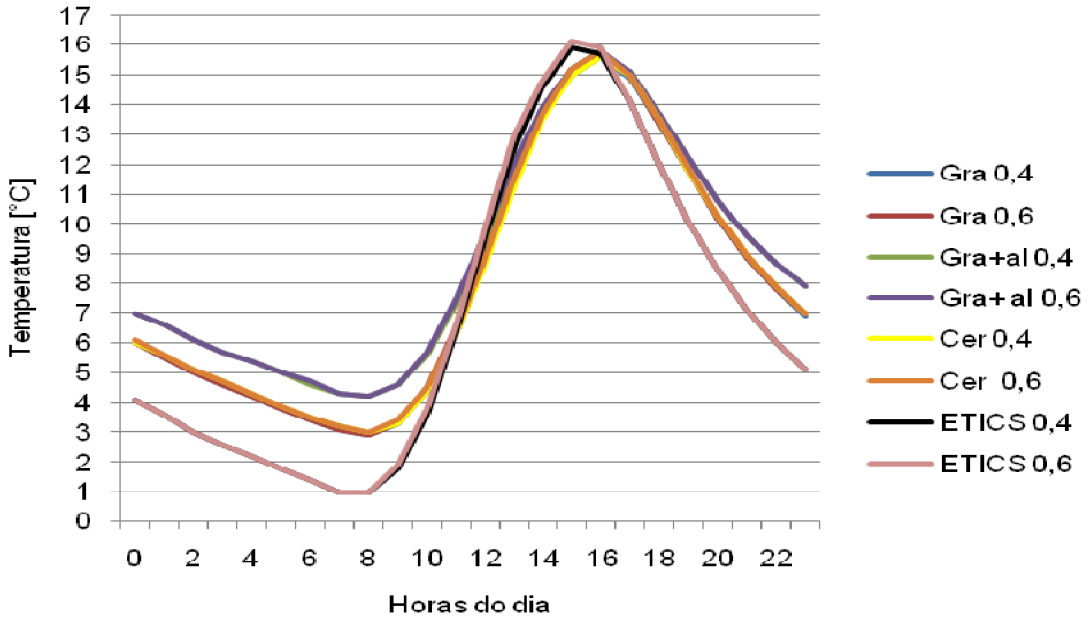


Fig. 5.30- Temperaturas no isolamento para a orientação norte no pior cenário, dia 5 de janeiro.

A solução de *ETICS* exibe simultaneamente as temperaturas mais baixas e altas, tendo como temperatura mínima no isolamento o valor de 1ºC.

As soluções de granito revestidas a alumínio polido demonstram o melhor comportamento, pois apresentam temperaturas mínimas e máximas globalmente mais elevadas, com uma temperatura mínima de 4,2 ºC.

Nos picos de temperatura máxima as soluções tendem a aproximar-se.

- Fachadas orientadas a **este**

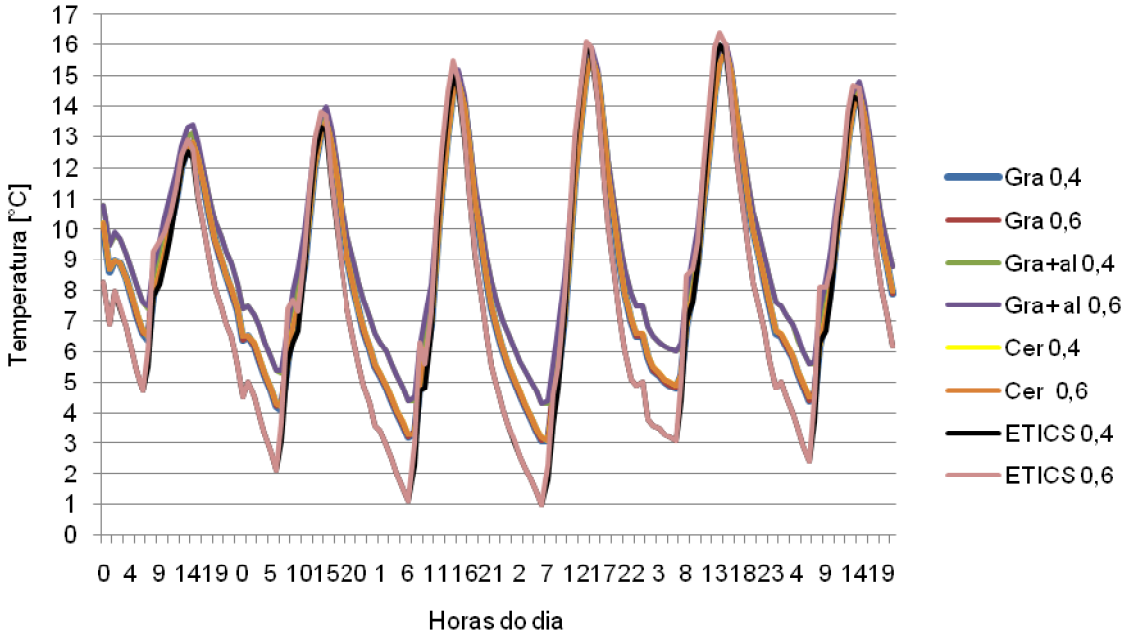


Fig. 5.31Temperaturas no isolamento para a orientação este de 2 a 8 de janeiro.

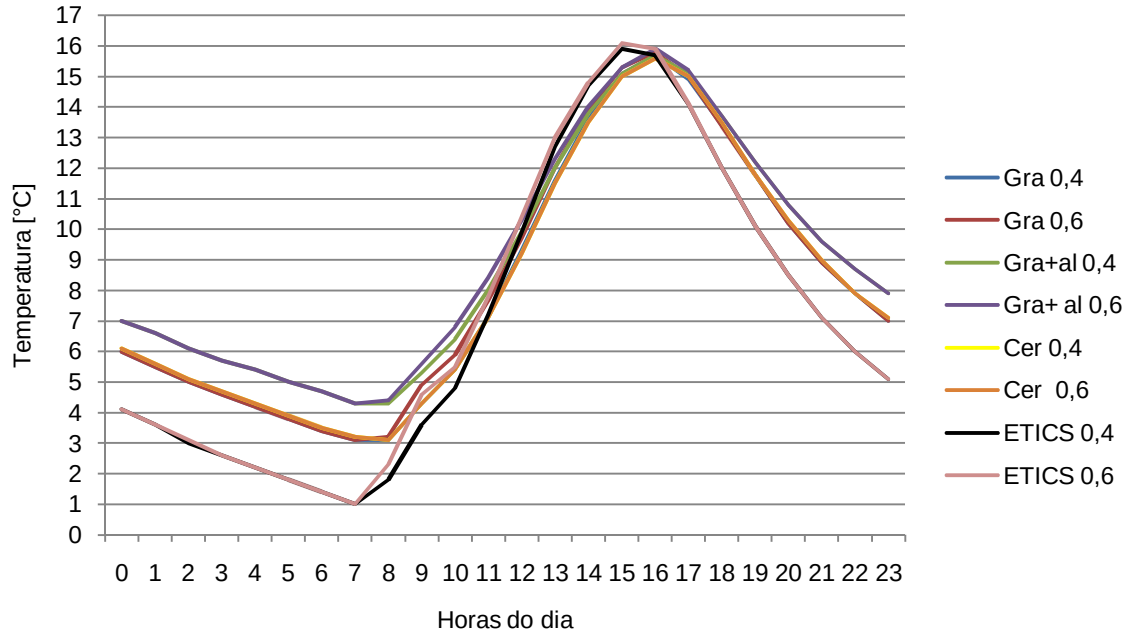


Fig. 5.32- Temperaturas no isolamento para a orientação este no pior cenário, dia 5 de janeiro

O comportamento é muito similar ao explanado para a orientação norte.

- Fachadas orientadas a **sul**

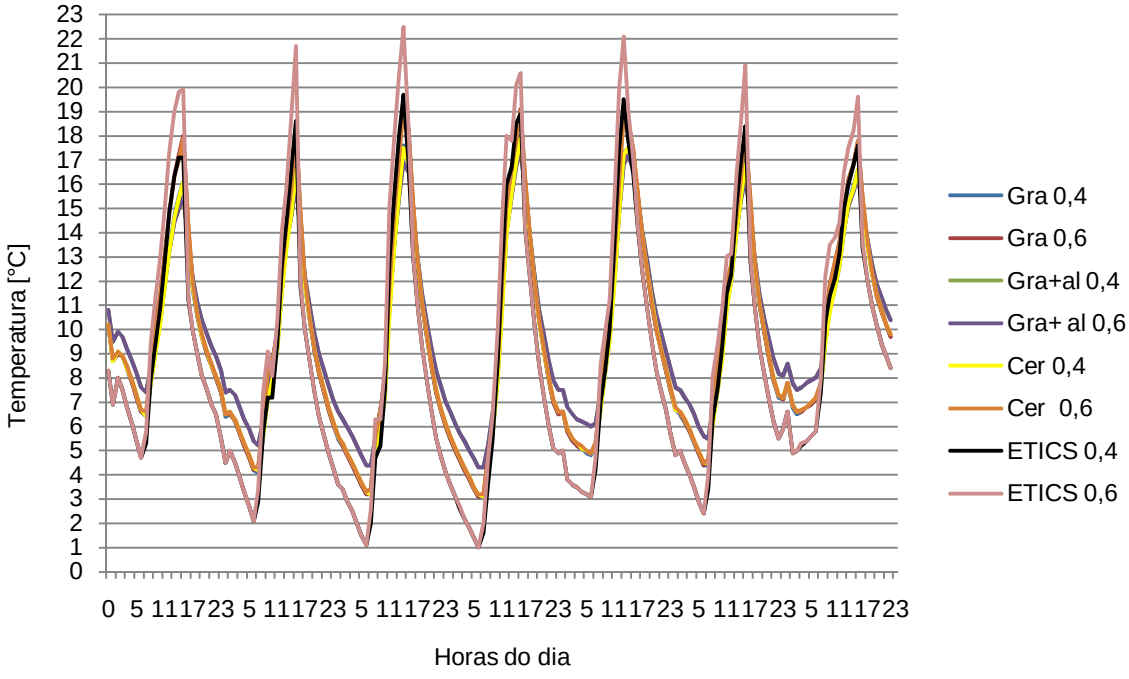


Fig. 5.33- Temperaturas no isolamento para a orientação sul de 2 a 8 de janeiro.

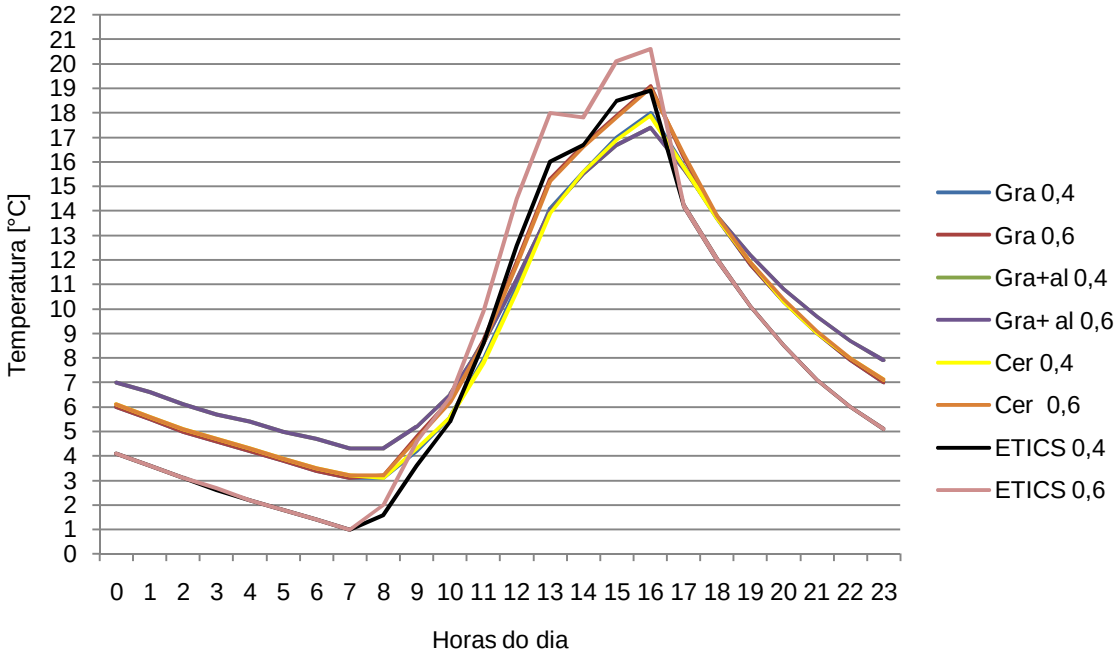


Fig. 5.34- Temperaturas no isolamento para a orientação sul no pior cenário, dia 5 de janeiro.

A solução de *ETICS* atinge para esta orientação temperaturas mais elevadas, na ordem dos 22,5 ºC. Para as restantes soluções o comportamento é idêntico atingindo-se temperaturas superiores nos picos.

- Fachadas orientadas a **oeste**

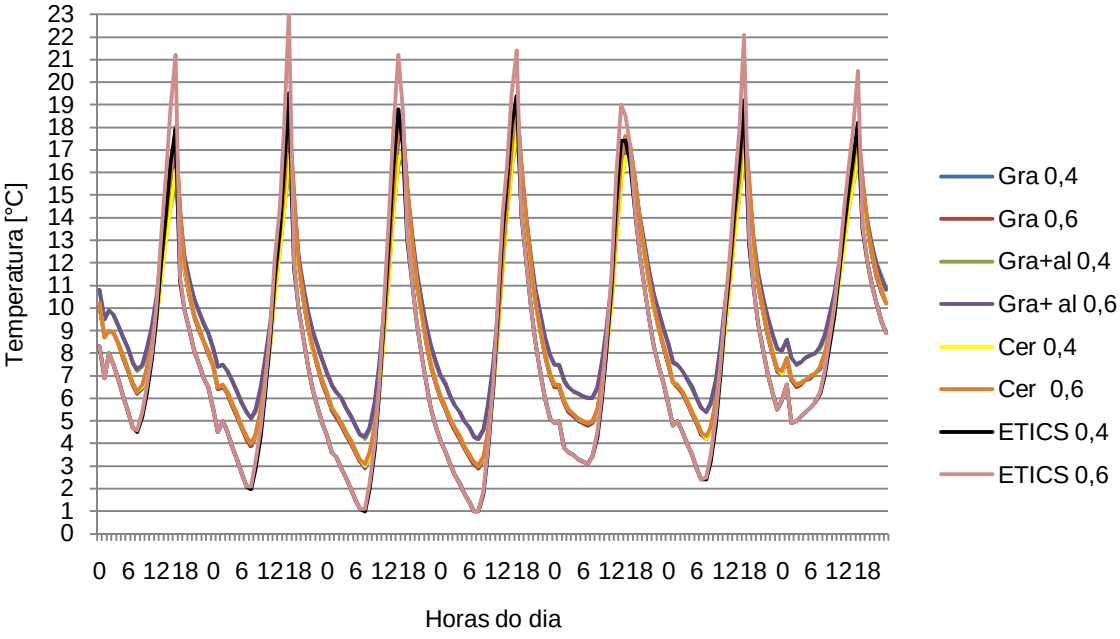


Fig. 5.35- Temperaturas no isolamento para a orientação oeste de 2 a 8 de janeiro.

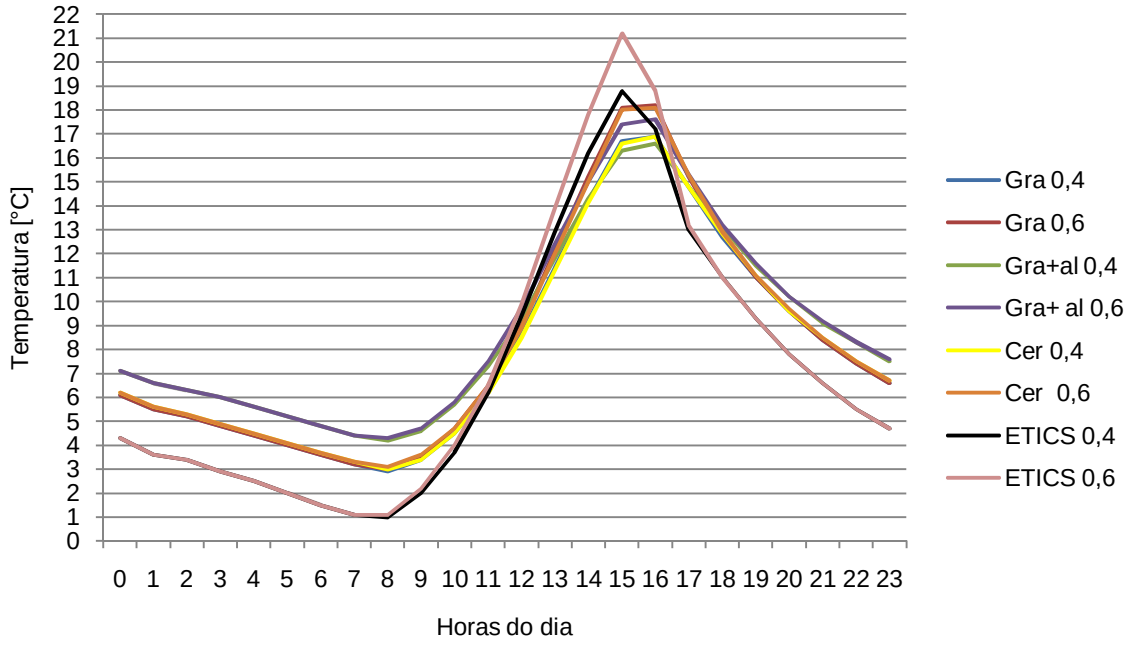


Fig. 5.36- Temperaturas no isolamento para a orientação oeste no pior cenário, dia 5 de janeiro.

O cenário é semelhante ao que se passa na orientação sul, atingindo-se temperaturas ligeiramente superiores.

5.2.2.2. Estação de Arrefecimento no Porto

– Fachadas orientadas a **norte**

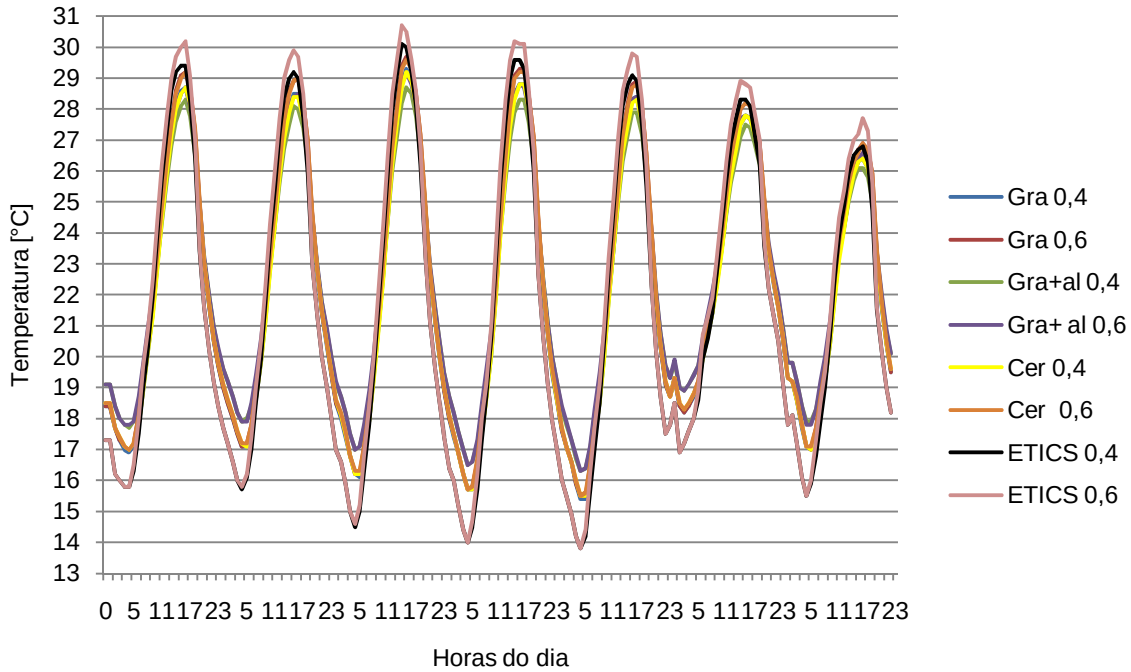


Fig. 5.37- Temperaturas no isolamento para a orientação norte de 3 a 9 de julho.

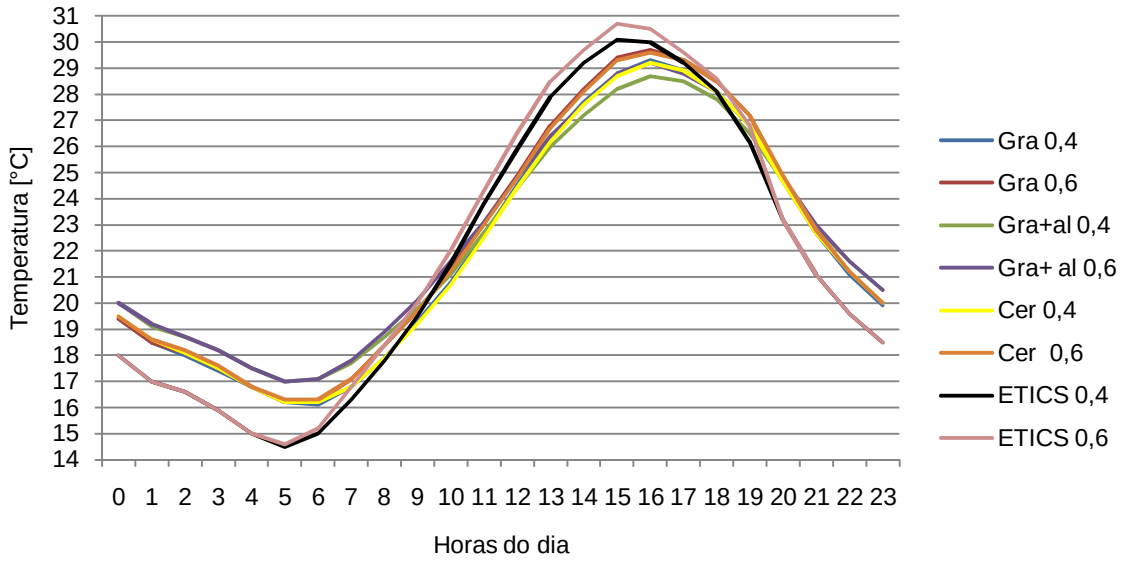


Fig. 5.38- Temperaturas no isolamento para a orientação norte no pior cenário, dia 5 de julho.

Verificam-se temperaturas superiores a 25 ºC das 12 às 19 horas, aproximadamente, em todas as soluções, ou seja, neste intervalo de tempo o fluxo de calor direciona-se do exterior para o interior.

A solução de granito revestido a alumínio polido pelo interior do revestimento com coeficiente de absorção de 0,4 apresenta as menores amplitudes térmicas, atingindo os 28,2ºC.

A solução de *ETICS* 0,6 atinge a temperatura mais elevada no isolamento com 30,7 ºC, exibindo no pico uma diferença de 2,5 ºC para a solução de fachada ventilada Gra+al 0,4.

A variação do coeficiente de absorção não induz alterações relevantes na temperatura do isolamento.

– Fachadas orientadas a **este**

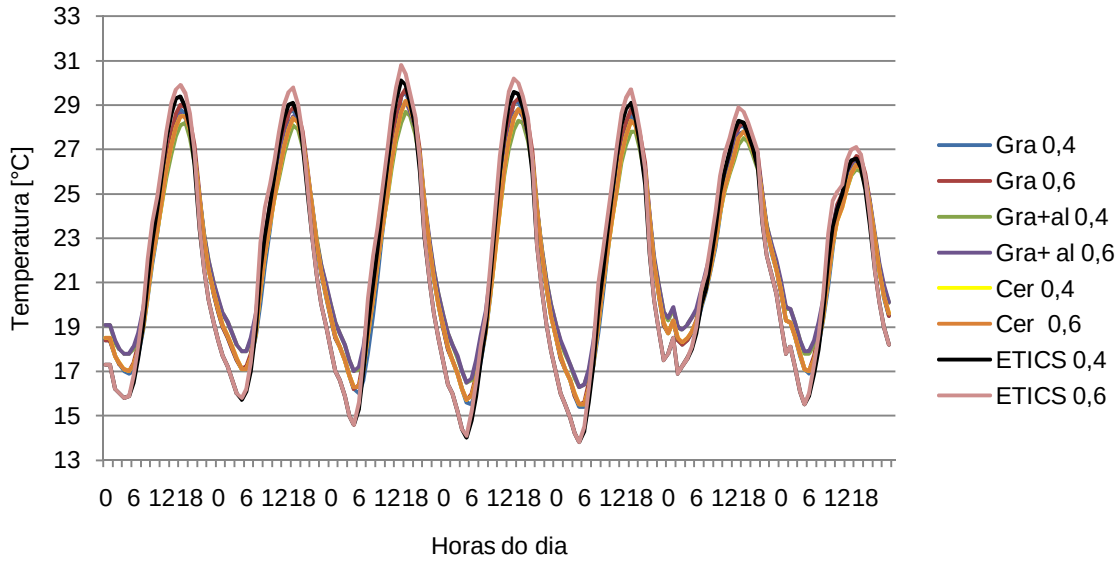


Fig. 5.39- Temperaturas no isolamento para a orientação este de 3 a 9 de julho.

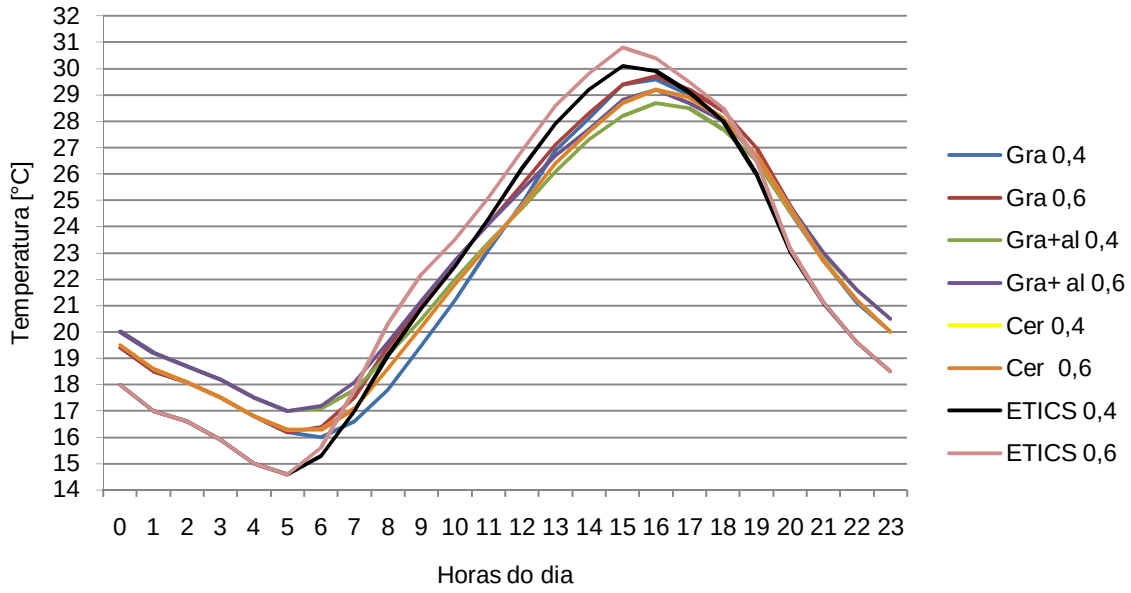


Fig. 5.40- Temperaturas no isolamento para a orientação este no pior cenário, dia 5 de julho.

A solução de granito revestido a alumínio polido pelo interior do revestimento com coeficiente de absorção de 0,4 apresenta o melhor desempenho.

A solução de *ETICS* 0,6 atinge a temperatura mais elevada no isolamento com 30,8 ºC, exibindo no pico uma diferença de 2,6 ºC para a solução de fachada ventilada Gra+al 0,4.

O comportamento geral dos casos de estudo é bastante similar ao exibido na orientação norte.

– Fachadas orientadas a **sul**

A solução de granito revestido a alumínio polido pelo interior do revestimento apresenta as menores amplitudes térmicas, atingindo os 29,1 ºC.

A solução de *ETICS* 0,6 atinge a temperatura mais elevada de 31,7 ºC no isolamento, exibindo neste pico uma diferença de 1,9 ºC para a solução de fachada ventilada Gra+al 0,4.

De um modo geral, o fluxo de calor dirige-se para o interior da habitação, entre as 12 e as 19 horas, visto a temperatura no isolamento ser superior a 25ºC.

Alterando o parâmetro do coeficiente de absorção, a temperatura no isolamento não sofre variação expressiva.

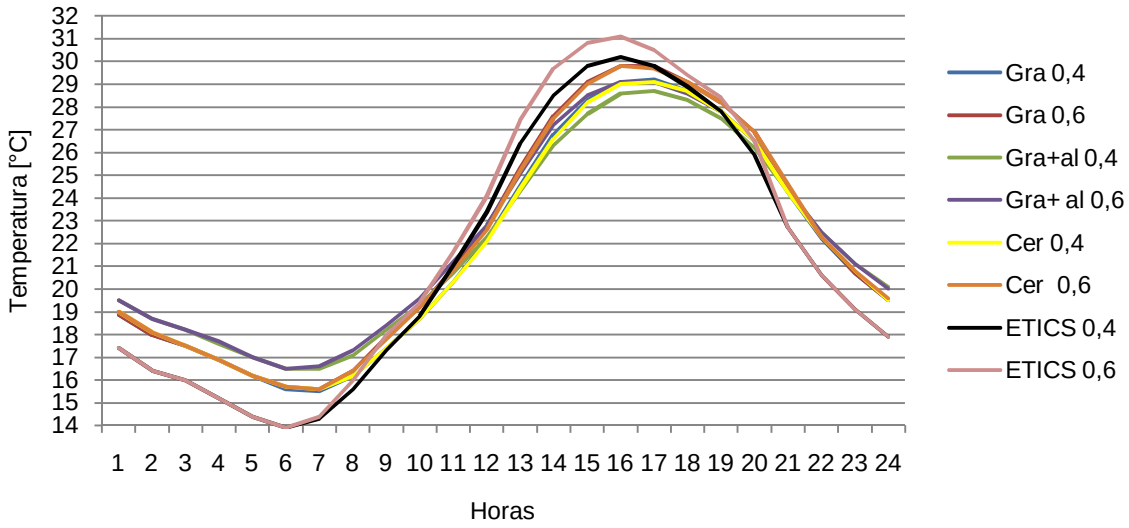


Fig.5.41 - Temperaturas no isolamento para a orientação sul de 3 a 9 de julho.

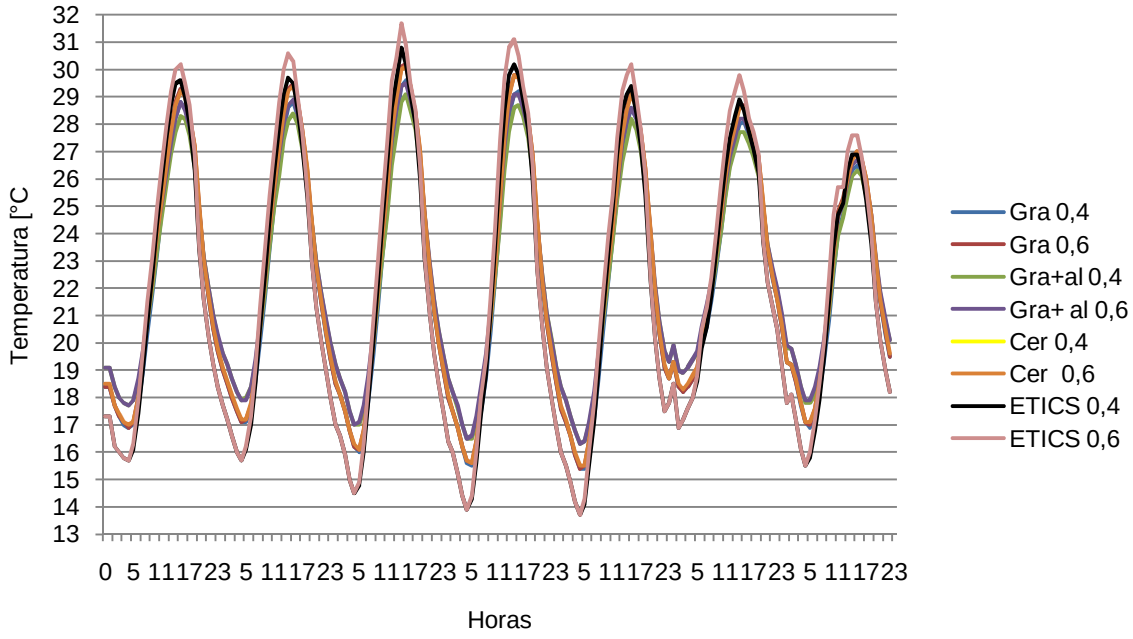


Fig. 5.42- Temperaturas no isolamento para a orientação sul no pior cenário, dia 6 de julho.

– Fachadas orientadas a **oeste**

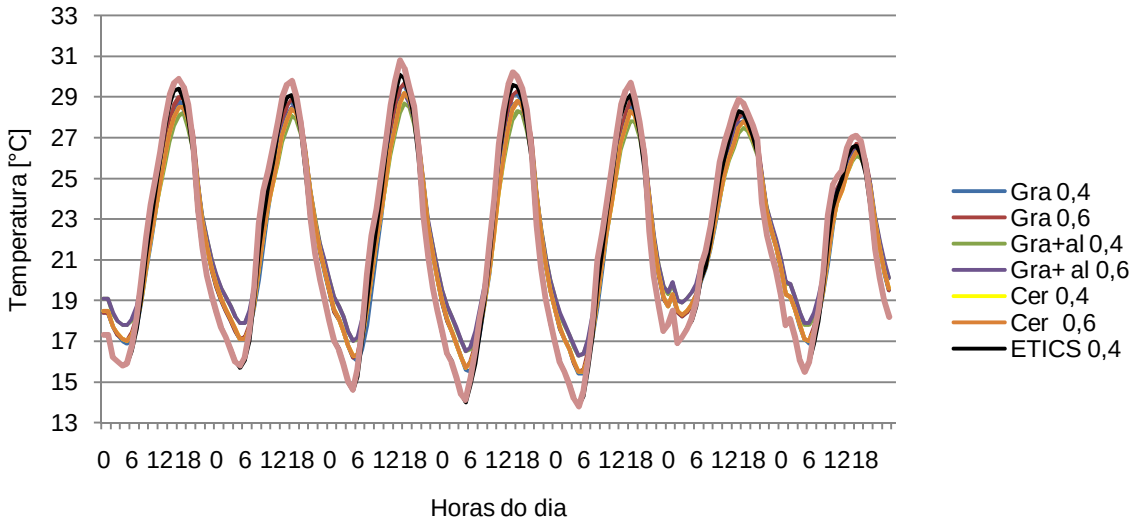


Fig. 5.43- Temperaturas no isolamento para a orientação oeste de 3 a 9 de julho.

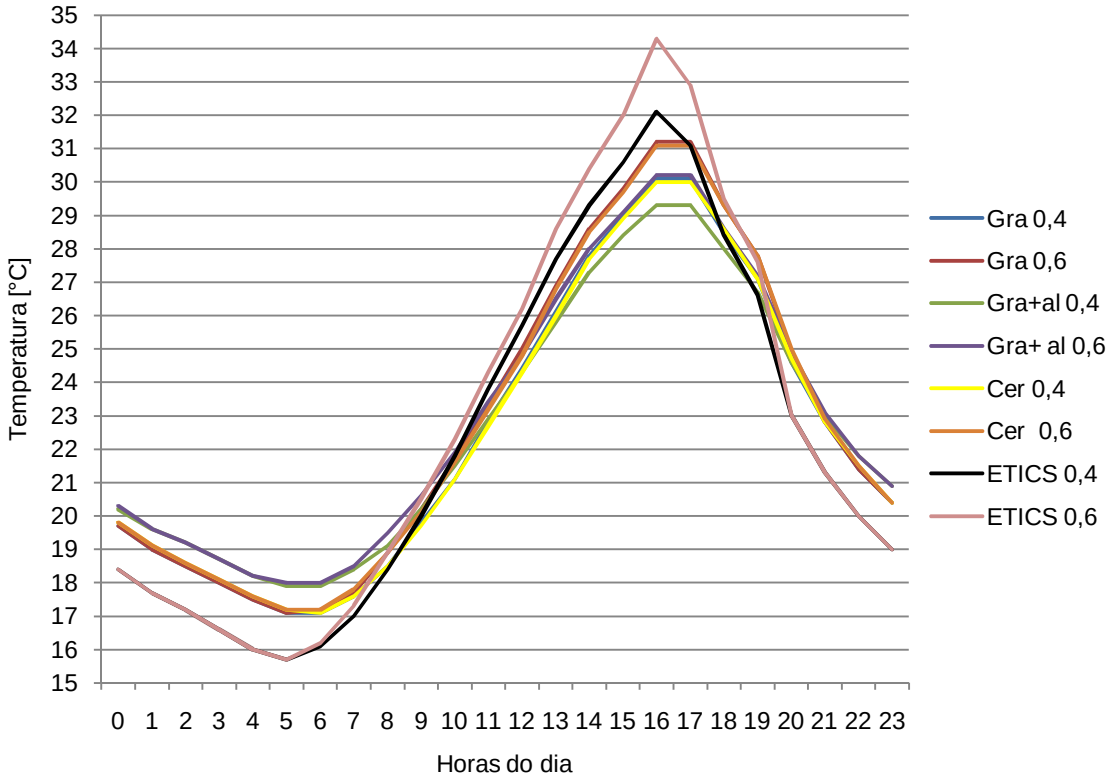


Fig. 5.44- Temperaturas no isolamento para a orientação oeste no pior cenário, dia 4 de julho.

A solução de *ETCIS* com coeficiente de absorção de 0.6 atinge os 34,3 ºC, sendo que das 12 às 19 horas a temperatura no isolamento é sempre superior a 25 º C.

A solução de *ETICS* 0,6 exibe as amplitudes térmicas mais notórias.

É percetível a diferença entre as soluções de fachada ventilada e de *ETICS*. No pico máximo, a diferença entre a pior solução de fachada ventilada, Gra 0,6, e de *ETICS* é de 3,1º C. Ambas apresentam um coeficiente de absorção à radiação solar de 0.6.

O melhor desempenho corresponde ao sistema Gra+al 0,4 com uma temperatura no isolamento máxima de 29,3 ºC e mínima de 17,9 ºC.

5.3. REFLEXÃO CRÍTICA

A solução de fachada ventilada de granito revestida a alumínio pelo interior é a melhor solução pois o alumínio, sendo um metal, possui grande quantidade de eletrões livres o que faz com que seja refletida grande parte da radiação térmica incidente, resultando numa pequena absorção e portanto pequena emissão. Assim, funciona como uma barreira de baixa emissividade.

O percurso do Sol influencia a temperatura registada na face exterior do revestimento, pois este varia ao longo do dia e para as diferentes estações do ano.

No Inverno o sol nasce a sudeste e põe-se relativamente próximo de sudoeste, portanto a orientação sul é a mais privilegiada.

No Verão importa minimizar o fluxo de calor, tendo o sol um percurso diferente relativamente ao Inverno, de nordeste a noroeste. A fachada orientada a oeste recebe radiação solar em abundância, durante longas horas da tarde, sendo a fachada mais problemática em termos de temperatura no isolamento.

6
CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES FINAIS

O conhecimento dos processos físicos que participam na envolvente permite avaliar a resposta da edificação frente às mudanças meteorológicas, facilitando a escolha das melhores soluções técnicas que garantam um desempenho térmico adequado às condições da envolvente em que o edifício será construído.

Neste trabalho foi possível analisar o comportamento térmico de diferentes soluções de fachadas ventiladas, comparando-as com o sistema *ETICS*. Para tal variaram-se diferentes parâmetros, sendo possível inferir quais as melhores soluções, a partir do leque estudado, para a cidade de Évora e Porto.

Os valores de temperatura no isolamento registadas no *ETICS* são consideravelmente superiores, nomeadamente a oeste. Esta solução sofre as maiores amplitudes térmicas. Este facto é percetível, visto o isolamento estar apenas protegido do exterior por uma camada de reboco.

Para a estação de arrefecimento a diferença de temperatura entre o clima exterior e no isolamento é mais expressiva. Nesta estação importa minimizar os ganhos térmicos pela fachada.

No período de aquecimento as temperaturas nunca foram superiores a 18 ºC, salvo situações muito pontuais com intervalos muito reduzidos.

Na estação de arrefecimento observaram-se temperaturas superiores a 25ºC das 12 às 19 horas no Porto e das 11 às 21 horas em Évora.

No Porto o comportamento para as 4 orientações é mais homogéneo do que em Évora. As temperaturas exteriores mais elevadas verificadas em Évora aliam-se ao facto de esta apresentar valores da radiação solar superiores aumentando significativamente os ganhos pela envolvente em relação ao Porto.

A influência do coeficiente de absorção é mais relevante na estação de arrefecimento em Évora, particularmente para o *ETICS*. No Porto esta variação é mais suave, sendo o diferencial metade do verificado em Évora. Na estação de aquecimento não traduz alterações de relevo.

A utilização do sistema de fachada ventilada revelou-se mais expressiva na orientação oeste em Évora. Para o Porto, clima mais ameno, as diferenças entre o *ETICS* e as soluções de fachada ventilada não são tao proeminentes.

Para ambas as cidades, a solução com o melhor desempenho foi a fachada ventilada revestida a alumínio polido na face interior do revestimento. Esta alternativa exibia globalmente oscilações de temperatura mais suaves face às restantes soluções. A baixa emissividade do alumínio atua como uma barreira à passagem do calor para o suporte na estação arrefecimento.

Concluindo, o sistema de fachada ventilada revelou um comportamento mais satisfatório em todos os cenários simulados. Em Évora a sua utilização é mais justificada, apresentando diferenças relevantes face ao sistema ETICS.

Apesar de o sistema de fachada ventilada ter um custo inicial bastante superior, a sua durabilidade comparada com o sistema ETICS é elevada. Requer cuidados de manutenção inferiores e oferece uma vasta gama de materiais e acabamentos, sendo esteticamente mais apelativo.

6.2. PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A melhoria da eficiência energética dos edifícios depende do desenvolvimento e da aplicação de sistemas e de métodos que permitam racionalizar e reduzir o consumo de energia final, garantindo níveis aceitáveis de conforto e outros requisitos de exploração.

Seria interessante estudar a viabilidade e adaptação de diferentes sistemas de fachadas ventiladas em climas com condições diferentes do sul europeu, onde os invernos são suaves e os verões quentes, nomeadamente:

- o clima temperado continental, mais seco com Verões quentes e chuvosos e Invernos extremamente frios, encontrado na europa oriental;
- o clima polar com Invernos rigorosos e Verões curtos que caracteriza uma parte da Península Escandinava e da Rússia europeia.
- o clima tropical, caracterizado por atingir temperaturas elevadas, em média 20ºC, com amplitudes térmicas reduzidas. Apresenta duas estações distintas, húmida e seca. As chuvas são abundantes, concentrando-se numa época do ano. A Índia e Indochina são regiões onde prevalece este clima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. *elementos de fachada ventilada*. http://www.aliva.it/_vti_g5_strutArt_aspx_idA_98-idCat_87-rpstry_87_.sphtml.
2. 15/06/2015]; http://www.archiexpo.com/prod/dolmen-granit/product-53020-731644.html.
3. MAPSLATE. 08/06/2015; http://www.archiexpo.es/prod/map-slate-srl/product-78540-1561000.html.
4. *Composito Madeira-Cimento - Em que consiste?* 15/06/2015]; http://portaldamadeira.blogspot.pt/2010/02/composito-madeira-cimento-em-que.html.
5. Freitas, V., Gonçalves, F., Pinto, P., *Sistemas de isolamento térmico de fachadas pelo exterior do tipo ETICS*. 2011.
6. Cunha, A., *Estudo do comportamento térmico de um painel de fachada.* 2013, FEUP.
7. Mendonça, P., *Habitar sob uma segunda pele*. 2005, Escola de Engenharia.
8. Cunha, M., *Desenvolvimento de um sistema cosntrutivo para fachadas ventiladas*. 2012, FEUP.
9. Standaert, P., *PHYSIBEL Software Pilot Book - Practical problems solved using the Physibel Software*. 2004, Belgium: PHYSIBEL.
10. Tecniwood. *Moradia do Belas Clube de Campo revestida pela Tecniwood* 2009 07/06/20015]; Available from: http://casa.sapo.pt/Noticias/?ID=8490.
11. HunterDouglas. *Revestimiento en Madera Prodema HunterDouglas®*. 08/06/2015]; http://www.hunterdouglas.com.co/ap/co/linea/fachadas/fachadas-ventiladas/revestimiento-en-madera-prodema-hunterdoug.
12. *REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO* in *DL118/2013*. 2013, Diário da República.
13. FICAAT. 08/06/2015]; https://www.google.pt/search?q=ficaat+painel+composito+ALUMINIO&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=NA-LVazHMcWp-QHu5b2QBQ&ved=0CAcQ_AUoAQ&biw=1280&bih=613#imgrc=ef2b2qxkSZsG2M%253A%3B7LF4utoYp2bodM%3Bhttp%253A%252F%252Fficaat.pt%252Fserv%252F05.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fficaat.pt%252Fpt%252Fservicos%3B550%3B306.
14. Flamant, G., Heijmans,N., Guiot, E., Gratia, E., Bruyere, I. , Strachan,P., Standaert, P., *Determination of the energie of performances of ventilated double façades by the use of simulations integrating the controls aspects- Modelling aspects and assessment of the applicability of several simulation software* 2004, Belgium Building Research Institute: Belgium.
15. isar. *Lã de vidro*. 08/06/2015]; http://www.isar.com.br/produtos/isolamento-termico/la-de-vidro/.
16. isar. *Lã de rocha*. 08/06/2015]; http://www.isar.com.br/produtos/isolamento-termico/la-de-rocha/.

17. Cerâmica, G.A.e. 6/6/2015]; http://www.reformafacil.com.br/sistema-keragail-de-fachadas-ventiladas.
18. APAVISA. *Ventilated façades*. 06/06/2015]; http://www.apavisa.com/en/fachada-ventilada/.
19. Gresmanc. *Ceramic ventilated facade*. 17/05/2015]; http://www.archiexpo.com/prod/gresmanc/product-63563-1089875.html#product-item_1089829.
20. ceramica, I. 08/06/2015]; http://www.archiexpo.es/prod/coopertiva-ceramica-d-imola/product-58890-1355647.html.
21. Pinheiro, M., *Ambiente e Construção Sustentável*. 2006, Amadora: Instituto do Ambiente.
22. ADENE, D., *Decreto-Lei n.º 118/2013*. 2013.
23. *Conheça mais sobre Fachadas Ventiladas*. 2012 09/05/2015]; https://construcaocivilpet.wordpress.com/2012/11/28/conheca-mais-sobre-fachadas-ventiladas/.
24. Sousa, F., *FACHADAS VENTILADAS EM EDIFÍCIOS. Tipificação de soluções e interpretação do funcionamento conjunto suporte/acabamento*. 2010, FEUP.
25. Sá, A., *Durabilidade de cimentos-cola em revestimentos cerâmicos aderentes a fachadas*. 2005, FEUP.
26. *Revestimentos para paramentos exteriores de paredes*. 20/04/2015]; http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1136__Revestimentos_Paredes.pdf.
27. ULMA. *Fachadas Ventiladas ULMA em Concreto Polímero*. 07/06/2015]; http://www.ulmaarchitectural.com/br/fachadas-ventiladas/linha-de-produtos/creaktive/painel-folha-uva/.
28. Habitar, C.d.I.e.A.e.M.d. *ARMA - Arquivo de Materiais de Arquitetura*. 07/06/2015]; Available from: http://ciamh.up.pt/arma/uncategorized/construcao-com-grc/.
29. CAAP. 08/06/2015]; Available from: http://www.caap.net/engine.php?cat=99.
30. *Paneles Fenólicos*. 08/06/2015]; http://www.google.pt/imgres?imgurl=http://web.ordenehijos.com.ar/wp-content/uploads/2009/11/fenolico-279x209.jpg&imgrefurl=http://web.ordenehijos.com.ar/paneles-fenolicos/&h=209&w=279&tbnid=YGVw71xY156aTM:&zoom=1&docid=iU8bTACI8z9gmM&ei=ihOLVearN8vh-QH7-4LgBg&tbm=isch&ved=0CDEQMygTMBM.
31. Sousa, F.M.F.d., *Fachadas ventiladas em edifícios: tipificação de soluções e interpretação do funcionamento conjunto suporte/acabamento.* 2012.
32. *Revestimento e Fachadas com ACM* 10/06/2015]; http://aluminio2irmaos.com/produtos/revestimento-e-fachadas-com-acm/.
33. Oliveira, P., *Metodologia de manutenção de edifícios: fachadas ventiladas*. 2011, FEUP.
34. *Sistemas de ancoragem e fixações*. 18/05/2015]; http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Fachadas__divisoes_e_proteccoes/Fachadas_ventiladas/Sistemas_de_ancoragen_e_fixacoes/FAJ010_Sistema__STROW__para_a_fixacao_de_p.html.
35. *Sistemas de ancoragem e fixações*. 15/05/2015]; http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Fachadas__divisoes_e_proteccoes/Fachadas_ventiladas/Sistemas_de_ancoragen_e_fixacoes/FAJ020_Sistema__STROW__para_a_fixacao_de_p.html.
36. Freitas, V., *Isolamento Térmico de Fachadas pelo Exterior - Reboco Delgado Armado sobre Poliestireno Expandido - ETICS. Relatório - HT 191A/02*. 2002, Porto: Optiroc Portugal - Cimentos e Argamassas, Lda.,.
37. Pina dos Santos, C., Matias,L., *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. 2006, Laboratório Nacional de Engenharia Civil: Lisboa.

38. Freitas, V., Pinto, M. *Metodologia para a Selecção Exigencial de Isolantes Térmicos. Nota de Informação Técnica - NIT.001 - LFC/FEUP*. 2000 27/04/2015]; https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/6258/8/8%20-%20Capitulo3.pdf.
39. *Poliuretano projectado*. 17/06/2015]; http://forumdacasa.com/extensions/InlineImages/image.jpg.php?AttachmentID=658.
40. 10/6/2015]; http://forumdacasa.com/extensions/InlineImages/image.jpg.php?AttachmentID=59380.
41. *Poliestireno Expandido (Isopor®)*. 06/06/2015]; http://isotran.com.br/poliestireno-expandido/.
42. *Poliestireno extrudido*. 06/06/2015]; http://moskva.all.biz/pt/poliestireno-extrudido-g863262#.VZPAz0ZmM3g.
43. Direito, J., *ESTUDO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM FACHADAS VENTILADAS*. 2011, FEUP.
44. Rodrigues, A., *Fachadas com revestimentos exteriores descontínuos e independentes*. 2003, FEUP.
45. *Sistema "BUTECH" de placa de grés porcelânico, para pano exterior de fachada ventilada*. 08/06/2015]; http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Fachadas__divisoes_e_proteccoes/Fachadas_ventiladas/FAG_Pano_exterior_de_placas_de_gre/FAG010_Sistema__BUTECH__de_placa_de_gres_p.html.
46. fassade, G. 06/06/2015]; Available from: http://www.archiexpo.es/prod/gip-gmbh/product-96872-979039.html.
47. LEVANTINA. 5/6/2015]; http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Fachadas/Ventiladas/Pano_exterior_de_pedra_natural/FAP020_Pano_exterior_de_pedra_natural__LEV.html.
48. *Fachadas respirantes*. 22/05/2015]; http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/144/fachadas-respirantes-fachadas-ventiladas-combinam-funcoes-esteticas-com-bom-287636-1.aspx.
49. 17/05/2015]; https://www.google.pt/search?q=acermi&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=lkmVVaORIMP4ygPH946ICQ&ved=0CAcQ_AUoAQ&biw=1280&bih=613#imgrc=LZgfWaXNiw0dAM%3A.
50. PHYSIBEL, *CAPSOL, version 4.0 ,Computer program to calculate multizonal transient heat transfer, .* 2002.
51. LNEG. *SolTerm - Análise de desempenho de sistemas solares*. 27/04/2015]; http://www.lneg.pt/iedt/projectos/370/.
52. [N9] EN 12179:2000, *Curtain walling – Resistance to wind load – Test method*.
53. EN 12179:2000, *Curtain walling – Resistance to wind load – Test method*.
54. ISO 7892: 1988, *Vertical building elements - Impact resistance tests - Impact bodies and general test procedures.*
55. EN 13116:2001, *Curtain walling - Resistance to wind load - Performance requirements*.
56. EN 12600:2002, *Glass in building - Pendulum test - Impact test method and classification for flat glass.*
57. EN 14019:2004, *Curtain Walling - Impact resistance - Performance requirements*.
58. EN 13501-2:2007+A1:2009, *Fire classification of construction products and building elements - Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services.*

59. NP EN 20140-3:1998, *Acústica – Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção – Parte 3: Medição em laboratório do isolamento sonoro a sons aéreos de elementos de construção*. IPQ, 1998.

60. EN 13947:2006, *Thermal performance of curtain walling – Calculation of thermal transmittance.*

61. EN 12155:2000, *Curtain walling – Watertightness – Laboratory test under static pressure*.

62. EN 12154:1999, *Curtain walling – Watertightness – Performance requirements and classification.*

63. NP EN ISO 717-1:2009, Acústica – *Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção – Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea*. IPQ, 2009.