

Desempenho em serviço e comportamento higrotérmico de rebocos térmicos

André Nunes Van Zeller

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientadores

Professora Doutora Inês dos Santos Flores Barbosa Colen

Professora Doutora Maria da Glória de Almeida Gomes

Júri

Presidente: Professor Doutor Jorge Manuel Calião Lopes de Brito

Orientador: Professora Doutora Maria da Glória de Almeida Gomes

Vogal: Professor Doutor António Heleno Domingues Moret Rodrigues

Abril, 2020

Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

Esta dissertação é o culminar de anos de estudo e simboliza a conclusão de uma das etapas mais importantes de minha vida.

Às minhas orientadoras, Professora Inês Flores-Colen e Professora Maria da Glória Gomes, pela disponibilidade, apoio e transmissão de conhecimentos necessários para a realização da presente dissertação.

Ao Dr. António Soares, pela disponibilidade, simpatia e pela cedência de ficheiros e relatórios que serviram de base para desenvolvimento das simulações no programa EnergyPlus.

Ao Eng. Luís Brás, da Gebalis, pela possibilidade de acesso ao caso de estudo e tempo investido aquando a realização da campanha de inspeção.

A todos os Professores dos Instituto Superior Técnico que contribuíram e me ajudaram a alcançar este patamar de Engenheiro Civil.

Aos meus amigos de Alenquer, amigos verdadeiros.

Aos meus amigos da faculdade que me apoiaram, motivaram e ajudaram nos momentos menos bons. Dando ênfase aos meus amigos da faculdade que se mantêm puros e partilham incondicionalmente.

À minha família pelo apoio, motivação e pela estabilidade financeira e emocional necessária para a realização deste curso.

À Beatriz Semião por tudo, em especial a paciência e a compreensão demonstrada.

Por fim, agradeço aos meus avós.

“Há tempo para tudo”

Resumo

A alteração da definição de níveis de conforto térmico por parte de uma sociedade progressivamente mais exigente e a implementação de regulamentação mais rigorosa em termos de eficiência energética, levou a que os investigadores desenvolvessem produtos com menores condutibilidades térmicas associados a um elevado desempenho térmico, de modo a se tornarem mais competitivos. Porém, existe uma falta de estudos no âmbito do desempenho higrotérmico de rebocos térmicos e da relação dos mesmos com a água e a forma como se comportam e se degradam quando em serviço.

Foi realizada uma campanha *in situ* num edifício com rebocos térmicos aplicados, nos quais se realizaram ensaios *in situ*, complementares à inspeção visual. Deste modo, foi possível consolidar que estes são úteis para verificar as conclusões tiradas de uma campanha de inspeção visual e que os rebocos térmicos contribuem para a melhoria do conforto térmico dos utilizadores e que estes apresentam um bom desempenho em serviço.

O recurso ao programa EnergyPlus possibilitou a simulação do comportamento higrotérmico e energético de rebocos térmicos, expostos às condições climáticas de Lisboa e assim, verificar a veracidade das conclusões retiradas da campanha experimental. Uma análise térmica possibilitou a comparação direta de temperaturas e humidades mínimas e máximas registadas no interior de um fogo para diferentes soluções com rebocos térmicos. Foi, ainda, realizada uma análise higrotérmica, de modo a quantificar o risco de ocorrência de condensações nas superfícies internas e externas das paredes exteriores e uma análise energética para dois tipos de rebocos térmicos.

Palavras chave: Rebocos térmicos, EnergyPlus, Desempenho higrotérmico, Campanha *in situ*, Simulação numérica

Abstract

The change in the definition of thermal comfort levels by a progressively more demanding society and the implementation of stricter regulations in terms of energy efficiency, led researchers to develop products with lower thermal conductivities associated to high thermal performance, in a way to become more competitive. However, there is a lack of studies on the hygrothermal performance of thermal renders and their relationship with water and how they behave and degrade when in service.

An *in situ* campaign was carried out in a building with applied thermal renders, in which *in situ* tests were carried out, complementary to the visual inspection. The results analysis consolidated the conclusion that these are extremely useful to verify the conclusions drawn from a visual inspection campaign and that the thermal plasters contribute to the improvement of the thermal comfort of the users and that they present a good performance in service.

The use of the EnergyPlus program made it possible to simulate the hygrothermal and energetic behavior of thermal renders, exposed to the climatic conditions of Lisbon and, thus, to verify the veracity of the conclusions drawn from the experimental campaign. A thermal analysis made it possible to directly compare the minimum and maximum temperatures and humidity recorded inside a fire for different solutions with thermal plasters. A hygrothermal analysis was also carried out in order to quantify the risk of condensation occurring on the internal and external surfaces of the exterior walls and an energy analysis for two types of thermal plasters.

Keywords: Thermal renders, EnergyPlus, Hygrothermal performance, *In situ* campaign, Numerical simulation

Índice

Agradecimentos	i
Resumo.....	iii
Abstract	v
Índice	vii
Índice de figuras	xi
Índice de tabelas.....	xiii
Acrónimos e Siglas	xv
Símbolos.....	xv
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento do tema	1
1.2 Motivação e objetivos	1
1.3 Estrutura da dissertação	2
2 Desempenho de rebocos térmicos.....	3
2.1 Considerações gerais	3
2.2 Classificação de reboco térmico	3
2.3 Mercado Europeu dos rebocos térmicos.....	5
2.4 Desempenho em serviço de rebocos térmicos.....	8
2.4.1 Desempenho em serviço de rebocos térmicos em laboratório.....	9
2.4.2 Desempenho em serviço de rebocos térmicos <i>in situ</i>	17
2.5 Conclusão do capítulo	26
3 Campanha experimental <i>in situ</i> em rebocos térmicos.....	27
3.1 Considerações iniciais.....	27
3.2 Metodologia de inspeção.....	27
3.2.1 Descrição das técnicas de ensaio <i>in situ</i>	27
3.2.2 Plano de ensaio.....	29
3.2.3 Fichas de inspeção	30
3.3 Caso de estudo	30
3.4 Discussão dos resultados	31
3.4.1 Inspeção visual e técnicas complementares.....	31

3.4.2	Tubo de Karsten	33
3.4.3	Termografia	33
3.4.4	Esclerómetro	35
3.5	Conclusão do capítulo	36
4	Simulações no EnergyPlus	37
4.1	Introdução	37
4.2	Descrição do caso de estudo	37
4.3	Modelação do caso de estudo	38
4.3.1	Plugin OpenStudio para o Sketchup	39
4.3.2	Modelação do caso de estudo no Sketchup	39
4.3.3	Edição do ficheiro de simulação no EnergyPlus	40
4.4	Análise de temperaturas e de humidades relativas	49
4.4.1	Introdução.....	49
4.4.2	Parâmetros e soluções analisadas	49
4.4.3	Temperaturas mínimas	53
4.4.4	Temperaturas máximas.....	54
4.4.5	Humidades relativas mínimas	55
4.4.6	Humidades relativas máximas	57
4.4.7	Discussão dos resultados	58
4.5	Risco de ocorrência de condensações superficiais	59
4.5.1	Introdução.....	59
4.5.2	Parâmetros e soluções analisadas	60
4.5.3	Risco de ocorrência condensações	61
4.5.4	Condensações superficiais externas	62
4.5.5	Condensações superficiais internas.....	67
4.5.6	Discussão dos resultados	68
4.6	Necessidades energéticas anuais	69
4.6.1	Introdução.....	69
4.6.2	Parâmetros e soluções analisadas	70
4.6.3	Necessidades energéticas úteis de climatização em paredes simples	71

4.6.4	Necessidades energéticas úteis de climatização em paredes duplas	73
4.6.5	Discussão dos resultados	75
4.7	Conclusão do capítulo	76
5	Conclusões e desenvolvimentos futuros	77
5.1	Conclusões finais	77
5.2	Conclusões gerais.....	77
5.3	Propostas para desenvolvimentos futuros	80
	Referências bibliográficas.....	81
	Anexos.....	i
	Anexo 1 - Propriedades dos rebocos presentes no mercado Europeu.....	i
	Anexo 2 - Tratamento de dados no programa Microsoft Excel	ii
	Anexo 3 - Ficha de inspeção número 1	iii
	Anexo 4 - Horários definidos no EnergyPlus	vi
	Anexo 5 - Temperaturas mínimas sem sombreamento	vii
	Anexo 6 - Temperaturas mínimas com sombreamento	vii
	Anexo 7 - Temperaturas máximas sem sombreamento.....	viii
	Anexo 8 - Temperaturas máximas com sombreamento.....	viii
	Anexo 9 - Humidades relativas mínimas sem sombreamento	ix
	Anexo 10 - Humidades relativas mínimas com sombreamento	ix
	Anexo 11 - Humidades relativas máximas sem sombreamento	x
	Anexo 12 - Humidades relativas máximas com sombreamento	x
	Anexo 13 - Dados utilizados para a definição dos materiais (HAMT) - Hemp	xi
	Anexo 14 - Dados utilizados para a definição dos materiais (HAMT) - Aislone	xi
	Anexo 15 - Dados utilizados para a definição dos materiais (HAMT) - Reboco tradicional.....	xii
	Anexo 16 - Dados utilizados para a definição dos materiais (HAMT) - Tijolo cerâmico furado 11 cm	xii
	Anexo 17 - Equações que definem o modelo HAMT	xiii
	Anexo 18 - Condensações superficiais exteriores no reboco térmico Hemp.....	xv
	Anexo 19 – Condensações superficiais exteriores no reboco térmico Aislone.....	xvi
	Anexo 20 - Condensações superficiais interiores em rebocos térmicos	xvii

Anexo 21 - Necessidades energéticas úteis de climatização em paredes simples	xviii
Anexo 22 - Necessidades energéticas úteis de climatização em paredes duplas	xix
Anexo 23 - Influência de palas de sombreamento nas necessidades energéticas úteis	xx
Anexo 24 - Comparação das necessidades energéticas úteis entre paredes simples e duplas	xx

Índice de figuras

Figura 1 - Fluxograma das abordagens de avaliação de desempenho em serviço de rebocos térmicos	8
Figura 2 - Zonas nas quais foram aplicadas reboco térmico	30
Figura 3 - Alteração da arquitetura da varanda.....	30
Figura 4 - Zona de remate da rede do sistema de isolamento térmico aplicado em 2015.....	31
Figura 5 - Aspeto dos paramentos aquando a inspeção visual	32
Figura 6 - Exemplo de perda de material	32
Figura 7 - Localização dos ensaios dos tubos de Karsten.....	33
Figura 8 - Análise termográfica da região intervencionada e não intervencionada	34
Figura 9 - Análise termográfica da zona de transição.....	34
Figura 10 - Análise termográfica da zona de transição de rebocos térmicos (Zonas).....	35
Figura 11 - Análise termográfica em região com perda de material	35
Figura 12 - Delimitação das envolventes térmicas do caso de estudo (Soares 2016).....	38
Figura 13 - Vista da fachada orientada a Norte	40
Figura 14 - Vista da fachada orientada a Sul.....	40
Figura 15 - Características que definem um material (modelo CTF).....	42
Figura 16 - Propriedade de um vidro utilizado	43
Figura 17 - Solução construtiva das lajes	43
Figura 18 - Caracterização de duas superfícies	44
Figura 19 - Caracterização de uma janela	44
Figura 20 - Parede de separação de zonas.....	45
Figura 21 - Exemplo da caracterização de uma pala de sombreamento exterior	45
Figura 22 - Caracterização da envolvente “caixa de escadas”	46
Figura 23 - Exemplo da seleção das variáveis e da sua frequência de saída.....	47
Figura 24 - Seleção do modelo HAMT	48
Figura 25 - Denominação das superfícies da fração	50
Figura 26 – Fluxograma das soluções construtivas estudadas para as temperaturas e humidades relativas	52
Figura 27 - Temperaturas mínimas interiores mensais.....	54
Figura 28 - Temperaturas máximas interiores mensais.....	55
Figura 29 - Humidades relativas mínimas interiores mensais	56
Figura 30 - Humidades relativas máximas interiores mensais.....	57
Figura 31 - Fluxograma das soluções construtivas estudadas para a ocorrência de condensações	60
Figura 32 - Temperaturas superficiais diárias	64
Figura 33 - Fluxograma das soluções construtivas estudadas para as necessidades energéticas úteis	70
Figura 34 - Necessidade energéticas úteis de aquecimento e de arrefecimento em paredes simples	73
Figura 35 - Necessidades energéticas finais em paredes simples	73
Figura 36 – Necessidade energéticas úteis de aquecimento e de arrefecimento em paredes duplas	75
Figura 37 - Necessidades energéticas finais em paredes duplas.....	75

Índice de tabelas

Tabela 1 - Requisitos exigidos a rebocos térmicos pela EN 998-1	4
Tabela 2 - Propriedades dos rebocos térmicos presentes no mercado Europeu	7
Tabela 3 - Propriedades dos rebocos estudados	9
Tabela 4 - Propriedades térmicas dos materiais de isolamento	9
Tabela 5 - Propriedades dos rebocos estudados	10
Tabela 6 - Características de rebocos de cimento branco e EPS	12
Tabela 7 – Características do reboco térmico estudado	12
Tabela 8 - Propriedades dos rebocos desenvolvidos	13
Tabela 9 - Resumo das propriedades dos rebocos térmicos presentes nos artigos sobre avaliação de desempenho em laboratório em ambiente natural	16
Tabela 10 - Artigos estudados sobre campanhas de monitorização <i>in situ</i>	18
Tabela 11 - Artigos estudados sobre avaliação do desempenho em serviço recorrendo à aplicação de <i>software</i> e modelação numérica.....	25
Tabela 12 - Resumo das anomalias presentes aquando a inspeção visual.....	32
Tabela 13 - Resultados dos ensaios complementares	33
Tabela 14 - Resultados dos ensaios de permeabilidade à água pelo tubo de Karsten.....	33
Tabela 15 - Tratamento estatístico dos índices esclerométricos	36
Tabela 16 - Características do modelo de simulação do caso de estudo	40
Tabela 17 - Início e fim do período de aquecimento e de arrefecimento.....	41
Tabela 18 - Soluções adotadas para as janelas e portas em contacto com o exterior	43
Tabela 19 - Solução construtiva das paredes interiores	45
Tabela 20 - Intervalos de temperatura considerados.....	47
Tabela 21 - Definição de um material no modelo CTF	48
Tabela 22 - Variáveis de saída do modelo HAMT	48
Tabela 23 - Soluções construtivas fixas e variáveis	50
Tabela 24 - Soluções construtivas das fronteiras que separaram espaços aquecidos	50
Tabela 25 - Propriedades dos materiais da envolvente exterior opaca.....	51
Tabela 26 - Soluções construtivas analisadas	52
Tabela 27 - Soluções construtivas analisadas no estudo de ocorrência condensações.....	61
Tabela 28 - Orientação definida para cada superfície	62
Tabela 29 - Potencial de condensação superficial exterior (em horas)	63
Tabela 30 - Percentagens mensais do potencial de condensação nas superfícies exteriores	67
Tabela 31 - Características dos materiais.....	70
Tabela 32 - Soluções construtivas analisadas	71
Tabela 33 - Necessidades energéticas úteis de climatização em paredes simples	72
Tabela 34 - Necessidades energéticas úteis de climatização em paredes duplas.....	74

Acrónimos e Siglas

ANIT	Associação nacional italiana de isolamento térmico e acústico
CRF	Classe de reação ao fogo
CSV	Valores separados por vírgula
CTF	Função de transferência de calor
EPS	Poliestireno expandido
ETICS	Sistema composto de isolamento térmico pelo exterior
HAMT	Transferência de calor e humidade
NPV	Valor atual líquido
PC _{interior}	Potencial de condensação interior
PC _{exterior}	Potencial de condensação exterior
PCM	Material de mudança de fase
REH	Regulamento dos edifícios de habitação
VOC	Compostos orgânicos voláteis

Símbolos

λ	Coefficiente de condutibilidade térmica
μ	Coefficiente de resistência à permeabilidade ao vapor de água;
ρ	Massa volúmica aparente
φ	Humidade relativa do ar
A	Rotura adesiva
A_i	Área que separa o espaço não útil do espaço útil
A_u	Área que separa o espaço não útil do ambiente exterior
B	Rotura coesiva no reboco
C	Rotura coesiva no suporte
C_c	Absorção de água por capilaridade
D_{ss}	Coefficiente de difusão de líquidos em condições normais
D_{ws}	Coefficiente de difusão de líquidos em condições de sucção
f_u	Aderência
P_{sat}	Pressão de saturação do vapor de água na superfície
P_v	Pressão parcial do vapor de água do ar
R_c	Resistência à compressão
t	Temperatura na equação de Tetens
$T_{orvalho}$	Temperatura de orvalho do ar exterior
$T_{superfície}$	Temperatura da superfície exterior
V_{enu}	Volume de espaço não útil
W0	C_c não especificado

1 Introdução

1.1 Enquadramento do tema

O sector da construção civil está associado a grandes consumos de materiais e de energia, sendo responsável pela produção de elevadas quantidades de gases causadores dos efeitos de estufa. A entrada em vigor de legislação mais exigente e o aumento, nos últimos anos, da preocupação da sociedade para a sustentabilidade ambiental, têm como consequência a redução das emissões associadas a este sector. Este esforço, é também verificado na indústria da construção civil, através da construção de edifícios com projetos com melhor conceção e mais eficientes, mas também através da aplicação de materiais mais sustentáveis (excedentes de explorações ou materiais renováveis). Adicionalmente, através da incorporação de materiais mais duráveis e resistentes, que permitam aumentar a vida útil do conjunto edificado, contribuindo deste modo para a redução dos impactos ambientais associados. Uma grande perda de calor é verificada através da envolvente opaca dos edifícios, pelo que o desenvolvimento de sistemas de isolamento térmico a aplicar em fachadas, que reduzem o fluxo de calor que as atravessa, contribui para a eficiência energética e sustentabilidade dos edifícios, conduzindo ao aparecimento e desenvolvimento dos sistemas de ETICS e rebocos térmicos.

A uma boa manutenção preditiva está associada uma eficaz inspeção *in situ* e avaliação do desempenho em serviço de rebocos térmicos, esta por sua vez, tem um impacto significativo no período de vida útil dos materiais e das edificações. Nos últimos anos, o número de artigos publicados relativos a rebocos térmicos aumentou consideravelmente, contudo poucos investigadores se debruçam sobre o tema de avaliação do desempenho em serviço de rebocos térmicos aplicados, existindo assim uma lacuna na análise do comportamento e na caracterização das propriedades demonstradas pelos mesmos *in situ*. Deste modo, foi realizada uma campanha experimental *in situ*, na qual se aplicou técnicas de inspeção *in situ* e se realizou inspeções visuais, avaliando o desempenho mecânico e físico de rebocos térmicos aplicados.

O aparecimento de programas de simulações térmicas e higrótérmicas, como o WUFI Pro e o EnergyPlus, permitem que, através da definição de certas propriedades dos materiais e do caso de estudo, se realizem avaliações indiretas do comportamento em serviço de rebocos térmicos. Estes programas contribuem para uma melhor perceção e compreensão da forma como diversos fatores e variáveis influenciam os resultados e o comportamento dos rebocos térmicos aplicados. Não obstante existe, ainda uma falta de conhecimento do comportamento em serviço dos mesmos que necessita de ser mais explorada e investigada.

1.2 Motivação e objetivos

A motivação para a realização desta dissertação é a de complementar e aprofundar o conhecimento à cerca do tema de desempenho em serviço de rebocos térmicos aplicados, uma vez que a aplicação de rebocos de melhor desempenho térmico mais duráveis contribui para o bem-estar geral da sociedade, através de:

- Maior eficiência energética (maior poupança económica para um mesmo nível de conforto);

- Maior período de vida útil, aumentando assim a competitividade destes produtos e a sustentabilidade da construção;
- Aumento do desempenho dos edifícios em termos térmicos, higrotérmicos e de redução de impactos ambientais, sendo mais sustentáveis (muitos rebocos térmicos têm na sua constituição excedentes de outras indústrias e áreas de exploração e materiais recicláveis);
- Fomentar a existência de um mercado europeu mais competitivo e de rebocos térmicos com maiores garantias de durabilidade e propriedades otimizadas.

O estudo do comportamento higrotérmico e energético de rebocos térmicos foi realizado através da utilização do programa EnergyPlus, onde é possível submeter os rebocos térmicos a condições climáticas naturais de Lisboa (método indireto) e através da realização de uma campanha *in situ* (método direto). Os objetivos principais encontram-se de seguida listados:

- Estudar de que forma as configurações construtivas e os diferentes tipos de rebocos térmicos têm impactos nas temperaturas e humidades relativas mínima e máximas registadas, na ocorrência de condensações e estimar a poupança energética associada a cada um;
- Estimar as vantagens e desvantagens da consideração ou não de elementos exteriores de sombreamento em termos da ocorrência de condensações e eficiência energética;
- Analisar o desempenho em serviço de rebocos térmicos aplicados através da realização de uma campanha *in situ* e a forma como cada técnica acrescenta informação útil e pertinente para uma melhor análise, contribuindo assim para um maior conhecimento acerca do tema;
- Verificar se as conclusões retiradas da realização de uma campanha *in situ* são suportadas pelos resultados obtidos através da simulação dinâmica de um caso de estudo.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos:

- Capítulo 1 – introdução ao tema, motivação para o desenvolvimento desta dissertação e definição dos objetivos principais;
- Capítulo 2 – descrever e abordar conceitos essenciais à compreensão dos capítulos seguintes e sumarizar os estudos que têm sido desenvolvidos, por diversos investigadores, no âmbito de rebocos térmicos;
- Capítulo 3 – contempla a análise e discussão dos resultados obtidos aquando a realização de uma campanha *in situ*. É avaliado o contributo de cada técnica de ensaio para refutar ou suportar as hipóteses retiradas após uma inspeção visual criteriosa;
- Capítulo 4 – diz respeito às simulações numéricas: é apresentado o caso de estudo, a forma como se desenvolveu o ficheiro do EnergyPlus, de modo a estudar o desempenho térmico e higrotérmico de diversos rebocos sob diferentes condições de exposição e com diferentes configurações construtivas e verificar se as conclusões retiradas após a realização de uma campanha *in situ* são suportadas (ou não) pelos resultados das simulações dinâmicas;
- Capítulo 5 – são evidenciadas as conclusões e propostas de desenvolvimentos futuros.

2 Desempenho de rebocos térmicos

2.1 Considerações gerais

Ao longo deste capítulo são introduzidos os conceitos base associados aos rebocos térmicos; o motivo do seu aparecimento e quais as suas vantagens face a outro tipo de produtos. Adicionalmente, é apresentado um estudo sobre as características dos rebocos térmicos comercializados no mercado Europeu.

De seguida, é feita uma análise das metodologias recentemente utilizadas de modo a caracterizar o desempenho em serviço (mecânico e físico), através de ensaios laboratoriais, de rebocos térmicos estudados em artigos científicos, quer em ambiente natural quer em ambiente acelerado.

Adicionalmente, é feita um resumo das diferentes abordagens, que têm sido utilizadas por diferentes autores, de modo a caracterizar o desempenho em serviço *in situ* de vários rebocos térmicos. Referindo autores que realizaram campanhas *in situ* de monitorização e ensaios de avaliação de desempenho, e de seguida, os que recorrem a *software* e a modelos numéricos para a realização de simulações térmicas e higrotérmicas.

2.2 Classificação de reboco térmico

O aumento do custo da energia, das exigências de conforto térmico dos usuários e a implementação de leis cada vez mais viradas para construção de edifícios com melhor desempenho energético e menores impactos ambientais, impulsionam a procura e o desenvolvimento de novos produtos que correspondem às novas exigências do mercado.

Atualmente, é crucial que os edifícios cumpram diversos requisitos ao nível de consumo e conforto energético, estabilidade, sustentabilidade e durabilidade, aspetos que são essenciais ter em conta, na conceção de novos edifícios e na reabilitação térmica de edifícios. Os rebocos térmicos têm a vantagem de, comparativamente a outras soluções de isolamento térmico, permitirem a conservação do aspeto exterior da fachada, aspeto que, segundo Stahl *et al.* (2017) é essencial na reabilitação térmica de edifícios históricos, nos quais é necessário respeitar as suas características/traça, deixando a fachada praticamente inalterada. Contudo, estes podem ser também aplicados pelo interior.

Uma das vantagens dos rebocos térmicos é o largo espectro de edifícios em que estes podem ser aplicados, devido ao facto de se adaptarem com extrema facilidade às diversas formas do edifício. Estes por sua vez, apresentam melhor facilidade de adaptação às formas do que outras soluções de isolamento térmico, como por exemplo, os ETICS (sistema de isolamento térmico pelo exterior) e as fachadas ventiladas com isolamento térmico (Grunewald e Will, 2010). Contudo, os ETICS são mais baratos do que os rebocos térmicos, justificando assim, a razão pela qual os últimos têm sido pouco aplicados e toda a investigação desenvolvida nos últimos anos com o objetivo de diminuir o custo de fabrico dos rebocos térmicos, mas também a sua condutibilidade térmica (maior poupança de energia e menor período de amortização).

Os rebocos térmicos surgem assim com o propósito de reduzir ao máximo as trocas de calor pelas envoltivas opacas dos edifícios e corrigir pontes térmicas, melhorando o conforto térmico e promovendo uma construção mais sustentável (Melo, 2014). Em simultâneo, o aumento progressivo do custo da energia e a redução do custo dos rebocos térmicos, tornam-no, cada vez mais, uma solução economicamente mais vantajosa (custo inicial da aplicação do reboco térmico amortizado pela poupança de energia proporcionada). Por outro lado, estudos recentes concluíram que o preço dos diversos produtos imobiliários está correlacionado com a eficiência energética e com o certificado energético dos mesmos (Popescu *et al.*, 2012), sendo assim, do interesse do dono de obra construir ou reabilitar de modo a obter uma melhor certificação energética. Adicionalmente, existem benefícios fiscais quando se melhora a classe energética de uma fração reabilitada.

Através da incorporação de novos ou materiais menos usados nos rebocos térmicos, dando especial atenção aos materiais sustentáveis ou provenientes de outras áreas de exploração, é possível melhorar as características térmicas e/ou mecânicas destes rebocos térmicos, contribuindo assim também para um produto de construção mais sustentável e economicamente mais vantajoso.

De acordo com a EN 998-1 (CEN, 2010) os rebocos térmicos têm que respeitar os requisitos que se encontram sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Requisitos exigidos a rebocos térmicos pela EN 998-1 (CEN, 2010)

Parâmetro	Massa volúmica aparente [Kg/m ³]	Resistência à compressão [N/mm ²]	Aderência [N/mm ²]	Absorção de água por capilaridade [kg/m ² .min ^{0,5}]	Coefficiente de permeabilidade ao vapor [-]	Coefficiente de condutibilidade térmica [W/m.°C]	Reação ao fogo [-]	Durabilidade [-]
Limites a respeitar (Classe)		0,4 a 2,5 (CS I) 1,5 A 5,0 (CS II)	≥ valor declarado e tipo de rotura	C _c ≤ 0,4 (W1)	μ ≤ 15	λ ≤ 0,1 (T1) λ ≤ 0,2 (T2)		
Método de Ensaio	EN 1015-10	EN 1015-11	EN 1015-12	EN 1015-18	EN 1015-19	EN1745	EN 13501-1	
Parâmetro a declarar	x		x				x	x
Parâmetro a respeitar		X		X	X	X		

De modo a respeitar a norma em vigor é necessário que os rebocos térmicos apresentem um valor mínimo de resistência à compressão de 0,4 N/mm², valor que é muitas vezes condicionante. Contudo, estão disponíveis no mercado rebocos com valores relativamente superiores ao mínimo, podendo mesmo ir até valores da ordem dos 3,0 N/mm².

É exigido pela norma EN 998-1 (CEN, 2010) um coeficiente de permeabilidade ao vapor inferior ou igual a 15, sendo que atualmente estão disponíveis rebocos com valores coeficiente de permeabilidade ao vapor de água reduzidos, por exemplo de 2,1 no caso da “*Tecwool F*” (Tecresa, 2017) e inúmeros com valores inferiores a 8. Em simultâneo é necessário que apresentem uma reduzida absorção de água por capilaridade, sendo o seu valor máximo balizado por 0,4 kg/m².min^{0,5}.

De todos os parâmetros apresentados na Tabela 1 é de realçar o coeficiente de condutibilidade térmica, uma vez que este é determinante para o cálculo do balanço térmico de um edifício, podendo ser elevado até 0,2 W/m².°C (Classe T2). De acordo com Sequeira *et al.* (2016) a legislação em vigor encontra-se

desatualizada, no sentido em que, os valores declarados pelos produtores para o coeficiente de condutibilidade térmica de rebocos térmicos é já bastante inferior à classe mais restrita, T1 ($\lambda \leq 0,1$ W/m.°C).

2.3 Mercado Europeu dos rebocos térmicos

A implementação de leis cada vez mais rigorosas no que diz respeito a edificações sustentáveis, o aumento da sensibilidade ambiental por parte da sociedade, o aumento progressivo do custo da energia e a necessidade de garantias de conforto e da preservação estética dos edifícios impulsionaram o desenvolvimento de novos produtos, os rebocos térmicos. Por outro lado, os produtores têm cada vez mais focado os seus recursos na otimização do processo de fabrico e no desenvolvimento de novos rebocos térmicos, de modo a que estes sejam economicamente mais vantajosos e mais competitivos face a outras soluções de isolamento térmico. Posto isto, são cada vez mais os rebocos térmicos disponíveis no mercado Europeu, que correspondem às exigências de um mercado em constante mudança. Na Tabela 2 e no Anexo 1 encontram-se especificações de diferentes rebocos térmicos presentes no mercado Europeu. É importante referir que alguns espaços das tabelas que se seguem não se encontram preenchidos, dado que estas foram completadas apenas com os valores disponibilizados no catálogo do produtor.

Uma propriedade intrínseca aos rebocos térmicos é o reduzido valor de resistência à compressão, sendo muitas vezes este valor condicionante e não permitindo que sejam classificados como rebocos térmicos segundo a EN 998-1 (CEN, 2010). Foi possível aferir que a maioria dos rebocos térmicos têm uma resistência à compressão compreendida entre 0,4 e 2,5 N/mm² (classe C1), apresentando valores próximos da unidade, do limite mínimo ou sendo somente indicado a sua classe. No entanto, já se encontram disponíveis rebocos térmicos que conseguiram ultrapassar a barreira dos 2,5 N/mm², chegando a ter valores declarados para a resistência à compressão de 3,2 N/mm², como é o caso da “*Thermofond*” da Chiraema que faz parte do domínio da classe C2 (Chiraema, 2015b).

No mercado Europeu estão disponíveis rebocos térmicos que pertencem à classe T1, com coeficientes de condutibilidade térmica muito reduzidos, como é o caso do reboco térmico “*Aislone*”, comercializado pela Weber, que apresenta um valor de 0,042 W/m.°C. Quando se compara este valor com o limite superior da classe T1 (0,1 W/m.°C) é possível perceber que este último não é representativo e não se ajusta à realidade do mercado, visto ser muito superior aos valores dos coeficiente de condutibilidade térmica presentes nas fichas técnicas de um grande número destes produtos (Weber, 2016a).

Apesar de a norma europeia EN 998-1 (CEN, 2010) ser bastante explícita nos parâmetros que devem ser apresentados pelas empresas nas fichas técnicas dos produtos, com a elaboração da Tabela 2 e do Anexo 1 foi possível perceber que nem todos os valores correspondentes a cada parâmetro são relevados, o que não permite fazer uma análise global do comportamento do reboco térmico. Por exemplo, dois parâmetros cruciais para perceber o comportamento dos rebocos térmicos em relação ao contacto e à presença de água são o coeficiente de absorção de água por capilaridade (C_c) e o coeficiente de permeabilidade ao vapor de água (μ), estes parâmetros nem sempre são relevados. No

entanto, para os rebocos térmicos em que estes são revelados, os seus valores para o C_e inserem-se na classe W1, isto é, valores entre 0,2 e 0,4 kg/m².min^{0,5} e os valores para o coeficiente μ estão, normalmente, compreendidos entre 4 e 8.

Como referido por Soares (2018), outras características que são regularmente omitidas são a resistência à aderência, o tipo de rotura associado e a classe de reação ao fogo. A EN 998-1 (CEN, 2010) estipula que estes dois primeiros parâmetros apesar de não terem classes ou valores mínimos a cumprir, têm que ser declarados, pois permitem fazer uma previsão do comportamento dos mesmos.

Os valores de resistência à aderência neste conjunto são globalmente bastante reduzidos, tomando o valor máximo de 0,5 N/mm² no caso de um reboco térmico da classe T2 e de 0,39 N/mm² no caso da classe T1, sendo na maioria das vezes o valor igual ou próximo de 0,1 N/mm². Maioritariamente, os rebocos térmicos são produtos não combustíveis, classe A1.

Menos recorrente é a omissão da massa volúmica aparente, apresentando um valor máximo de 1000 kg/m³ para um reboco da classe T2 (condutibilidade térmica entre 0,1 e 0,2 W/m.°C) e um valor máximo de 795 kg/m³ para a classe T1 (condutibilidade térmica menor que 0,1 W/m.°C), porém comparando este último valor com outros valores da mesma classe é possível afirmar que não é um valor representativo, pois apesar de existirem outros rebocos térmicos com massas volúmicas aparentes da mesma ordem, a maioria insere-se no intervalo de 250 a 500 kg/m³. O reboco térmico investigado com melhor desempenho térmico ($\lambda=0,042$ W/m.°C) tem uma massa volúmica aparente de aproximadamente 150 kg/m³.

Uma análise detalhada dos rebocos térmicos presentes na tabela justaposta e no Anexo 1, permite concluir que, em relação aos materiais isolantes que fazem parte da constituição dos materiais, predomina a utilização do EPS, onde em 52 dos rebocos térmicos apresentados, 18 têm EPS na sua constituição. A utilização de cortiça, vidro expandido também são frequentes, com o objetivo de ser reduzir os impactos ambientais por de trás da conceção de rebocos térmicos, através da incorporação de materiais naturais e reciclados, respetivamente. Num dos rebocos referenciados foi utilizado o cânhamo, cujas boas características térmicas são conhecidas, além de ser um material ecológico contribuindo para a construção sustentável (Santos, 2013). Adicionalmente, no que se refere a ligantes observa-se que grande parte dos rebocos térmicos comercializados são à base de cal e/ou cimento.

No subcapítulo que se segue será realizada uma análise de diversos artigos científicos, nos quais se estudaram o desempenho em serviço de reboco térmicos e são descritas quais as diferentes abordagens a que se têm recorrido para estudar o desempenho em serviço dos mesmos.

Tabela 2 - Propriedades dos rebocos térmicos presentes no mercado Europeu

Reboco	Ligante	Material isolante	ρ	f_u	CRF	R_c	C_c	μ	λ	Fonte
Roefix CalceClima Thermo	Cal hidráulica NHL 5,0	Agregados leves à base de silicatos	450	-	A1	0,4 (CS I)	W0	7 - 10	0,074	(Roefix, 2019c)
Macrodry 800	Cal hidráulica NHL	Areia de sílica; caulim; argila expandida e perlite	875 ± 25	-	-	3,0 (CS II)	-	< 9	0,12	(Seico Compositions, 2018)
Webertherm x-light 042	-	Microesferas de EPS	150-200	≥ 0,08 / B	A2 s1 d0	>0,35 (CS I)	W1	≤ 5	0,042	(Weber, 2016b)
Isolteco	Ligantes hidráulicos especiais	EPS	250	≥ 0,1 / B	A2 s1 d0	1,16 (CS I)	W1	9,0 4	0,051	(Ardex, 2017)
Isolcap xx 500	Ligantes hidráulicos especiais	EPS	515	-	-	2,24 (CS I)	-	10, 2	0,104	(Edilteco, 2018f)
Ariete 250 F	-	EPS	265	-	-	0,83 (CS I)	-	6,9	0,067	(Edilteco, 2018a)
Isolteco Light 110	Ligantes hidráulicos	EPS	130	0,1	A2 s1 d0	0,528 (CS I)	W1	4,6	0,043	(Edilteco, 2019b)
Isolteco 150	Ligantes hidráulicos	EPS	165	0,1	A2 s1 d0	1,16 (CS I)	W1	9	0,058	(Edilteco, 2017a)
Isolteco 230	Ligantes hidráulicos	EPS	245	0,1	A2 s1 d0	1,28 (CS I)	W1	9	0,063	(Edilteco, 2017b)
Isolsan 230	Ligantes hidráulicos	EPS	245	0,38	A2 s1 d0	1,28 (CS I)	W1	9	0,063	(Edilteco, 2019a)
Isolcap light 110	-	EPS	130	-	-	0,528 (CS I)	-	5,1	0,043	(Edilteco, 2018e)
Isolcap 250	-	EPS	250	-	-	0,83 (CS I)	-	6,9	0,067	(Edilteco, 2018c)
Isolcap Fein 300	Ligantes hidráulicos	EPS	300	-	-	1,61 (CS I)	-	7,2	0,080	(Edilteco, 2018d)
Isocalp speed 525	Ligantes hidráulicos	EPS	525	-	-	1,7 (CS I)	-	10, 2	0,095	(Edilteco, 2018b)
Tecwool F	Cimento	Lã de rocha	328 ± 10%	≥ 0,011 / (coesiva)	A1	0,18 (CS I)	-	2,1	0,061	(Mercor Tecresa, 2017)
Tecwool T	Cimento	Lã de rocha	175 ± 10%	≥ 0,014 / (coesiva)	A1	-	-	-	0,0456	(Mercor Tecresa, 2015b)
Tecwool 825	Cimento	Lã de rocha	385 ± 10%	-	A1	-	-	-	0,045	(Mercor Tecresa, 2015a)
Sanawarme	Cal hidráulica	-	700	0,18	A1	1,5 (CS I)	W1	9	0,056	(Azichem, 2019)
Keythermo Fond	Ligante hidráulico	Vidro expandido	-	≥ 0,3 / B	A1	3,2 (CS II)	W0	10	0,087	(Euwork, 2017)
Tectoria TH1	Cal hidráulica	-	600	0,2	A1	CS II	W1	< 15	0,152	(Kimia, 2017)
Thermofond	Ligante hidráulico	Vidro expandido	600	≥ 0,3 / B	A1	3,2 (CS II)	W0	10	0,086	(Chiraema, 2015b)
Thermo Rinzafo	Ligante hidráulico	Vidro expandido	700	≥ 0,5 / B	A1	(CS II)	W0	<1 5	0,086	(Chiraema, 2015a)
Asciugo TD	Ligante hidráulico	EPS	333	≥ 0,1 / B	-	(CS I)	-	9	0,053	(Chiraema, 2019a)
Drywall	Cimento	EPS	200	-	-	(CS I)	-	9	0,053	(Chiraema, 2019b)
TF 2000	Cal hidráulica natural NHL 3,5	Vidro expandido	450	≥ 0,2 / B	A1	(CS I)	W0	6	0,086	(Chiraema, 2019c)
Fixit 222	Cal aérea, cimento branco	Agregados de aerogel	220	-	A2 s-1 d-0	(CS I)	W1	4-5	0,028	(Roefix, 2019a)

Legenda: ρ – massa volumica aparente [kg/m³]; f_u – aderência [N/mm²] e tipo de rotura (**A** – rotura adesiva; **B** – rotura coesiva no reboco; **C** – rotura coesiva no suporte); **CRF** – Classe de reação ao fogo (**A1**- produtos não combustíveis; **A2** e **B** – produtos combustíveis; **s1** - classe de produção de fumo; **d0** – classe de produção de gotículas); **D** – durabilidade; R_c – resistência à compressão [N/mm²]; C_c - absorção de água por capilaridade [kg/m².min^{0,5}] (**W0** – C_c não especificado; **W1** – $C_c \leq 0,4$; **W2** – $C_c \leq 0,2$); μ – coeficiente de resistência à permeabilidade ao vapor; λ – coeficiente de condutibilidade térmica [W/m.°C]; **Nota:** Não foram encontrados rebocos com classe de durabilidade.

2.4 Desempenho em serviço de rebocos térmicos

No decorrer deste subcapítulo serão apresentados, analisados e resumidos artigos relativos ao estudo, avaliação e quantificação do desempenho em serviço de rebocos térmicos e enumeradas as diferentes abordagens utilizadas pelos investigadores para este fim.

Na Figura 1 é apresentado um fluxograma com as diferentes abordagens possíveis para o estudo do desempenho em serviço de rebocos térmicos, podendo este ser realizado em laboratório ou *in situ*.

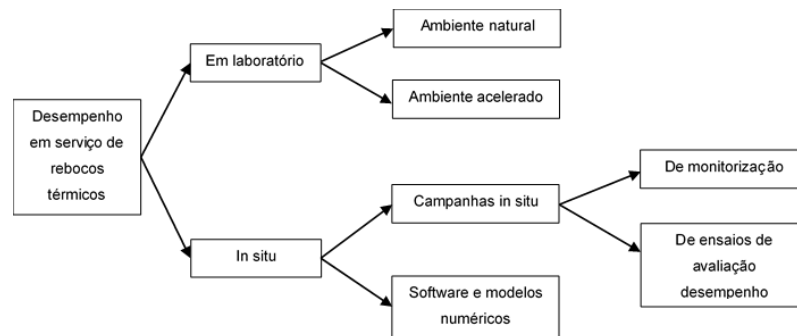


Figura 1 - Fluxograma das abordagens de avaliação de desempenho em serviço de rebocos térmicos

O desempenho de um reboco térmico pode ser avaliado e quantificado através da realização de ensaios experimentais em laboratório. Estes por sua vez, podem ser realizados em condições de exposição naturais ou em ambiente acelerado. A realização de ensaios experimentais em provetes permite que se tenha uma maior compressão do comportamento expectável dos mesmos quando aplicadas *in situ*. Nesta secção serão apresentados alguns artigos nos quais se realizaram campanhas experimentais em rebocos térmicos, primeiramente em ambiente natural e de seguida, em ambiente acelerado.

No que diz respeito ao desempenho em serviço *in situ* existem duas abordagens possíveis: ou é realizada uma campanha *in situ* em paramentos onde os rebocos térmicos foram previamente aplicados ou o estudo *in situ* é feito recorrendo a *softwares* ou modelos numéricos de simulação dinâmica.

Uma campanha de monitorização *in situ* permite registar as condições *in situ* (temperaturas e humidades relativas, entre outros) e comparar com as obtidas através de *softwares* e modelos numéricos, possibilitando assim a validação do modelo. Adicionalmente, uma monitorização antes e após a aplicação da solução de reboco térmico permite verificar os efeitos diretos da aplicação do mesmo. Por fim, possibilita que se verifiquem se existem condições para a ocorrência de condensações superficiais, através da comparação das temperaturas superficiais com a temperatura de orvalho.

A realização de campanhas *in situ* com recurso a ensaios de avaliação de desempenho permite catalogar o estado de degradação e avaliar a durabilidade da solução escolhida. Recorrendo à inspeção visual é possível fazer um levantamento de todas as anomalias observadas e, se feitas com regularidade, estudar o seu desenvolvimento ao longo do tempo. Por outro lado, a realização de ensaios *in situ*, permite a comparação dos resultados com os obtidos em laboratório ou em outras soluções e até mesmo investigar de que modo as anomalias têm impacto nos resultados obtidos.

Outra abordagem consiste em utilizar *softwares* ou modelos numéricos. Estes permitem o estudo de inúmeras variáveis e soluções distintas em simultâneo, permitindo retirar conclusões mais específicas no que diz respeito à variabilidade de um parâmetro, contribuindo assim para que se atinja uma melhor eficiência energética e uma redução dos riscos associados à presença de humidade. Por exemplo, é possível aferir diretamente os efeitos da aplicação de um reboco térmico numa parede. Realizando várias simulações com diferentes espessuras é possível avaliar os impactos do incremento da espessura. É ainda possível, através de medições realizadas *in situ* validar o modelo número.

No decorrer dos seguintes subcapítulos serão resumidos os trabalhos que têm sido desenvolvidos, por vários autores, no âmbito da avaliação do desempenho em serviço de rebocos térmicos *in situ*. Descrevendo primeiramente os estudos em que se realizaram campanhas *in situ* e, seguidamente, os estudos em que se recorreram a *softwares* ou modelos numéricos.

2.4.1 Desempenho em serviço de rebocos térmicos em laboratório

2.4.1.1 Ensaios experimentais em ambiente acelerado

Nos últimos anos inúmeros investigadores têm focado o seu interesse em reduzir a condutibilidade térmica dos rebocos térmicos e os impactos ambientais associados à sua aplicação através da otimização dos seus constituintes (agregados leves, ligantes e adições). Algumas propriedades dos rebocos térmicos estudados em artigos científicos relativos a ensaios experimentais em ambiente laboratorial estão presentes na Tabela 9.

Fenoglio *et al.*, (2018) explorou os efeitos que a aplicação de produtos renováveis e de excedentes industriais têm nas características físico-mecânicas de rebocos. Em Vale *et al.* (2014) chegaram à conclusão que a incorporação de grande percentagens de agregados leves conduz a reduções significativas da resistência mecânica. Contudo, no que diz respeito aos rebocos térmicos industriais esta redução é atenuada pela incorporação de adjuvantes e de adições, não tendo implicações na classe de desempenho mecânico segundo a EN 998-1 (CEN, 2010), continuando a serem classificadas como CS I ou CS II. Na Tabela 3 encontram-se sintetizadas algumas propriedades dos mesmos.

Tabela 3 - Propriedades dos rebocos estudados por Vale *et al.* (2014)

Argamassas / Características	Tipo de argamassa	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)	Resistência à aderência (tipo de rutura)	Porosidade (%)	Absorção de água por capilaridade (kg/m ² .min ^{0,5})	Condutibilidade térmica (W/m.°C)	Densidade (kg/m ³)
Cal, cimento e EPS (100% vol)	Industrial	0,36	0,21	70	0,07 (coesiva)	-	0,92	0,06	237
Cal, cimento e EPS (70-80% vol)	Industrial	1,25	0,77	620	0,21 (adesiva)	-	0,31	0,1	432
Cimento e cortiça (70-80% vol)	Industrial	4,44	1,89	2110	0,36 (adesiva)	46,4	0,13	0,23	863
Cal e cortiça	Industrial	2,10	1,13	1160	0,29 (adesiva)	47,3	0,67	0,14	642
Cimento	Tradicional	16,14	3,43	15140	0,31 (adesiva)	25,6	0,74	1,34	1885
Cimento e cortiça (80% vol)	Tradicional	2,08	1,15	1420	0,11 (adesiva)	37,5	0,64	0,27	855
Cimento e EPS (85% vol)	Tradicional	2,30	0,88	2020	0,20 (adesiva)	-	0,23	0,28	683

Ensaios experimentais foram realizados por Walker e Pavía (2015) de modo a calcular propriedades térmicas de sete diferentes soluções de isolamento térmico: pintura térmica, aerogel, cortiça e cal, cânhamo e cal, placa de silicato de cálcio, painel de fibra de madeira e placa de PIR (Tabela 4).

Tabela 4 - Propriedades térmicas dos materiais de isolamento estudados por Walker e Pavía (2015)

Solução	Densidade (kg/m ³)	Condutibilidade térmica (W/m.°C)	Calor específico (J/kg.°C)
Aerogel	509,4	0,016	1233,5
Cal e Cânhamo	602,6	0,090	1068,0
Cal e Cortiça	806,2	0,065	866,5
PIR	233,4	0,034	1421,1

Barreca e Fichera (2013) estudaram os efeitos da adição de diversas percentagens de caroços de azeitona em provetes à base de cal ou cimento. Provaram que é possível reduzir a condutibilidade térmica em cerca de 76% e a densidade em 30%, ao adicionar caroços de azeitona, correspondente a 70% do peso seco do reboco, obtendo um coeficiente de condutibilidade térmica de 13,31 W/m².°C, encontrando deste modo uma utilidade para os excedentes da exploração agroindustrial, incorporando-os em outras indústrias. Por sua vez, a incorporação dos mesmos, causa o aumento da absorção de água. A Tabela 5 ilustra os resultados obtidos.

Tabela 5 - Propriedades dos rebocos estudados em Barreca e Fichera, (2013)

Percentagem de caroços de azeitona	0,00	20,00	40,00	50,00	60,00	70,00
Coeficiente de transmissão térmica (W/m ² .°C)	54,60	36,10	26,15	19,20	15,20	13,31
Densidade (kg/m ³)	1654,96	1510,21	1376,21	1224,76	1180,86	1147,94
Absorção de água (%)	22,21	23,69	25,12	26,63	30,35	31,57

i) Rebocos à base de cal com características térmicas

Fenoglio *et al.* (2018) estudaram os impactos da incorporação de diferentes percentagens de perlite em rebocos térmicos à base de cal hidráulica natural e cimento. Observaram que o aumento do teor de perlite conduziu a reduções da densidade, reduzindo, aproximadamente, de 600 kg/m³ para 250 kg/m³ quando se aumenta o teor de perlite de 25% para 40%. Verificou-se que o aumento do teor de perlite conduziu a uma redução de densidade e a uma redução da condutibilidade térmica. Contudo, um teor de perlite superior a 40% não tem impacto significativo na redução da condutibilidade térmica. Por fim, Sengul *et al.* (2011) investigaram a consequência da adição de perlite expandida em betões leves.

Carbonaro *et al.* (2015a, 2015b) estudaram rebocos cujas formulações continham cal hidráulica natural e algumas cimento Portland e, no que diz respeito a agregados, foram adicionados grânulos de EPS, perlite expandida, palha de trigo triturada, vermiculite expandida e grânulos de cortiça obtidos pela reciclagem de rolhas de garrafas e grânulos de espiga de milho oriundos de desperdícios de processos agrícolas. Uma análise das características térmicas dos mesmos permitiu concluir que os rebocos térmicos feitos à base de materiais orgânicos têm condutibilidade da ordem dos que são feitos à base de materiais não orgânicos; que a formulação com cimento sulfoaluminato e material orgânico tem uma condutibilidade térmica mais baixa que as restantes e muito próxima da formulação à base de EPS.

Bianco *et al.* (2015) através da realização de ensaios experimentais aferiram que os valores obtidos para a condutibilidade térmica de agregados de origem vegetal são da mesma ordem de grandeza que os resultados obtidos para outros tipos de agregados, como cortiça e EPS. A adição de agregados de espiga de milho e de perlite expandida em rebocos de cal conduz a condutibilidades térmicas de 0,089 W/m.°C sem secagem e de 0,086 W/m.°C com 48 horas de secagem para uma temperatura de 25°C.

Em 2010, Silva *et al.* desenvolveram uma série de ensaios experimentais em rebocos à base de cal e cimento com agregados de perlite ou de vermiculite. A incorporação de perlite e vermiculite causa uma redução das suas propriedades mecânicas e da densidade do reboco, através da adição de agregados leves, mas também pelo aumento do teor de ar. A retração do reboco aumenta de forma diretamente proporcional com o teor de agregados leves, tendo maior expressão quando se adicionam agregados de vermiculite. O aumento do teor de perlite, conduz a um aumento da quantidade de água absorvida

por capilaridade e à necessidade de uma maior relação água/cimento para obter a mesma trabalhabilidade, no entanto o aumento da percentagem de perlite conduz a uma redução da mesma.

O aumento do teor de diatomáceas calcinadas conduz a uma redução da condutibilidade térmica, contrariamente verificou-se um incremento da mesma com o aumento do teor de areia dolomítica. Adicionalmente que o aumento da quantidade de água de amassadura, conduz a uma redução da densidade e da condutibilidade térmica (maior rede de poros). Finalmente, que o aumento tempo de compactação (0, 180 ou 600 s) provoca aumentos nos valores da condutibilidade térmica, de forma mais expressiva em rebocos com maiores percentagens de agregados (Barbero-barrera *et al.*, 2014).

ii) Rebocos à base de cimento com características térmicas

No artigo desenvolvido por Torres e García-Ruiz (2009) ao cimento branco foram adicionados agregados de perlite expandida, vidro expandido, microesferas ocas e poliestireno expandido. Perceberam que a adição destes materiais conduz a um aumento da trabalhabilidade e a uma maior capacidade de espalhamento, no entanto conduzem a reduções significativas da resistência à flexão e à compressão, sendo estas mais expressivas no caso da adição de perlite expandida e de poliestireno.

Abidi *et al.* (2015) entenderam que o aumento do teor de cimento em rebocos à base de cimento conduz a um aumento da resistência e a um impacto mínimo na condutibilidade térmica final, por outro lado a adição de vermiculite e perlite conduz a um aumento da porosidade e a uma redução da condutibilidade térmica. Para uma adição de 5% e 25% (face ao peso total) de vermiculite a condutibilidade térmica reduz de 0,5 W/m.°C para 0,45 e 0,23 W/m.°C, respetivamente.

Brás *et al.* (2013) demonstraram que a cortiça é mais eficaz do que o EPS na redução da condutibilidade térmica, uma vez que permitem, respetivamente, uma redução de 75% e 60% em relação ao valor de um reboco tradicional cimentício. A trabalhabilidade e a resistência mecânica reduziram com o aumento das suas dosagens, tendo sido mais expressiva aquando a adição de cortiça.

Rebocos cimentícios foram também alvo de investigação por parte de Stefanidou (2014). Concluiu que a adição de areia de sílica, pedaços de vidro reciclados de garrafas e esferas de vidro causam a redução da condutibilidade térmica, mas não ao ponto de serem considerados como rebocos térmicos, contudo a sua utilização pode ser vantajosa uma vez que o custo de produção é 18% inferior ao de um reboco tradicional. Adicionalmente, aumentam a porosidade e reduzem a densidade do conjunto.

Brás *et al.* (2014) investigou rebocos à base cal hidráulica natural ou cimento com adição de agregados leves de cortiça. A realização do ensaio de abaixamento pelo cone de Abrams permitiu perceber que se obtêm rebocos com boa trabalhabilidade quando a incorporação de grânulos de cortiça não ultrapassa os 70%. A incorporação de grânulos de cortiça em rebocos à base de cal causa uma diminuição, enquanto que a sua adição em rebocos à base de cimento conduz ao aumento da permeabilidade ao vapor de água. A melhor solução estudada para aplicar em pontes térmicas corresponde a um reboco à base de cal hidráulica natural com 70% de grânulos de cortiça incorporado.

O material EPS é um material que apresenta uma densidade e uma absorção de água muito reduzida, e uma boa compatibilidade com diversos materiais usados na construção civil. Filipe *et al.* (2012) focou o seu estudo na incorporação deste material em rebocos que têm o cimento branco como ligante. As características deste reboco encontram-se sintetizadas na Tabela 6.

iii) Rebocos à base de gesso com características térmicas

O gesso é um ligante que tem um longo historial de aplicação em superfícies interiores, deste modo diversos investigadores têm estudado as consequências higrotérmicas da incorporação de agregados leves em rebocos à base de gesso. Maia *et al.* (2015) estudou os efeitos da incorporação de grânulos de cortiça em rebocos à base de gesso. A incorporação de cortiça permitiu uma redução de densidade (de 1100 kg/m³ para 600 kg/m³) e da condutibilidade térmica (de 0,25 W/m.°C para 0,11 W/m.°C) face aos valores obtidos para um reboco de referência à base de gesso.

Gutiérrez-González *et al.* (2012a) concluíram que o aumento da percentagem de incorporação de excedentes de espuma de poliuretano em rebocos de gesso conduz à redução da sua densidade, da sua condutibilidade térmica e da sua resistência mecânica. No mesmo ano, Gutiérrez-González *et al.* (2012b) verificaram que o pó de poliamida é compatível com rebocos à base de gesso e que causa a redução da densidade, da resistência mecânica e um aumento da resistência térmica e da permeabilidade do conjunto. Pardo *et al.* (2015) confirmaram que a adição de casca de arroz em rebocos de gesso é eficaz na redução da fendilhação (maiores resistências mecânicas).

iv) Outros sistemas de paredes térmicas

Nos últimos anos foram publicados diversos artigos científicos sobre o tema da incorporação de grânulos de aerogel em rebocos térmicos, com o intuito de se desenvolverem rebocos térmicos super-isolantes. De seguida, são apresentados resumos de alguns desses artigos.

Ibrahim *et al.* (2014a, 2014b) caracterizaram rebocos térmicos inovadores à base de aerogel de modo a utilizar os resultados em programas de simulações higrotérmicas, para avaliar o desempenho dos mesmos sob diferentes condições e configurações. Os resultados encontram-se sintetizados Tabela 7.

Tabela 6 - Características de rebocos de cimento branco e EPS em Filipe *et al.* (2012)

Características	EPS / cimento branco
Densidade (kg/m ³)	250
Absorção de água por capilaridade (kg/m ² .min ^{0,5})	≤0,05
Coefficiente de resistência à permeabilidade ao vapor de água (μ)	< 10
Resistência à compressão (Mpa)	CSI
Resistência à flexão (Mpa)	0,6
Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	500
Condutibilidade térmica (W/m.°C)	0,069
Classe de reação ao fogo	B s1 d0
Aderência (MPa)	0,15

Tabela 7 – Características do reboco térmico estudado em Ibrahim *et al.* 2014a, 2014b

Características	EPS / cimento branco
Densidade (kg/m ³)	156
Condutibilidade térmica (W/m.°C)	0,027 ± 3 %
Calor específico (J/kg.°C)	990 ± 5 %
Porosidade (%)	98
Coefficiente de resistência à permeabilidade ao vapor de água (μ)	4,25 ± 6 %
Permeabilidade ao vapor de água (10 ⁻¹¹ kg/s.m.Pa)	5,1 ± 6 %
Absorção de água por capilaridade (kg/m ² .s ^{0,5})	0,184 ± 15 %

Também Carmeliet e Zimmermann (2011) desenvolveram um reboco térmico à base de aerogel, que pode ser aplicado por projeção mecânica e que apresenta uma condutibilidade térmica garantida de 0,025 a 0,030 W/m.°C.

A substituição de 20% a 30% em volume de areia por argila expandida ou aerogel ou de grânulos de cortiça permite a obtenção de rebocos cimentícios com maior absorção de água por capilaridade do que um reboco tradicional de cimento, contudo com uma maior permeabilidade ao vapor de água o que faz com que estas sequem mais rapidamente; permite ainda a obtenção de rebocos com maiores resistências térmicas (António *et al.*, 2015).

Uma análise experimental de rebocos à base de cimento e cal com EPS e diferentes porções de aerogel de sílica foram realizados por Gomes *et al.* (2018). A introdução de uma quantidade de grânulos de aerogel equivalente ao peso do reboco industrial permite que a sua condutibilidade seja reduzida em 55% quando comparada com um reboco à base de EPS. Os valores desta, para ambos os rebocos com EPS ou aerogel, são muito sensíveis aos valores do seu teor de humidade.

No mesmo ano, também no campo da incorporação do nanomaterial aerogel em rebocos, Pedroso *et al.* (2018) realizaram uma campanha experimental em provetes onde foram aplicados rebocos com aerogel em suportes de betão; obtiveram uma condutibilidade térmica muito reduzida (0,0321 W/m.°C), uma permeabilidade ao vapor de água de acordo e uma absorção de água por capilaridade superior aos limites impostos pela EN 998-1 (CEN, 2010), um valor de resistência à tração pura inferior a 0,08MPa (ETAG 004) e baixa resistência ao choque.

Ainda no âmbito da aplicação de aerogel em rebocos térmicos, para o projeto P2020, foram adicionadas diferentes percentagens de partículas de aerogel (0%, 25%, 56%, 119%, 133% e 181% face a quantidade de reboco industrial) a um reboco térmico industrial com partículas de EPS e a outro com partículas de perlite. A introdução de elevadas percentagens de aerogel causa reduções drásticas na condutibilidade térmica, contudo também em termos de resistência mecânica (ICEUBI, 2017).

Fátima *et al.* (2016) desenvolveram um reboco térmico otimizado, que tem como principais constituintes o cimento Portland e cinzas volantes como ligante, aerogel como agregado principal e diferentes tipos de agregados adicionados em menores proporções, como grânulos de cortiça, argila e perlite expandida. O reboco térmico desenvolvido apresenta uma condutibilidade térmica de 0,084 W/m.°C e uma resistência à compressão de 0,92 MPa.

Soares (2018) compara as propriedades obtidas em rebocos cimentícios com aerogel, comercial e outro produzido em laboratório, com um reboco tradicional à base de cimento (Tabela 8).

Tabela 8 - Propriedades dos rebocos desenvolvidos em Soares (2018)

Ligantes e adições	Agregado	Densidade (kg/m ³)	Porosidade (%)	Condutibilidade térmica aos 28 dias (W/m.°C)	Condutibilidade térmica seca (W/m.°C)	Resistência à compressão (MPa)	Absorção de água por capilaridade (kg/m ² .min ^{0,5})	μ
Cimento (50% wt) Cinzas volante (50% wt)	areia de sílica (<2mm)	1875	23,8	1,171	1,079	4,97	2,8	19
	aerogel comercial (<2mm)	418	71,8	0,072	0,066	0,47	0,48	14
	aerogel sintetizado (<2mm)	718	58,9	0,113	0,085	1,03	1,3	16

Na última década foram desenvolvidos inúmeros rebocos térmicos nos quais foram incorporados microcápsulas de PCM, uma vez que o recurso a materiais de construção com a incorporação dos mesmos permite que se atinga um maior conforto térmico, através do aumento da capacidade de retenção de calor e da estabilização das temperaturas interiores, contribuindo assim para uma maior

poupança energética. A incorporação de PCM permite a poupança económica através do retardamento dos consumos para horas em que a tarifa é menor (Monteiro *et al.*, 2005).

Sá *et al.* (2012) melhorou termicamente um reboco térmico industrial à base de cal e cimento através incorporação de PCM, desenvolvido assim um novo produto super isolante com densidade de 1170 kg/m³ e condutibilidade térmica de 0,0295 W/m.°C. Chegaram à conclusão de que microcápsulas de PCM mantêm a sua integridade em rebocos endurecidos à base cal hidráulica natural e cimento.

A incorporação de microcápsulas de PCM em rebocos à base de cal hidráulica natural, gesso e carbonato de cálcio, foi estudada por Carbonaro *et al.* (2015a). Avaliaram a performance térmica de três soluções distintas, sem a incorporação de PCM e dois com uma incorporação de 14%, com pontos de fusão de 23°C e 26°C. A incorporação de 14 % de microcápsulas de PCM conduz a uma redução da condutibilidade térmica para cerca de metade do valor registado para o reboco de referência.

Cunha *et al.* (2009) concluíram que adição de fibras e de gesso em rebocos com microcápsulas de PCM e cal permitem controlar a fissuração associada à introdução das mesmas. Existe a necessidade de se adicionar maiores quantidades de água para obtenção de uma boa trabalhabilidade em rebocos com a incorporação de PCM, por consequência as resistências à flexão e compressão máximas foram registadas para rebocos com percentagens de PCM entre 15% e 20%.

2.4.1.2 Ensaios experimentais em ambiente acelerado

Ensaio de envelhecimento são outra forma de avaliar a durabilidade em serviço de rebocos térmicos e de tentar prever o seu desempenho quando aplicados em condições de exposição reais. A principal vantagem da realização dos mesmos consiste que em poucas horas ou dias é possível simular anos de exposição a condições atmosféricas e, posteriormente, avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos provetes envelhecidos. A analogia entre os resultados obtidos antes, durante e após a realização de ciclos de envelhecimento permite a quantificação direta da alteração das suas propriedades.

Berardi e Nosrati (2018) submeteram produtos com aerogel incorporados (rebocos, painéis e rolo) a ensaios de envelhecimento: ciclos de gelo-degelo, de elevadas temperaturas, de elevadas humidades relativas e de exposição a uma forte radiação ultravioleta, enquanto se alternava entre temperaturas elevadas e humidades relativas elevadas. Os investigadores afirmam que, apesar da exposição a ciclos envelhecimento, o aumento da condutibilidade térmica dos materiais com aerogel é normalmente inferior a 10% e que continua a ser inferior à de certos materiais isolantes tradicionais não envelhecidos.

Ciclos de gelo-degelo foram aplicados por Govaerts *et al.* (2018) a protótipos de paredes revestidos com reboco à base de cal, de modo a avaliar a resistência da camada de revestimento a este tipo envelhecimento. Concluíram que esta é resistente às ações climáticas, visto que não se verificou a sua pulverização, nem o aparecimento de fendilhação.

Maia *et al.* (2015) realizaram ensaios de variação cíclica de temperatura em rebocos aplicados em tijolo cerâmico. Não se desenvolveram fissuras a olho nu e o valor da resistência ao arrancamento por tração não reduziu para valores não aceitáveis. No que diz respeito, ao ensaio de gelo-degelo os autores

concluíram que a presença de água líquida ou de teores de humidade relativas elevados que possam levar à ocorrência de condensações, são prejudiciais e terão impactos graves nos provetes.

Silva (2004) investigou os efeitos de ensaios de envelhecimento nas propriedades de rebocos com materiais poliméricos (resina epóxi e poliéster). Os provetes, submetidos ao ensaio de névoa salina, apresentam maiores perdas de resistência à compressão do que aqueles sujeitos a ciclos de temperaturas. A resistência à flexão dos rebocos com resina epóxi são relativamente mais afetadas do que as dos rebocos com resina de poliéster, para ambos os ensaios de envelhecimento. Em relação à resistência à compressão os rebocos com resinas de epóxi foram significativamente mais afetados.

Puertas *et al.* (2003) conclui que a adição de fibras de polipropileno em rebocos cimentícios não conduz a melhorias da resistência a ciclos de envelhecimento (gelo-degelo e molhagem-secagem). Associado à incorporação de escórias ativadas em rebocos está um aumento da resistência mecânica e um bom comportamento face aos ciclos de envelhecimento. A adição de metacaulino em rebocos à base de cal conduz a um aumento da resistência aos ciclos de gelo-degelo Vejmelková *et al.* (2012).

Segundo, Wang e Meyer (2012) a substituição parcial de areia por poliestireno reciclado de alto impacto em rebocos cimentícios permite reduzir a densidade do conjunto, o módulo de elasticidade, a condutibilidade térmica e o coeficiente de permeabilidade ao vapor de água, isto sem qualquer alteração da resistência a ciclos de gelo-degelo (mesmo após 300 ciclos).

Di Bella *et al.* (2014) estudou a contribuição de fibras de reforço em rebocos à base de cal. Concluíram que as fibras naturais, kenaf e sisal, são alternativas válidas às fibras de polipropileno. A realização de testes em provetes que sofreram ciclos de gelo-degelo conduziu à redução da resistência mecânica dos mesmos, tendo sido esta mais expressiva na resistência à flexão. O aumento da absorção de água nos rebocos com fibras origina um maior aumento do volume nos poros, quando submetidas a temperaturas baixas e por consequência, microfendilhação e perda de coesão interna. Por outro lado, choques térmicos, registados nos ensaios de variação de temperatura, não têm impactos significativos.

De acordo com Degirmenci e Yilmaz (2009) o câmbio de 10% a 15% do peso de cimento por terra de diatomáceas, possibilita um aumento da resistência à compressão, após a aplicação de 25 ciclos gelo-degelo, devido à diminuição da absorção de água e ao efeito de filler das mesmas. Uma redução da resistência a ciclos de gelo-degelo foi registada por Hannawi e Prince-Agbodjan (2015) quando se adicionam resíduos plásticos de policarbonato a rebocos cimentícios, possivelmente pelo desenvolvimento de microfendilhação e de vazios.

Apesar de diversos artigos publicados sobre a avaliação do desempenho de rebocos através de ensaios de ambiente acelerado, existe a necessidade continuar a explorar este tema, visto que muitas relações e resultados ainda estão por explicar. Adicionalmente, perceber-se que existem poucos estudos publicados sobre aplicação de ensaios de envelhecimento acelerado a rebocos térmicos.

Tabela 9 - Resumo das propriedades dos rebocos térmicos presentes nos artigos sobre avaliação de desempenho em laboratório em ambiente natural

Fonte	Ligante	Agregados leves / % adicionada	Densidade (kg/m ³)	Condutibilidade Térmica (W/m.°C)	Propriedades mecânicas / Durabilidade
Filipe <i>et al.</i> (2012)	Cimento branco	EPS	250	0,069	Modulo elástico reduzido proporciona um risco de fendilhação reduzido. Pode ser aplicada por projeção mecânica, garantindo continuidade e boa aderência.
Sá <i>et al.</i> (2012)	Cal hidráulica natural e cimento	PCM 25%	1170	0,0295	Entalpia de 25 kJ/kg num intervalo de fusão de 23 °C a 25 °C.
Barbero-barrera <i>et al.</i> (2014)	Cal cálcica 90	Diatomáceas calcinadas (1:1 volume)	1100	0,082	O aumento do teor de diatomáceas calcinadas conduz a uma redução da condutibilidade térmica, contrariamente verificou-se um incremento da mesma com o aumento do teor de areia dolomítica.
		Diatomáceas calcinadas (1:3 volume)	750	0,072	
Bianco <i>et al.</i> (2015)	Cal hidráulica natural,	Perlite, espiga de milho 10 e 33 %	402 (sem secagem) e 400 (48 h de secagem)	0,089 (sem secagem) 0,086 (com 48 h de secagem)	A condutibilidade térmica dos rebocos aumenta linearmente com o aumento da temperatura. A aplicação de espiga de milho levou ao aumento das propriedades mecânicas e à possibilidade de aplicar rebocos com maiores espessuras.
Carbonaro <i>et al.</i> (2015a)	Cal hidráulica natural, gesso	-	1090	0,340	A condutibilidade térmica dos rebocos aumenta linearmente com o aumento da temperatura. O calor específico obtidos para os rebocos térmicos com PCM foi de ~15kJ/kg.
		PCM 14 % (fusão 23°C)	1302	0,181	
		PCM 14 % (fusão 26°C)	940	0,112	
Carbonaro <i>et al.</i> (2015b)	Cal hidráulica natural e cimento	EPS	-	0,087	Os rebocos térmicos feitos à base de materiais orgânicos têm condutibilidade da ordem dos que são feitos à base de materiais não orgânicos. A formulação com cimento sulfo-aluminoso e material orgânico tem uma condutibilidade térmica mais baixa que as restantes e muito próxima da formulação à base de EPS. A condutibilidade térmica dos rebocos aumenta linearmente com o aumento da temperatura, no intervalo de temperatura de 10°C a 40°C, corresponde ao intervalo de operação dos rebocos aplicados em edifícios.
		Perlite expandida	-	0,148	
	Cal hidráulica natural	Cortiça, perlite, zeólito	-	0,104	
		Cortiça; espiga de milho, celulose	-	0,115	
		Zeólito, vermiculite e perlite, espiga de milho	-	0,101	
Cal hidráulica natural e cimento	Cimento S-AL, perlite, espiga de milho e palha de trigo	-	0,086		
Maia <i>et al.</i> (2015)	Gesso	Cortiça	~600	0,11	μ (tina seca) de 9,5; μ (tina húmida) de 4,8 (menores que valores obtidos para o reboco corrente de gesso: 10,5 e 6,9 respetivamente). Adesão de 0,1 MPa (betão) e de 0,2 MPa (tijolo cerâmico) com rotura coesiva.
Walker e Pavia (2015)	Cal hidráulica natural	Cânhamo	602,6	0,090	Adição de agregados leves de cortiça reduz a densidade e a condutibilidade térmica do conjunto.
		Cortiça	806,2	0,065	
Fátima <i>et al.</i> (2016)	Cimento Portland (cinzas volantes)	Cortiça (20 vol%), argila (5 vol%) e perlite (5 vol%)	652	0,084	Resistência mecânica razoável (0,92 MPa); elevada porosidade (60%). Elevada área superficial (196,6 m ² .g ⁻¹).
Fenoglio <i>et al.</i> (2018)	Cal hidráulica natural e cimento	Perlite 40%	250	0,059	Diminuição da densidade e da condutibilidade com o aumento do teor de perlite.

2.4.2 Desempenho em serviço de rebocos térmicos *in situ*

No subcapítulo anterior foi desenvolvido o tema de desempenho de rebocos térmicos do ponto de vista laboratorial, artigos nos quais os investigadores avaliam e quantificam o desempenho físico e mecânico de rebocos térmicos. Surgiu, no entanto, a necessidade de avaliar o desempenho dos mesmos em condições reais e verificar se é garantido o mesmo nível de desempenho térmico que em laboratório e ao mesmo tempo a durabilidade, necessária para se torne uma solução vantajosa e competitiva.

Existem três motivos principais para a realização de campanhas *in situ*. O primeiro motivo para a sua realização é permitir a validação do *software* ou do modelo numérico. Na campanha *in situ* são instalados equipamentos e sensores que realizam leituras das condições atmosféricas e de valores de temperatura e humidade relativa a diferentes níveis de profundidade na parede. Estas medições são posteriormente comparadas com os resultados obtidos pelos modelos numéricos, validando os mesmos se os resultados forem semelhantes. Após a validação é possível realizar simulações para diferentes condições atmosféricas e para diferentes configurações construtivas.

A segunda razão para a realização de uma campanha *in situ*, tem como objetivo estudar o desempenho a longo prazo e a resposta do edifício face à aplicação de um reboco térmico. Conseguindo, com uma monitorização contínua, comparar diretamente diferenças de temperaturas e humidades relativas em zonas com diferentes soluções de rebocos térmicos entre si e com regiões sem reboco térmico aplicado, mas também a evolução ao longo do ano e verificar se se atingem valores de temperaturas e humidades relativas críticos. Outra razão para a realização de ensaios *in situ* é a necessidade de estudar o desempenho dos rebocos térmicos aplicados, aferindo se os resultados laboratoriais se mantêm quando aplicados em condições reais.

2.4.2.1 Campanhas *in situ* de monitorização

A forma mais fiável e com menor margem de erro para avaliar as consequências da aplicação de um reboco térmico causa num edifício é realização de uma campanha de monitorização. Fatores como irregularidades, defeitos de execução de suporte, diferentes espessuras de isolamento térmico ou qualidade de execução do sistema são parâmetros associados a rebocos aplicados *in situ* que introduzem variabilidade face aos resultados obtidos por programas de simulação e ensaios experimentais. A instalação de sensores antes, durante e após a execução da obra de requalificação de um edifício permite que dados referentes a diferentes temperaturas e humidades relativas sejam coletados e posteriormente analisados, permitindo compreender os impactos diretos da sua aplicação, comparar temperaturas interiores e exteriores entre si e entre zonas isoladas ou não termicamente. Posteriormente permite elaborar um estudo sobre a poupança energética e estudar se a solução é vantajosa do ponto de vista económico. Na Tabela 10 consta um quadro com artigos resumidos sobre o tema de campanhas de monitorização *in situ* de rebocos térmicos aplicados.

Ibrahim *et al.* (2014b) realizou uma campanha de monitorização *in situ* de modo a que fosse possível comparar e confrontar os resultados obtidos pelas simulações higrótérmicas realizadas no programa WUFI com os obtidos *in situ*. Ao longo desta campanha, com duração de duas semanas, foram registados valores relativos às condições climáticas exteriores através da instalação de uma estação

climática; da radiação solar horizontal e vertical com recurso a dois piranômetros; da temperatura e humidade relativa interior e exterior com recurso à colocação de um termohigrómetro no interior e outro no exterior; da temperatura e humidade relativa na interface do reboco térmico e do betão, valores obtidos através da colocação de um termohigrómetro nessa região e por fim, da velocidade e da direção do vento com recurso a um anemómetro.

Tabela 10 - Artigos estudados sobre campanhas de monitorização *in situ*

Referência	Objetivo	Resumo
Sá <i>et al.</i> (2012)	Desenvolver e caracterizar termicamente um reboco com incorporação de PCM.	Medições <i>in situ</i> (ambiente laboratorial): -Temperatura interior nas células
Ibrahim <i>et al.</i> (2014b)	Comparar o desempenho higrotérmico de diferentes rebocos térmicos e verificar qual a melhor configuração construtiva.	Medições <i>in situ</i> : -Sensores de temperatura e humidade relativa no exterior e na interface do betão e da camada de aerogel; -Medição da velocidade e direção do vento; -Medição da intensidade da radiação solar vertical e horizontal;
Bianco <i>et al.</i> (2015)	Calcular o coeficiente de transmissão térmica <i>in situ</i> de um reboco térmico com agregados de origem vegetal, de modo a comparar com os resultados obtidos experimentalmente e a energia que atravessa a parede diariamente.	Medições <i>in situ</i> : -Temperatura do ar e superficial interna; -Humidade relativa do ar; -Fluxo de calor que atravessa a parede exterior (com e sem isolamento térmico); -Imagens termográficas;
Walker e Pavía (2015)	Aferir o desempenho térmico de sete soluções diferentes de isolamento térmico.	Medições <i>in situ</i> : -Temperatura do ar e superficial interna; -Humidade relativa do ar; -Fluxo de calor que atravessa a parede exterior (com e sem isolamento térmico); -Imagens termográficas;
Carbonaro <i>et al.</i> (2016)	Estudar o desempenho de rebocos térmicos com agregados de origem vegetal.	Medições <i>in situ</i> : -Temperatura do ar e superficial interna; -Humidade relativa; - Percentagem de compostos orgânicos voláteis
Figueiredo <i>et al.</i> (2017)	Monitorização das condições interiores de dois quartos para analisar o conforto interior e validar os resultados da simulações.	Medições <i>in situ</i> : -Temperatura do ar e superficial interna; -Humidade relativa do ar;
Schuss <i>et al.</i> (2017)	Monitorizar a aplicação de rebocos térmicos com aerogel em edifícios históricos sob condições reais.	Medições <i>in situ</i> : -Temperatura e humidade relativa interna, externa, no interior do pano de alvenaria e nas regiões de mudanças de material; -Fluxo de calor que atravessa a parede exterior, Inspeção visual: -Monitorização do aparecimento de fendas (2anos);
Stahl <i>et al.</i> (2017)	Analisar os impactos da incorporação de um reboco térmico à base de aerogel num edifício histórico.	Medições <i>in situ</i> : -Sensores de temperatura e humidade no exterior e na interface da parede e da camada de aerogel; -Temperatura do ar; - Fluxo de calor que atravessa a parede exterior (com e sem isolamento térmico); -Imagens termográficas;
Fenoglio <i>et al.</i> (2018)	Estudar o desempenho higrotérmico e avaliar o impacto ambiental de rebocos térmicos à base perlite.	Medições <i>in situ</i> : -Temperatura do ar e superficial (interna e externa); -Humidade relativa do ar; - Fluxo de calor que atravessa a parede exterior (com e sem isolamento térmico); - Imagens termográficas;
Walker e Pavía (2018)	Aferir o desempenho higrotérmica de sete diferentes soluções de isolamento térmico (mesmo caso de estudo que em Walker e Pavía 2015).	Medições <i>in situ</i> : -Temperatura do ar e superficial interna; -Humidade relativa do ar; -Fluxo de calor que atravessa a parede exterior (com e sem isolamento térmico); -Imagens termográficas;

Após a aplicação de um reboco térmico de aerogel o maior gradiente térmico foi registado entre as superfícies opostas desta mesma camada devido à sua baixa condutibilidade térmica quando comparada com a da parede original. Devido às baixas temperaturas atingidas na Suíça, a acumulação de humidade e a ocorrência de condensações na interface anteriormente descrita causaria danos pelos ciclos de gelo/degelo e por conseguinte, a degradação da microestrutura do aerogel. Posto isto, Stahl *et al.* (2017), instalaram sensores de temperatura e humidade relativa nas superfícies interiores e exteriores da parede e na interface da camada de reboco térmico e da parede original, de modo a monitorizar as condições higrotérmicas do conjunto. Recorrendo aos registos foi possível traçar uma reta dos pontos de orvalho, concluindo que não se verificaram condições de ocorrência de condensações e deste modo não ocorre deterioração do reboco térmico por ação de ciclos gelo/degelo.

Também Schuss *et al.* (2017) monitorizaram os valores das temperaturas e das humidades relativas internas, externas, no interior de um pano de alvenaria, nas interfaces de mudança de material e o fluxo de calor que atravessa as paredes exteriores em estudo. A aplicação de aerogel com a mesma espessura que a solução original de EPS, permite um aumento da resistência térmica em 26%, sem impactos significativos na performance higrotérmica. Os autores realizaram uma campanha de monitorização de dois anos, com recurso à inspeção visual com o intuito de registar o desenvolvimento de fissuras em rebocos com e sem rede de reforço. Verificou-se o desenvolvimento de pequenas fissuras em rebocos térmicos com maiores teores de agregados finos sem rede de reforço. Wakili *et al.* (2015) numa campanha de monitorização visual verificaram que após seis meses nenhuma das quatro superfícies revestidas com rebocos térmicos com aerogel apresenta fissuração (sem redes de reforço).

Fenoglio *et al.* (2018) monitorizaram a aplicação de um reboco térmico com adição de perlite com o objetivo de analisar o comportamento térmico da solução sobre condições reais de operação. Com os dados registados foi possível concluir que a aplicação do reboco térmico com 30% de perlite conduziu a uma redução de 60% do coeficiente de transmissão térmica face ao valor registado para a parede original, reduzindo de 2,25 W/m²°C para 1,02 W/m²°C.

Também Carbonaro *et al.* (2016) realizaram uma campanha de monitorização de dois quartos distintos, um sem reboco térmico e outro com reboco térmico à base de cal hidráulica natural e cimento Portland e cimento sulfoaluminoso (S-AL) com agregados de perlite expandida e grânulos de espiga de milho e palha de trigo triturada aplicado pela superfície interior da parede exterior com uma espessura de 6 cm. A realização desta campanha permitiu concluir que a condutibilidade térmica média do reboco aplicado ($\lambda=0,112$ W/m.°C) é cerca de 30% maior que medida experimentalmente ($\lambda=0,086$ W/m.°C), tal diferença é consequência da influência do teor de água do mesmo e pelas condições climáticas (temperatura, vento e radiação solar).

Bianco *et al.* (2015) realizou uma campanha de monitorização de dois quartos de um edifício histórico em Itália, um onde aplicou um reboco térmico à base de cal hidráulica natural com agregados de perlite expandida e com grânulos de espiga de milho e outro no seu estado original, com o objetivo de calcular o coeficiente de transmissão térmica com e sem reboco térmico. Verificaram que a aplicação de 6 cm reboco térmico conduz a uma redução da perda de calor em 30%.

Em 2015, Walker e Pavia investigaram o desempenho térmico de sete diferentes soluções de isolamento térmico (pintura térmica, aerogel, cortiça e cal, cânhamo e cal, placa de silicato de cálcio, painel de fibra de madeira e placa de PIR) aplicados em um edifício histórico em Dublin. Os resultados da campanha monitorização permitiram calcular os valores para o coeficiente de transmissão térmica da parede intervencionada, aferindo que este reduz entre 34% e 61%, face ao reboco tradicional e que a pintura térmica não tem qualquer impacto no valor do mesmo. As maiores reduções estão associadas à solução de aerogel e à de PIR. Em 2018, Walker e Pavia estudaram o desempenho higrotérmico do mesmo edifício, no qual verificaram que os isolamentos térmicos permeáveis ao vapor de água são ideais para ambiente húmidos com períodos de baixa humidade relativa, visto que permitem que a parede seque, pelo contrário isolamentos térmicos pouco permeáveis conduzem ao aumento significativo do risco de elevados valores humidades relativas nas paredes em que foram aplicados.

O impacto que a incorporação de microcápsulas de PCM em placas de gesso tem no conforto térmico foi investigado por Figueiredo *et al.* (2017), deste modo monitorizaram duas salas da Universidade de Aveiro (uma no estado original e outra onde se adicionou a solução mencionada nas paredes e no teto falso). Tal monitorização permitiu também validar os resultados das simulações higrotérmicas no programa EnergyPlus e verificar que a aplicação desta solução de isolamento térmico permite reduzir a taxa de sobreaquecimento em 7,23% (acima da temperatura proposta pela EN 15251 (CEN, 2006)), correspondendo a uma redução de 35,49% do número de horas em que se verificam sobreaquecimento face ao resultados obtidos para a divisão sem aplicação isolamento térmico.

Importa referir que diversos autores recorreram a câmaras termográficas para a realização de um levantamento das pontes térmicas e dos gradientes térmicos pontuais presentes nos paramentos verticais em estudo, de modo a evitarem instalar sensores nessas regiões. Como por exemplo em Walker e Pavia (2015), em Stahl *et al.* (2017) e em Fenoglio *et al.* (2018).

2.4.2.2 Campanhas *in situ* de ensaios de avaliação de desempenho

Outra forma de avaliar e quantificar o desempenho em serviço de rebocos térmicos é através da análise dos resultados provenientes da realização de ensaios *in situ*. A aplicação do equipamento de Martinet Baronnie a rebocos (não térmicos), possibilitou a Flores-Colen *et al.* (2009) reduzir a subjetividade associada a uma inspeção visual e a deteção de zonas possivelmente danificadas, que necessitam de uma investigação mais detalhada. Por fim, concluíram que a aplicação deste aparelho é viável para a avaliação do desempenho em serviço de rebocos dado que, permite a comparação dos resultados obtidos *in situ* e os esperados (obtidos previamente em laboratório ou em rebocos semelhantes previamente estudados) e prever qual a redução expectável quando se manifesta uma dada anomalia.

A realização de ensaios *in situ* em edifícios com rebocos térmicos aplicados permite estudar quais os fatores que conduzem à introdução variabilidade nos resultados e qual a evolução dos mesmos ao longo do tempo, assim Galvão *et al.* (2020) recorreram a tubos de Karsten, a um humidímetro, a um equipamento de ultrassons e a um esclerómetro pendular para a realização de uma campanha *in situ* em rebocos aplicados com diferentes orientações de fachada, rugosidades e cores. A presença de fendilhação tem impactos nos resultados dos ensaios de ultrassom e na humidade superficial medida,

por outro lado a rugosidade do reboco afeta o ressalto registado no esclerómetro pendular. Observaram uma relação de proporcionalidade direta entre os resultados da velocidade de ultrassom e o ressalto registado e uma relação inversamente proporcional entre o ensaio de ultrassom e a absorção de água no tubo de Karsten.

Duarte *et al.* (2020) concluíram que o tipo de suporte não tem influência na absorção de água registada no tubo de Karsten, visto que este faz uma avaliação superficial, isto é, ao nível do acabamento. Não obstante, a existência de micro fendilhação interior, conduz ao aumento dessa absorção de água; por outro lado também as rugosidades têm impactos na quantidade de água absorvida, correspondendo uma maior absorção de água a rebocos com menor rugosidade. A adição de produtos hidrofóbicos nos rebocos mais recentes e a menor degradação apresentada faz com que a absorção de água nestes seja menor. Por fim, concluíram que o humidímetro não permite realizar uma avaliação direta do desempenho, uma vez que não existem valores limites estabelecidos para diferentes tipos de rebocos, contudo permite realizar uma análise comparativa, sendo assim um ótimo método de diagnóstico.

Num artigo recente publicado por Galvão *et al.* (2018), foi concluído que a utilização de um equipamento de ultrassom e de um esclerómetro pendular em rebocos aplicados são meios eficazes para diagnosticar o desempenho em serviço dos mesmos, visto que o primeiro permite avaliar a coesão interna dos rebocos e o segundo a coesão superficial do reboco. Aferiram que diferentes fatores influenciam os resultados finais, entre os quais: a rugosidade do acabamento e o tipo de substrato, contribuindo para o registo de um maior ressalto no pêndulo do esclerómetro. Em relação ao ensaio de ultrassons, os resultados deste são muito sensíveis a existência de fendilhação e à presença de humidade relativa. A densidade do reboco influencia nos resultados de ambos os ensaios.

Em 2015, Menezes *et al.* procederam à realização de uma campanha experimental *in situ* com a finalidade de aferir as vantagens da coordenação de uma inspeção visual cuidada com as técnicas da termografia, do tubo de Karsten e da medição da humidade relativa superficial, na avaliação de desempenho e do estado de alteração de rebocos aplicados. O recurso a um martelo de borracha permitiu verificar zonas com perda de aderência ao suporte. A técnica da termografia varia com a intensidade da radiação solar, com as condições climáticas, com a emissividade superficial do acabamento e com as condições de operação (distância e ângulo de captura). A quantidade de água absorvida nos tubos de Karsten é função da presença de anomalias e do tipo de reboco (teor de humidade deste e permeabilidade da camada de acabamento e do ligante que o constitui). A humidade relativa superficial é principalmente afetada pelas condições climáticas aquando a realização da inspeção, sendo aconselhável, sempre que possível, realizar inspeções com condições climáticas distintas. A aplicação destas três técnicas não intrusivas, permite apoiar ou refutar as conclusões tiradas após a realização de uma inspeção visual.

Como foi anteriormente mencionado, diversos investigadores recorrem à termografia aquando a instalação de sensores de temperaturas e de humidades relativas, com o intuito de evitarem a sua colocação em zonas de pontes térmicas. Recorreram também à termografia para verificar quais os impactos diretos da aplicação de uma camada de reboco térmico, através da realização de um

levantamento termográfico antes e após a aplicação da mesma e posterior comparação. Por fim, esta técnica é também utilizada para a deteção de zonas com perda de aderência e/ou empolamento (ar aquece o que provoca um gradiente térmico).

A elaboração desta revisão literária permitiu aferir que as técnicas de inspeção *in situ* têm sido pouco aplicadas a edifícios com rebocos térmicos, apesar de serem métodos expeditos, baratos e, muitas delas, não intrusivas. Tal pode ser justificado, não só pelo número reduzido de edifícios em que foram aplicados, mas também pelo curto período de utilização na construção (poucas anomalias, devido a poucos anos em serviço). Contudo, considera-se que seria de extrema utilidade a realização deste tipo de ensaios com frequência de modo a que se registasse a evolução dos resultados obtidos em função do tempo e do aparecimento de certas anomalias, o que permitiria tirar conclusões e relações, e até mesmo extrapolações para casos semelhantes.

2.4.2.3 Software e modelos numéricos

Diversos autores recorrem a *softwares* ou a modelos numéricos que permitem a realização de simulações térmicas e higrótérmicas. Deste modo no decorrer deste subcapítulo, são descritos alguns artigos científicos, nos quais se recorreram aos mesmos para estudar o desempenho de rebocos térmicos. Estes artigos por sua vez têm o objetivo de avaliar o desempenho térmico e higrótérmico de rebocos térmicos com diferentes configurações/soluções construtivas em diferentes condições climáticas. Destaca-se o programa WUFI Pro como o *software* mais usado nos artigos publicados, possibilitando que se avalie o risco de ocorrência de condensações e que se calcule transferências de vapor de água e de calor ao longo do tempo.

Na Tabela 11 é apresentado um breve resumo de vários artigos nos quais os seus autores recorreram a *softwares* de simulação e a modelos de simulação numérica: encontram-se resumidos os objetivos, o *software* ou o modelo numérico utilizado e a razão pela qual se recorreu a estes.

De modo a estudar os efeitos da adição, em diferentes proporções, de resíduos da indústria do azeite, mais precisamente os caroços das azeitonas, Barreca e Fichera (2013) desenvolveram um aparelho portátil que, através da medição do fluxo de calor, permite obter valores médios para o coeficiente de transmissão térmica. Recorreram ao programa Infloflux, que através da introdução de valores para o fluxo de calor, para as temperaturas das superfícies quente e fria e para a temperatura do espaço quente, permite calcular o coeficiente de condutibilidade térmica e criar gráficos.

Carmeliet e Zimmermann (2011) desenvolveram um novo tipo reboco térmico super isolante à base de aerogel, com uma condutibilidade térmica de 0,025 a 0,030 W/m.°C. Recorreram ao WUFI e ao Hamfem de modo a realizarem, diversas simulações higrótérmicas de longa duração, com e sem reboco térmico de aerogel aplicado pelo interior, de modo a determinarem o risco de crescimento de algas na superfície interior da placa de gesso cartonado. Os autores concluíram que o risco de crescimento de algas, na superfície interior da placa gesso cartonado, é maior quando se considera reboco térmico à base de

aerogel do que quando não se considera. Concluíram também que a aplicação de uma tinta permeável ao vapor de água pelo interior da parede exterior possibilita a secagem da parede de alvenaria.

Também no artigo científico desenvolvido por Ibrahim *et al.* (2014a), os autores recorreram ao programa WUFI para avaliar o desempenho higrotérmico de um reboco térmico que contém partículas de aerogel, considerando diferentes configurações construtivas. Chegaram à conclusão de que uma maior dificuldade de secagem ou maiores riscos de condensação são duas possíveis consequências da aplicação de isolamento térmico pelo interior. Todavia, a aplicação de um reboco térmico à base de um ligante hidráulico orgânico com partículas de aerogel pelo exterior, contribui de forma significativa para a redução desse mesmo risco de condensação e para a secagem eficiente da parede em questão.

Inúmeros estudos desenvolvidos consideram que os sistemas de climatização estão permanentemente a funcionar, deste modo no artigo desenvolvido por Ibrahim *et al.* (2014b) o objetivo do trabalho consistiu em estudar qual o melhor tipo de parede, o número e a posição de camadas de isolamento para as paredes exteriores de um caso de estudo para três modos de funcionamento diferentes (aquecimento contínuo, aquecimento intermitente e sem aquecimento). De acordo com os autores a configuração ideal para o sistema de isolamento térmico depende do tipo de aquecimento. Uma solução onde se coloca uma camada de isolamento no interior da parede e outra no exterior é aquela que é mais favorável para os tipos de aquecimento contínuo e sem aquecimento. No que diz respeito a aquecimento intermitente a solução ideal é a aplicação de isolamento apenas na superfície interior.

A medição das condições atmosféricas *in situ* durante um determinado período de tempo e a sua comparação com os resultados das simulações de um determinado programa, permitem a validação do modelo, isto é, verificar se este modelo conduz a resultados semelhantes aos registados *in situ*. A validação do modelo, permite que se façam extrapolações para outras alturas do ano ou sistemas construtivos diferentes, por exemplo. Nos dois últimos artigos referidos foram realizadas campanhas de monitorização das condições *in situ*, permitindo comparar os resultados da modelação numérica com as medições realizadas *in situ* nas paredes revestidas com as diferentes soluções e orientações.

Stahl *et al.* (2017) recorreram ao programa WUFI para desenvolverem simulações higrotérmicas de modo a estudar o comportamento higrotérmico do conjunto antes e após a aplicação de um reboco térmico à base de aerogel pela superfície exterior. Tais simulações permitiram concluir que independentemente do nível de teor de água nas paredes aquando a aplicação da solução isolamento térmico estas acabam por secar. A aplicação de uma camada de reboco térmico à base de cal e cimento branco com grânulos de aerogel pela superfície exterior da envolvente vertical das paredes exteriores, com uma espessura de 5 cm, conduziu a uma redução para um terço do coeficiente de condutibilidade térmica das paredes exteriores do moinho e à redução do risco de condensações superficiais internas.

Fenoglio *et al.* (2018) examinaram o desempenho higrotérmico e avaliaram o impacto ambiental de rebocos térmicos à base de cal hidráulica natural e cimento com agregados de perlite em diferentes proporções (25%, 30%, 35% e 40%). O recurso ao WUFI permitiu que a resposta dos rebocos térmicos à base de perlite fosse estudada para diferentes fases do ano. Os resultados das simulações permitiram

compreender que a condutibilidade térmica real do espécime com 30% de perlite é maior do que aquela que foi registada, em laboratório, nos provetes secos.

Sá *et al.* (2012) com recurso ao programa Diana, concluíram que ao aumentar a percentagem de microcapsulas de PCM é possível aumentar a sensação de conforto térmico dos utilizados, através da diminuição do intervalo de variações de temperaturas e do aumento do tempo em que as temperaturas permanecem dentro do intervalos de fusão das microcapsulas (intervalo de conforto térmico). Carbonaro *et al.* (2015a), com recurso ao programa EnergyPlus, estudaram, também, os efeitos da aplicação de PCM em rebocos térmicos, desta vez à base de cal hidráulica natural e gesso. Chegaram à conclusão de que a incorporação de PCM permite uma redução da energia de operação anual.

Também Maia *et al.* (2015) recorreram ao programa EnergyPlus para avaliar os riscos de condensação e o potencial da aplicação de um reboco térmico à base de gesso com grânulos de cortiça em ambientes interiores. A aplicação de 4 cm do reboco térmico conduz a uma redução da humidade relativa interior face aos valores do reboco de referência à base de gesso. Associada a uma solução de 2 cm está uma poupança energética de 23% e a uma de 4cm uma poupança de 36% (reboco de referência: gesso).

Também Mahattanatawe e Charuchaimontri (2015) utilizaram o programa EnergyPlus de modo a obter estimativas para os consumos energéticos de diferentes soluções construtivas e a comparar diferentes modelos distintos de utilização do ar condicionado durante a hora de almoço. A aplicação de blocos de betão leve aerado é mais eficiente em termos de consumos energéticos de arrefecimento do que a aplicação de uma solução com dois tijolos de 15 cm dispostos face a face. Por fim, concluíram que se desligassem os ares condicionados e promovessem a aberturas de janelas durante as horas de almoço, o gasto energético é superior do que se mantivessem o ar condicionado constantemente ligado (28 °C).

A utilização do programa EnergyPlus permitiu a Figueiredo *et al.* (2017) aferir a poupança energética associada a placas de gesso com adição de PCM com diferentes pontos de fusão e entalpias, e avaliar os impactos que a taxa de renovação de ar tem na eficiência da solução. Observaram que a aplicação de partículas de PCM reduz o número de horas que em se verifica sobreaquecimento; que a escolha do ponto de fusão do PCM deve ser selecionada de forma criteriosa de modo a tirar o máximo partido dos mesmos e que existe uma forte relação entre o número de renovações de ar por hora e o descarregamento das microcápsulas de PCM, posto isto é essencial, para maximizar a eficiência dos mesmos, combinar de forma otimizada a temperatura de fusão e a taxa de renovação de ar.

O programa EnergyPlus foi também utilizado por Saffari *et al.* (2016) no âmbito da avaliação de económica de PCM incorporados em painéis de *RUBITHERM- CSM modules* (2019). Constataram que para as situações de funcionamento de 24 horas e residencial a aplicação de soluções de isolamento térmico com PCM permite poupanças energéticas nos períodos de aquecimento e de arrefecimento. Porém, estas soluções aplicadas ao horário de funcionamento de escritório apenas permitem poupança de energia associada ao período de aquecimento dos espaços. A temperatura de fusão com maior desempenho energético no período de Verão é de 27°C e de 23°C para o período de Inverno.

Tabela 11 - Artigos estudados sobre avaliação do desempenho em serviço recorrendo à aplicação de *software* e modelação numérica

Referência	Objetivo	Software / Modelo	Resumo
Carmeliet e Zimmermann, (2011)	Avaliar o desempenho higrotérmico de um novo tipo reboco térmico super isolante com aerogel.	WUFI Pro Hamfem	Cálculo da transferência de humidade e do risco de desenvolvimento de humidade na superfície interior do reboco (com e sem reboco de aerogel).
Sá <i>et al.</i> (2012)	Desenvolver um algoritmo que permita a comparação de diferentes rebocos térmicos. Formular e caracterizar um reboco que tenha na sua constituição PCM.	Diana	Possibilita o estudo de cenários alternativos, em termos de temperaturas e percentagens de incorporação de PCM.
Barreca e Fichera (2013)	Avaliar a incorporação de caroços de azeitona num reboco de cal e cimento, de modo a melhorar a sua eficiência como isolamento térmico. Resolver o problema de um excedente da exploração agroindustrial.	WUFI Pro Infloflux	Programa que permite calcular o coeficiente de condutibilidade térmica e criar gráficos que facilitam a análise dos resultados, através do processamento os dados de fluxo de calor..
Ibrahim <i>et al.</i> (2014a)	Para diferentes tipos de aquecimento (aquecimento contínuo, intermitente e sem aquecimento) investigar qual é a melhor composição, o número e a posição das camadas para uma solução de isolamento térmico pelo exterior, recorrendo a materiais de construção comumente usados.	Modelo numérico unidimensional de transferência de calor	Modelo numérico para espaços com: 1) Aquecimento contínuo; 2) Aquecimento intermitente; 3) Sem aquecimento.
Ibrahim <i>et al.</i> (2014b)	Examinar o desempenho higrotérmico de paredes com reboco térmico aplicado e comparar diferentes configurações de isolamento térmico.	WUFI Pro	Programa para resolver o transporte unidimensional de calor e vapor de água em multicamada (difusão de humidade e condução de calor).
Carbonaro <i>et al.</i> (2015a)	Avaliar o desempenho térmico de diferentes soluções de rebocos térmicos à base de cal hidráulica natural e gesso.	EnergyPlus	Obter estimativas para as necessidades energéticas anuais de diferentes rebocos à base de cal hidráulica natural e gesso com a incorporação de PCM.
Mahattanatawe e Charuchaimontri (2015)	Estudar as diferenças entre modelos de simulação térmica e higrotérmica, estudar os efeitos de diferentes soluções construtivas nos consumos energéticos e comparar hipóteses de utilização do ar condicionado durante a horas de almoço.	EnergyPlus	Três algoritmos diferentes: 1) <i>Conduction Transfer Algorithm</i> (CTF); 2) <i>Combined Heat and Moisture Transfer</i> (CHMT); 3) <i>Effective Moisture Penetration Depth</i> (EMPD);
Maia <i>et al.</i> (2015)	Investigar o potencial da integração de rebocos térmicos, à base gesso e cortiça, como uma solução de isolamento térmico pela superfície interior.	EnergyPlus	Três algoritmos diferentes: 1) <i>Conduction Transfer Algorithm</i> (CTF); 2) <i>Combined Heat and Moisture Transfer</i> (CHMT); 3) <i>Effective Moisture Penetration Depth</i> (EMPD).
Saffari <i>et al.</i> (2016)	Estimar a poupança energética de soluções de painéis Rubitherm CSM enchidos com RT PCM.	EnergyPlus	Algoritmo <i>Conduction Finite Difference</i> (CondFD) aplicado a um caso de estudo modelado no Google Sketchup.
Figueiredo <i>et al.</i> (2017)	Necessidades de energéticas de soluções de placa de gesso com PCM.	EnergyPlus	<i>Conduction Transfer Algorithm</i> (CTF) aplicado a um caso de estudo modelado no Google Sketchup.
Stahl <i>et al.</i> (2017)	Analisar os impactos da incorporação de um reboco térmico à base de aerogel num edifício histórico.	WUFI Pro	Simulação para três casos distintos da evolução da temperatura e humidade durante cinco anos.
Fenoglio <i>et al.</i> (2018)	Estudar o desempenho higrotérmico e avaliar o impacto ambiental de argamassas térmica à base perlite.	WUFI Pro	Avaliar o desempenho térmico da parede, num período de dois anos, através do recurso a simulações.

2.5 Conclusão do capítulo

Um estudo dos rebocos térmicos comercializadas no mercado Europeu permitiu confirmar que a incorporação de agregados leves conduz à redução da sua condutibilidade térmica, por outro lado conduz à redução da sua densidade e da sua resistência mecânica (compressão, flexão, aderência e choque). Não obstante, os rebocos térmicos possuem coeficiente de resistência à permeabilidade ao vapor de água reduzidos (μ , frequentemente inferior a 10) e uma maior harmonia visual quando aplicadas em edifícios correntes ou de elevado valor arquitetónico, do que outras soluções de isolamento térmicos (por exemplo, ETICS e fachada ventiladas).

De modo a desenvolver rebocos térmicos com comportamento térmico melhorado, boas resistências mecânicas e resolver problemas para a deposição de excedentes: diversas campanhas experimentais têm sido efetuadas em rebocos térmicos com excedentes industriais e/ou novos materiais incorporados. A elaboração desta revisão da literatura permitiu entender que poucos artigos têm sido desenvolvidos no que diz respeito a ensaios experimentais em condições aceleradas, ao contrário do que se verifica para condições naturais.

Diversos investigadores têm realizado campanhas de monitorização *in situ* de modo a validar os resultados obtidos pelas simulações, para que seja possível extrapolar para outras soluções construtivas (diferentes espessuras, configurações, etc...), mas também para avaliar o desempenho *in situ* de diversos rebocos térmicos, verificando, por exemplo a percentagem de horas em que ocorre sobreaquecimento em relação a uma dada temperatura de conforto ou se se verificam condições favoráveis à ocorrência de condensações e, por consequência, degradação por desenvolvimento de algas ou ocorrência de ciclos gelo/degelo.

A aplicação de rebocos térmicos tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, não obstante a leitura de artigos sobre análise económica e ambiental permite chegar à conclusão que é necessário um esforço por parte dos produtores para a minimização dos custos económicos e dos impactos ambientais, para que os mesmos se tornem mais competitivos e sustentáveis. Os artigos referentes a este tema têm aumentado notavelmente de ano para ano.

Por fim, foi possível perceber que têm sido desenvolvidos poucos artigos em relação ao tema de humidades e das consequências que a aplicação de uma camada de reboco térmico tem nas mesmas e na frequência da ocorrência de condensações superficiais internas e externas. Verificou-se, ainda que o programa WUFI e o programa EnergyPlus são os mais usados para realização de simulações térmicas ou higrotérmicas, contudo a frequência de utilização do primeiro é muito superior à do segundo. No capítulo seguinte é apresentada a metodologia, o procedimento adotado aquando a realização de uma campanha *in situ*, o caso de estudo: um edifício com rebocos térmicos aplicados, nos quais se realizaram ensaios experimentais, complementares à inspeção visual, e as conclusões retiradas após a análise de resultados da campanha *in situ*.

3 Campanha experimental *in situ* em rebocos térmicos

3.1 Considerações iniciais

A elaboração do capítulo da revisão literária permitiu verificar que existem poucos estudos relativos à avaliação do desempenho em serviço *in situ* de rebocos térmicos, isto é, através da combinação da inspeção visual com uma campanha experimental. Contudo, os ensaios *in situ* associados à inspeção visual contribuem para uma melhor e menos subjetiva avaliação do desempenho em serviço dos vários elementos constituintes de um edifício (Flores-Colen *et al.*, 2006), servindo assim de apoio à gestão e decisão de intervenção, contribuindo para um maior período de vida útil.

A análise dos resultados obtidos pela realização de ensaios *in situ* e uma metodologia de avaliação de desempenho são de extrema importância para a realização de uma boa manutenção preditiva. Deste modo foi realizada uma campanha *in situ* de avaliação do desempenho em serviço de rebocos térmicos aplicados nas fachadas de um edifício. O objetivo da realização da mesma foi registar as anomalias observadas e os valores para os diversos ensaios após alguns anos de exposição. A comparação dos resultados obtidos nesta campanha com os de outras realizadas futuramente, permitirá relacionar a variação dos resultados em função do tempo e com o aparecimento ou desenvolvimento de novas anomalias, contribuindo para uma melhor compreensão do comportamento em serviço e quantificação do desempenho em serviço de rebocos térmicos.

Ao longo deste capítulo são enumerados os equipamentos e a metodologia de inspeção utilizada para a avaliação *in situ* do desempenho dos rebocos térmicos aplicados e os resultados obtidos.

3.2 Metodologia de inspeção

Ao longo da campanha *in situ*, com o intuito de reduzir os erros associados ao fator humano e de execução seguiram-se cautelosamente os procedimentos experimentais que são de seguida descritos.

Neste subcapítulo é apresentado o caso de estudo, descritos os procedimentos adotados aquando a realização dos ensaios *in situ*, o plano de ensaios e a ficha de inspeção que serviu de base para o registo das características e dos resultados inerentes à campanha *in situ* e ao caso de estudo.

3.2.1 Descrição das técnicas de ensaio *in situ*

Aquando a realização da campanha *in situ*, a técnica da inspeção visual foi combinada com diversos ensaios *in situ*, nos quais se utilizaram: dois tubos de Karsten, dois humidímetros, um esclerómetro pendular, duas câmaras termográficas e um pirómetro de radiação. Recorreu-se também a outros equipamentos, como: martelo de borracha, binóculos, câmara fotográfica e termohigrómetro.

3.2.1.1 Tubo de Karsten

O tubo de Karsten é um objeto em forma de cachimbo, graduado dos 0 aos 4 cm³, que permite avaliar a permeabilidade à água líquida sob baixa pressão ao longo de 60 minutos, em locais onde não exista fissuração (Flores-Colen *et al.*, 2010), sendo este por sua vez idealmente aplicados em superfícies verticais (LNEC, 2002).

De modo a dar início ao ensaio, o tubo de Karsten deve ser fixado com silicone ou outro produto semelhante que dê garantias de aderência e estanquidade à água (Mendonça, 2007; S. Santos, 2009). Após a fixação do tubo de Karsten este deve ser enchido com água até ao nível de referência, 0 cm³, o que corresponde a uma altura de água de 9,8 cm e a uma pressão de 961,38 Pa (LNEC, 2002 b). O enchimento do tubo é realizado com o auxílio de um conta-gotas e de uma pipeta ou de uma seringa de modo a obter a quantidade de água ideal para a realização do ensaio. Passados 5 minutos do enchimento, deve-se proceder à primeira leitura, registando o valor de água absorvida, registando novamente esse valor após 10, 15, 30 e 60 minutos.

A realização de um maior número de ensaios permite avaliar a homogeneidade do reboco térmico estudado. Adicionalmente, através da comparação direta entre os coeficientes de absorção de água de uma zona degradada e os de uma zona menos degradada é possível obter uma avaliação qualitativa do estado de alteração/degradação da superfície em causa (Veiga, 1998).

3.2.1.2 Humidímetro

O humidímetro é um aparelho portátil que permite aferir o teor de humidade à superfície de um objeto (3 a 5 cm de profundidade). É um método não destrutivo, expedito, e muito utilizado *in situ*; cujos valores das suas medições têm validade em termos comparativos e não absolutos (Magalhães *et al.*, 2005).

De seguida é descrito a técnica de ensaio utilizada para a realização de um ensaio *in situ* com recurso a um humidímetro; segundo as recomendações de Flores-Colen (2009):

- Selecionar no aparelho o tipo de material a estudar;
- Pressionar o humidímetro contra a superfície em causa e esperar que o mesmo estabilize;
- Ler e registar o valor que aparece no ecrã do aparelho;
- Repetir o procedimento em diferentes zonas, de modo a analisar o paramento em altura e em zonas que apresentam anomalias (colonização biológica e fendilhação);
- Medir a temperatura e a humidade relativa da envolvente.

3.2.1.3 Esclerómetro pendular

O princípio do ressalto estabelece que o ressalto de uma massa elástica projetada contra uma superfície depende da sua dureza superficial e não da resistência do material em estudo (Gomes, 1995). Uma menor altura de ressalto está associada a um material mais brando, devido à sua maior capacidade de dissipação da energia de impacto (Magalhães *et al.*, 2003).

De modo a realizar o ensaio o operador deve encostar o esclerómetro à superfície em causa, garantindo a sua verticalidade. De seguida deve carregar no botão de disparo, que faz soltar o pêndulo, que por sua vez percorre 180° até à superfície de embate. Na escala graduada acoplada ao aparelho é possível proceder-se à leitura do índice esclerométrico, que corresponde à quantidade de energia recuperada.

O recurso a um esclerómetro pendular permite estimar, através da sua dureza superficial, a resistência de um material ou proceder à comparação da sua qualidade (Proverbio *et al.* 2005). Permite ainda avaliar a homogeneidade, uniformidade e as condições aderência dos revestimentos. Um bom

mapeamento do paramento leva à deteção ou confirmação de zonas degradadas ou não aderentes, pois estas conduzem a um menor índice esclerométrico (Botelho, 2003), permite também detetar zonas de mau desempenho associadas à presença de humidade e distinguir diferentes tipos de acabamentos ou materiais de reparação; localizar tubagens embutidas nas paredes e revelar descontinuidades nas mesmas (Flores-Colen, 2009).

3.2.1.4 Termografia

A termografia é uma técnica de inspeção *in situ* não destrutiva que permite, com recurso a uma câmara termográfica, a captação de imagens ou mapas da temperatura superficial de um objeto. O equipamento mede a radiação térmica, na gama dos infravermelhos, que é emitida e refletida pela superfície do objeto em estudo (Pina dos Santos *et al.*, 2002).

A termografia é um método extremamente interessante por permitir registar os gradientes de temperatura superficiais nas suas imagens. Por sua vez, estes gradientes podem ser provocados, por exemplo, por anomalias, pela existência de pontes térmicas ou passagem de uma tubagem de água.

As câmaras termográficas são de fácil utilização, sendo em tudo semelhantes à utilização de uma máquina fotográfica. O operador deve apontar a câmara termográfica para a região em estudo e de seguida carregar o botão de captura de imagem; instantaneamente é guardada uma imagem da região expressa em função da sua temperatura superficial.

3.2.1.5 Pirómetro de radiação

O pirómetro de radiação é um aparelho que é utilizado com o objetivo de avaliar a temperatura superficial de uma superfície sem que haja contato com a mesma, através de medições pontuais.

Após ligar o aparelho, o operador deve apontar o pirómetro para o paramento e fazer coincidir o laser emitido pelo mesmo com ponto que pretende examinar, de seguida deve pressionar o botão de disparo que faz com que o valor da temperatura superficial seja guardado na memória do aparelho. Por fim, o operador deve preceder ao registo e tratamento dessa informação.

3.2.2 Plano de ensaio

Durante a campanha experimental o primeiro passo consistiu em caracterizar o contexto em que foi realizada a inspeção, ou seja, registo do local, da hora e data, das condições atmosféricas, da orientação das fachadas, do tipo de suporte, das alterações e soluções de isolamento térmico presentes. Concluída a primeira etapa, começou a análise propriamente dita. Primeiramente, recorrendo ao método da inspeção visual, na qual se fez um levantamento das anomalias observadas à data da inspeção e uma aproximação da percentagem de área afetada. Por fim, realizaram-se os ensaios *in situ*, que permitiram a determinação e análise dos seguintes pontos: humidade relativa e temperatura ambiente (termohigrómetro), temperatura superficial (pirómetro), humidade à superfície dos paramentos (humidímetro), permeabilidade à água líquida sob baixa pressão (tubos de Karsten), índice esclerométrico (esclerómetro pendular do tipo PT) e análise termográfica (câmara termográfica).

3.2.3 Fichas de inspeção

Durante a realização de uma análise *in situ*, é crucial que exista um suporte que possibilite a organização eficiente da informação que se considera significativa: as fichas de inspeção; nas quais foram registadas as condições climáticas, as características intrínsecas ao edifício e os resultados obtidos. A ficha de inspeção desenvolvida nesta dissertação, teve como base as sugestões apresentadas por Galvão (2009), Santos (2009) e Cooman (2019).

3.3 Caso de estudo

Como caso de estudo foi escolhido um edifício residencial, constituído por 7 pisos elevados, que se encontra sob gestão da Gebalis, localizado em Lisboa. A campanha experimental ocorreu no dia 24 de Julho de 2019 e possibilitou a análise de duas fachadas com reboco térmico aplicado, com orientações solares distintas e com diferentes métodos de aplicação: à talocha e por projeção mecânica. Inserido num ambiente puramente urbano e numa região onde o vandalismo é recorrente e, portanto, um fator que necessita de atenção especial aquando a realização do projeto de arquitetura (Anexo 3).

Em 2014, com o propósito de estudar os efeitos da aplicação de rebocos térmicos em edifícios, foi aplicado, numa das empenas, uma camada de 4 cm de espessura de reboco térmico, tendo sido esta camada aplicada à talocha – Zona 1 (Figura 2 a).

Procedeu-se, em 2015 à aplicação de uma nova camada de 4 cm de reboco térmico, desta vez numa região da fachada frontal do edifício e aplicada por projeção mecânica – Zona 2 (Figura 2 b).



a) Reboco térmico aplicado em 2014 (moldura preta)



a) Reboco térmico aplicado em 2015

Figura 2 - Zonas nas quais foram aplicadas reboco térmico

No ano de 2015, efetuou-se também uma alteração da arquitetura do edifício, mais propriamente da região varanda onde foi aplicado reboco térmico. Na Figura 3 é possível observar duas imagens: a do lado esquerdo corresponde à arquitetura original do edifício (estado atual de zona não intervencionada), enquanto que a imagem do lado direito corresponde ao resultado da varanda na zona intervencionada.



a) Zona não intervencionada



b) Zona intervencionada

Figura 3 - Alteração da arquitetura da varanda

Nas fachadas onde foram aplicados rebocos térmicos o suporte existente é constituído por blocos de betão na zona das varandas, e por betão e alvenaria de tijolo cerâmico nas zonas correntes.

Na Figura 4 é possível observar uma faixa vertical de tinta com cor azul escura, é importante referir que se trata de uma região onde ocorreu um remate de uma rede de reforço aplicada na zona 2 (2015) e rematada na zona 1 (2014), que tinha sido previamente revestida termicamente. Este remate apresenta algumas irregularidades, o que leva a acreditar que podia ter sido melhor executado.



Figura 4 - Zona de remate da rede do sistema de isolamento térmico aplicado em 2015

Este edifício possibilitou o estudo de dois paramentos com reboco térmico aplicado, com duas orientações solares (SW e NW) e técnicas de aplicação distintas e a posterior comparação dos seus resultados e análise da variabilidade dos mesmos. Pelo facto de ser um edifício que se encontra habitado permitiu receber o parecer de um morador afetado pela intervenção (requalificação térmica).

A campanha experimental incidiu sobre as duas fachadas revestidas com reboco térmico, nas quais se aplicaram o método da inspeção visual e os ensaios *in situ* previamente enunciados no ponto 3.2.1. Possibilitando assim, a consolidação do conhecimento e dos procedimentos de aplicação destes métodos, mas principalmente avaliar os resultados dos mesmos quando aplicados a rebocos térmicos.

Destaca-se o facto de existirem sinais de vandalismo, possivelmente por apedrejamento seguido de esfarelamento, mas também de graffiti e de pintura com giz (impacto estético).

3.4 Discussão dos resultados

A análise da campanha experimental no edifício será realizada em simultâneo para a zona 1 e para a zona 2, pelo simples facto das suas características serem análogas e apresentarem, à data da inspeção, um estado de degradação consideravelmente semelhante.

A ficha de inspeção correspondente à campanha experimental pode ser consultada no Anexo 3.

3.4.1 Inspeção visual e técnicas complementares

De um modo geral, ambas as fachadas estudadas, pertencentes ao edifício, apresentam um bom desempenho em serviço, no que diz respeito à presença de anomalias. Tal manifestação ligeira de anomalias está, contudo, relacionada com o curto intervalo de tempo desde a aplicação das soluções de isolamento térmico até à data da campanha experimental, cerca de 5 e 4 anos (Figura 5).



Figura 5 - Aspeto dos paramentos aquando a inspeção visual

Recorrendo a uma inspeção visual cuidada foi possível detetar a existência de algumas anomalias, tais como, alguns destacamentos e perdas de material pontuais, associado (muito provavelmente) a vandalismo, possivelmente por apedrejamento seguido de esfrelamento (Figura 6). Foi também possível verificar a presença de alguma vegetação parasitária nas bases dos paramentos.



Figura 6 - Exemplo de perda de material

Em termos de vandalismo, foi também possível verificar que a estética do edifício foi afetada devido à presença de graffiti e de pinturas com giz.

Detetou-se também a presença de alguns excrementos de pombos e de alguns caracóis, existentes devido à proximidade com um pequeno terreno, mas nada que se tenha considerado como relevante ou que necessite de alguma medida preventiva.

Verificou-se que parte do reboco térmico aplicado na empena (em 2014) apresenta perda de aderência, tal foi aferido devido ao som oco emitido após a precursão de um martelo de borracha contra a mesma.

Na Tabela 12 estão sintetizadas as anomalias apresentadas em cada zona, e a percentagem de área afetada por tais anomalias, segundo os critérios quantificação de Flores-Colen (2009).

Tabela 12 - Resumo das anomalias presentes aquando a inspeção visual

Zona	Perda de material	Vegetação parasitária	Perda de aderência	Graffiti e Giz
1	Áreas pontuais (A= 1 a 5%)	Junto à base do paramento (A= <1%)	Lado esquerdo do paramento (A=5 a 25 %)	Zona corrente (A = 5 a 25%)
2	Áreas pontuais (A= 1 a 5%)	Junto à base do paramento (A = <1%)	-	Zona corrente (A = 5 a 25%)
Legenda: A – Percentagem de área afetada pela anomalia.				

O recurso a um termohigrómetro permitiu realizar a leitura da temperatura (21,9°C) e da humidade relativa ambiente (65,1%). A utilização de dois modelos diferentes de humidímetros levou a valores para humidade superficial nulos, em ambas as fachadas, devido ao facto de a campanha experimental ter sido realizada num dia quente, seco e sem precipitação. Por fim, a utilização de um pirómetro de infravermelhos permitiu confirmar que ambas as regiões apresentaram temperaturas superficiais

consideráveis para a hora do dia em questão (10h 15 min) 19,6 °C e 22,8 °C, respetivamente para a zona 1 e 2. As leituras destes últimos equipamentos estão devidamente condensadas na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultados dos ensaios complementares

Equipamento	Parâmetro	Valor
Termohigrómetro	Temperatura ambiente	21,9 °C
	Humidade relativa	65,1 %
Humidímetros	Humidade superficial - Zona 1	0 %
	Humidade superficial - Zona 1	0 %
Pirómetro	Temperatura superficial - Zona 1	19,6 °C
	Temperatura superficial - Zona 2	22,8 °C

3.4.2 Tubo de Karsten

Em relação ao ensaio de permeabilidade à água líquida pelo tubo de Karsten foram executados dois ensaios, um em cada paramento estudado. Na Figura 7 é possível observar os locais onde foram fixados os tubos de Karsten, K1 e K2. A leitura efetuada, nos tubos de Karsten colocados nos pontos K1 e K2, para a quantidade de água absorvida em função do tempo e da secção do tubo de Karsten nos rebocos térmicos em causa foi bastante reduzida, sendo por isso considerada como nula. Tais resultados, permitem constatar que ambos os rebocos térmicos, nas secções analisadas, apresentam o mesmo estado de conservação.



Figura 7 - Localização dos ensaios dos tubos de Karsten

A um coeficiente de absorção de água muito elevado corresponde um reboco térmico com camadas de proteção mais degradado ou um ensaio deficientemente executado. Na Tabela 14 é apresentado um resumo dos resultados registados para ambos os ensaios (absorção de água nula).

Tabela 14 - Resultados dos ensaios de permeabilidade à água pelo tubo de Karsten

Ensaio	Absorção de água (cm ³)				
	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min
K1	0	0	0	0	0
K2	0	0	0	0	0
Média (cm ³)	0	0	0	0	0
Desvio padrão (cm ³)	0	0	0	0	0
Coefficiente de variação (%)	0	0	0	0	0
C _{ab} (kg/[m ² .min ^{0,5}])	0	0	0	0	0

Legenda: C_{ab} – Coeficiente de absorção de água.

3.4.3 Termografia

Efetuada uma análise termográfica de uma região não intervencionada (Figura 8 a) é possível verificar que na zona correspondente à estrutura da varanda existe uma diferença de temperaturas superficial face à zona corrente da mesma, isto é, verifica-se a existência de pontes térmicas. Por sua vez, a

observação das imagens termográficas relativas às regiões onde foram aplicados os rebocos térmicos (Figura 8 b) permitiram perceber que existe uma grande homogeneidade térmica em toda a sua extensão, não existindo quaisquer sinais notáveis de pontes térmicas ou de regiões com um gradiente térmico considerável, ao contrário do que se verifica nas zonas não intervencionadas.

Comparando uma imagem termográfica de uma zona não intervencionada com uma intervencionada, pertencentes à fachada frontal do edifício com orientação solar Noroeste é possível verificar que existe um aumento da temperatura superficial de cerca de 4°C. A situação descrita anteriormente evidência que a aplicação de um reboco térmico pelo exterior é uma solução eficaz quando se pretende corrigir pontes térmicas e melhorar o desempenho térmico global da envolvente vertical exterior de um edifício (Figura 8 a e b).



Figura 8 - Análise termográfica da região intervencionada e não intervencionada

Num espaço de poucos centímetros, a região que sofreu uma requalificação térmica apresenta um aumento de temperatura face à região não intervencionada, tal facto que realça a adequabilidade da solução empregue para melhorar o desempenho térmico de um edifício (Figura 9). Adicionalmente, aquando a realização da inspeção foi possível receber o parecer de uma moradora de uma fração autónoma que foi requalificada termicamente, o qual foi bastante positivo e indicou que a aplicação do mesmo melhorou significativamente o conforto térmico sentido no interior da fração autónoma.

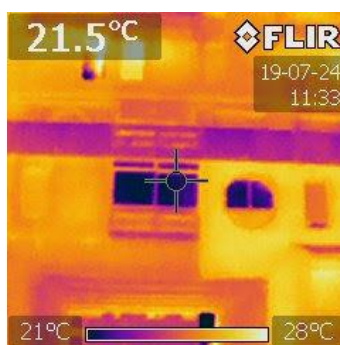


Figura 9 - Análise termográfica da zona de transição

A realização de uma analogia entre as duas zonas intervencionadas permite concluir que entre a zona 1 e 2 existe um gradiente térmico de 2 °C, enquanto que a zona 2 apresenta uma temperatura média de 24 °C, a zona 1 apresenta uma temperatura média de 22 °C. Este gradiente pode ser justificado pelo facto de o reboco térmico da zona 2 ter sido aplicado por projeção mecânica enquanto que o da zona 1 foi aplicado à talocha; uma projeção mecânica conduz a um reboco térmico mais compacto e de melhor qualidade. Outra justificação possível, é o facto de o azul aplicado na zona 2 ser mais escuro

que aquele que tinha sido previamente aplicado na zona 1, a uma cor mais escura corresponde uma maior emissividade. Ou ainda devido à diferente orientação solar das fachadas (Figura 10).

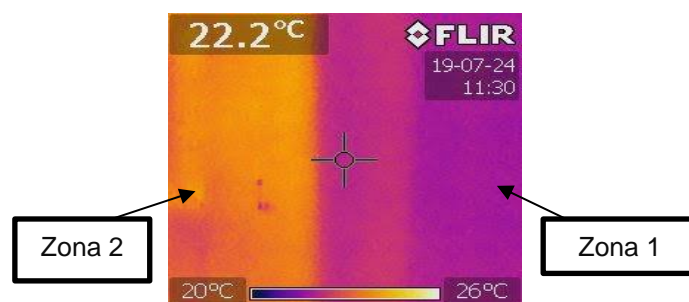
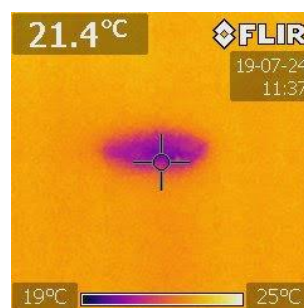


Figura 10 - Análise termográfica da zona de transição de rebocos térmicos (Zonas)

Além do gradiente térmico registado entre os dois paramentos, verificou-se a existência de outro gradiente térmico, mas, neste caso, entre as regiões onde ocorreram perda de material e a sua envolvente, onde as temperaturas são de 21 e 23 °C, respetivamente (Figura 11 a e b).



a) Região analisada



a) Termograma relativo à região analisada

Figura 11 - Análise termográfica em região com perda de material

3.4.4 Esclerómetro

Ao longo da realização dos ensaios com o esclerómetro pendular do tipo PT optou-se por alguns pontos que se consideraram como notáveis, isto é, pontos próximos de regiões com perda de material ou em zonas em que ocorreu perda de aderência ou desenvolvimento de outras anomalias. Os restantes pontos foram escolhidos de forma aleatória, mas de modo a abranger uma área representativa.

O recurso a um martelo de borracha permitiu identificar zonas com perda de aderência ao suporte, onde posteriormente foram determinados os índices esclerométrico correspondentes.

Na Tabela 15 é apresentado um resumo dos resultados registados e o tratamento estatístico dos mesmos. O coeficiente de variação da zona 1 é de 13 % e o da zona 2 de 12 %, tais valores relevam uma ligeira heterogeneidade ao longo dos paramentos, estando associada à presença de anomalias. Os valores médios são de 46 e de 49 para a zona 1 e zona 2, pela mesma ordem.

Como era de esperar, verificou-se uma maior variabilidade nos valores obtidos para o índice esclerométrico no paramento no qual se aplicou o reboco térmico à talocha. Uma justificação aparente para esta diferenças de variabilidade é que a aplicação de um reboco térmico à talocha conduz a um produto menos uniforme do que a aplicação do mesmo por um processo de projeção mecânica, quer em termos de espessura quer em termos de força de compactação.

Tabela 15 - Tratamento estatístico dos índices esclerométricos

Ensaio	Zona 1	Zona 2
1	51	45
2	48	50
3	53	55
4	38	56
5	43	54
6	42	39
7	49	50
8	40	42
9	38	55
10	53	44
Média	46	49
Desvio padrão	6	6
Coefficiente de variação (%)	13	12
Valor mínimo	38	39
Valor máximo	53	56

O máximo valor registado na campanha corresponde a um ponto integrante da fachada com reboco térmico projetado. Por outro lado, o valor mínimo foi registado na empena que foi aplicada à talocha.

O valor mínimo registado na zona 1 corresponde a uma determinação do valor de um índice esclerométrico numa região com perda de aderência do reboco térmico ao suporte; por sua vez o valor mínimo na zona 2 corresponde a um ponto localizado imediatamente acima de uma zona com perda de material (Figura 11).

3.5 Conclusão do capítulo

Uma inspeção visual cuidada, permitiu fazer um levantamento de grande parte das anomalias, mas nenhuma que se considere como crítica. No entanto, é recomendado que se proceda à reparação dos espaços com falta de material, de modo a estancar a infiltração de água para a camada isolante e a perda de material do sistema de revestimento.

Não foi detetada nenhuma presença de humidade excessiva (humidímetro), associadas muitas vezes a infiltrações ou ascensões capilares. Não foram também detetadas superfícies com absorção de água significativa (tudo de Karsten), muitas vezes associados à presença fissuração.

Parte da zona 1 (intervenção de 2014) apresenta falta de aderência, conclusão tirada após a percussão de um martelo de borracha nas áreas em estudo. A combinação de um martelo de borracha com um esclerómetro permitiu aferir o índice esclerométrico de zonas com falta de aderência.

Ao comparar diretamente duas regiões da mesma fachada, uma que terá sofrido alterações e outra que não, através de uma análise termográfica, foi possível perceber os impactos diretos das alterações realizadas em termos de redução de pontes térmicas e maior homogeneidade de temperatura.

Conclui-se que grande parte das anomalias manifestadas estão associadas à falta de respeito e de cidadania por parte dos cidadãos, mais propriamente, à prática de vandalismo.

Convém ainda referir que não foram detetados quaisquer sinais de colonização biológica, algo recorrente quando se opta por uma solução em ETICS.

4 Simulações no EnergyPlus

4.1 Introdução

A realização de uma campanha *in situ* ao caso de estudo anterior forneceu indicações positivas que a aplicação de um reboco térmico permite melhorar o desempenho higrotérmico de um edifício, através da comparação dos termogramas das regiões intervencionadas com os da região não intervencionada, onde foram aplicados rebocos térmicos, e através da obtenção de uma opinião de uma moradora de uma fração autónoma reabilitada termicamente. Deste modo, de modo a sustentar (ou refutar) a conclusão da campanha *in situ* resolveu-se realizar uma análise dos impactos higrotérmicos e energéticos da aplicação de um reboco térmico a um caso de estudo.

O estudo do desempenho de rebocos térmicos com recurso a programas de simulação higrotérmica permite que se realizem simulações do comportamento higrotérmico para o mesmo caso de estudo, mas para diferentes condições, desde diferentes soluções construtivas (parede simples ou dupla com isolamento pela superfície interior ou pela superfície exterior, por exemplo), com diferentes materiais e condições de exposição (orientação solar, existência ou não de elementos de sombreamento pelo exterior, entre outros). O recurso a dados climáticos da região onde está implantado o edifício em estudo é uma mais valia por permitir aferir o comportamento da solução em análise, às condições ambientais mais prováveis de se verificarem em serviço.

No presente trabalho foi utilizado o programa de simulação dinâmica de edifícios EnergyPlus, recorrendo-se também ao Plugin OpenStudio, Google Sketchup e Microsoft Excel, para avaliação do comportamento higrotérmico e energético de rebocos térmicos quando aplicados e expostos em condições distintas.

Neste capítulo, é feita, numa primeira fase, uma breve descrição do caso de estudo. De seguida é realizada uma síntese do processo de modelação do caso de estudo no Google Sketchup e EnergyPlus recorrendo-se ao Plugin do OpenStudio para interligação entre estes dois modelos. Por fim, explica-se o modo como se procedeu para editar os ficheiros do EnergyPlus e o processo de tratamento de dados com recurso ao programa Microsoft Excel.

4.2 Descrição do caso de estudo

O caso de estudo que será analisado no decorrer deste capítulo trata-se de uma fração autónoma inserida num terceiro andar de um edifício residencial constituído por oito pisos elevados. A fração autónoma apresenta tipologia T3 e uma área útil de pavimento de 94,4 m² e uma varanda de 15,1 m². Na Figura 12 é possível observar a planta do piso em questão com o perímetro da fração em causa delimitado, com as respetivas envolventes térmicas assinaladas. Por fim, importa referir que esta fração se localiza na cidade do Seixal, na área metropolitana de Lisboa.

A fração autónoma considerada como caso de estudo para a elaboração do presente estudo, foi previamente estudada por Soares (2016) e por Garrido *et al.* (2017), tendo-se beneficiado de um conjunto de ficheiros que tinham sido previamente desenvolvidos por Soares (2016). Esta decisão, de recorrer a ficheiros já desenvolvidos prendeu-se com o facto de se pretender concentrar o tempo

disponível no modelo de avaliação do comportamento higrotérmico de diferentes soluções de rebocos térmicos sob diferentes condições, que não tinha ainda sido explorado em Soares (2016).

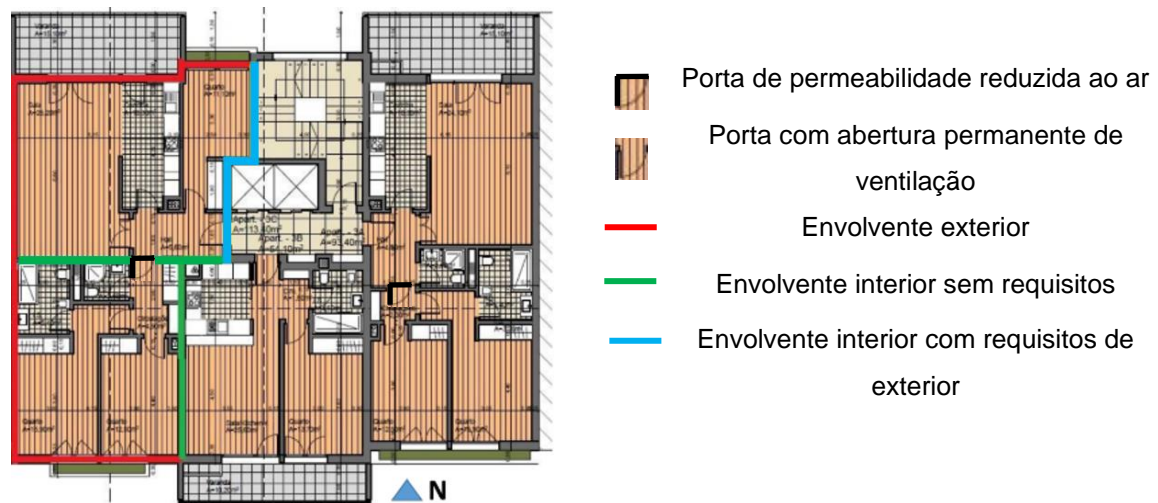


Figura 12 - Delimitação das envoltantes térmicas do caso de estudo (Soares 2016).

Destaca-se o fato da fração habitacional em estudo ter uma envoltente vertical exterior, com três orientações solares distintas (Norte, Sul e Oeste) e espaços não úteis de circulação comum do edifício.

Adicionalmente, refere-se que com uma linha verde horizontal (Figura 12) encontra-se assinalada uma fronteira que separa duas zonas térmicas; a zona A da zona B. A primeira engloba as duas casas de banho, a zona de circulação e os dois quartos com envidraçados orientados a Sul. No que diz respeito à zona B, esta abrange a região do hall de entrada, a cozinha, a sala de estar e um quarto com orientação solar Norte. As zonas A e B, apesar de não se prever apresentarem temperaturas muito distintas e poderem ter sido consideradas como pertencentes a uma mesma zona térmica, optou-se por se simular com zonas térmicas distintas, por terem fachadas com orientações solares distintas (Norte e Sul), que por si só poderá condicionar condições térmicas distintas, e por terem sido consideradas como zonas com ventilação separada, o que se traduz na existência de uma porta interior na zona de circulação interior que delimita esses dois sectores separados de ventilação, ou seja, a existência de uma porta com uma permeabilidade ao ar inferior a $12 \text{ m}^3/(\text{h}.\text{m}^2)$ para uma diferença de pressão de 100 Pa, segundo a NP 1037-1 (2002).

Uma vez que se trata de um fogo situado num piso intermédio e os pisos inferior e superior são idênticos a este, considerou-se que a laje de pavimento e a laje do teto são fronteiras adiabáticas, visto que são fronteiras que separam espaços aquecidos, à semelhança da fronteira da envoltente vertical assinalada com uma linha verde vertical (Figura 12) de separação entre frações autónomas vizinhas pertencentes ao mesmo edifício.

4.3 Modelação do caso de estudo

Na elaboração deste capítulo recorreram-se a ficheiros que tinham sido previamente desenvolvidos e explicados por Soares (2016). Surgiu assim a necessidade, de utilizar a mesma versão do EnergyPlus que fora utilizada aquando o desenvolvimento e edição do ficheiro base, a versão 7.1 do EnergyPlus.

O recurso a este *software*, permitiu verificar quais as temperaturas e as humidades relativas mínimas e máximas registadas ao longo de um ano civil, sem a utilização de sistemas de climatização que consomem energia para aumentar o conforto térmico dos moradores. Possibilitou, também, a realização de uma análise do comportamento higrotérmico e a verificação da ocorrência de condensações nas superfícies exteriores e interiores da envolvente vertical exterior, que delimita a fração autónoma, considerando diversas soluções construtivas, através do processamento dos valores de saída referentes a humidades relativas, temperaturas e pressões. Por fim, viabilizou a obtenção de estimativas para as necessidades energéticas de climatização para diferentes soluções construtivas, quando se limita o intervalo de temperaturas admissíveis de 18°C a 25°C, intervalo de conforto térmico segundo o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH).

Para a realização do que foi descrito no parágrafo anterior recorreu-se à ferramenta EP Launch, esta permite a introdução de um ficheiro com os registos dos dados climatológicos de uma dada região (*Weather File*), a seleção do ficheiro IDF (ficheiro do EnergyPlus) e o botão para a realização das simulações propriamente ditas. A ferramenta IDF Editor, acessível através do EP Launch através de um clique no botão “*Edit - IDF Editor*”, permite, como o nome indica, a edição do ficheiro IDF. Possibilitando assim, que se introduzam e modifiquem as características dos materiais e das soluções construtivas, os ganhos internos de cada zona térmica, o período da realização da simulação e quais os parâmetros de saída e qual a frequência com que se pretende que o EnergyPlus os reporte, entre outros. Contém ainda as informações relativas à geometria do caso de estudo, que, neste caso, não foram alterados durante a realização do mesmo, excetuando a consideração da existência ou não de palas de sombreamento exteriores ao caso de estudo.

Ao longo deste capítulo foram utilizados dois algoritmos distintos para a resolução das equações de transferência de calor e de vapor de água. O modelo CTF (*Conduction Transfer Function*), inserido por predefinição pelo EnergyPlus, foi utilizado para a realização dos subcapítulos 4.4 e 4.6. O outro modelo a que se recorreu foi o modelo HAMT (*Heat and Moisture Transfer*) que foi utilizado na realização do subcapítulo 4.5.

4.3.1 Plugin OpenStudio para o Sketchup

Na elaboração desta dissertação não se recorreu ao Plugin OpenStudio, visto que esse trabalho foi elaborado em antemão por Soares (2016), que recorreu a este Plugin dado que, além de acrescentar diversas ferramentas ao Google Sketchup, estabelece uma ponte de ligação entre este último e o EnergyPlus, evitando assim a realização de todo este processo de definição geométrica no EnergyPlus.

4.3.2 Modelação do caso de estudo no Sketchup

À semelhança do que aconteceu com o Plugin do OpenStudio, não houve a necessidade de recorrer ao Google Sketchup, visto que este trabalho foi, também, previamente desenvolvido e explicado detalhadamente por Soares (2016). A operação deste *software* permite que a modelação 3D da fração em questão com as suas zonas térmicas e elementos de sombreamento seja realizada de forma a otimizar o tempo investido e reduzir a sua complexidade. O resultado final da modelação 3D pode ser observado na Figura 13 e na Figura 14, mais precisamente as vistas das fachadas orientadas a Norte e a Sul. A roxo são ilustradas as palas de sombreamento exteriores.

Durante o processo de modelação 3D da fração em estudo, foram criadas duas zonas térmicas zona A e zona B, previamente descritas 4.2. Soares (2016), recorrendo ao comando “*New EnergyPlus Shading Group*”, criou diversas palas de sombreamento exterior ao caso de estudo, estas representam a existência de elementos opacos, ou mais concretamente as zonas das varandas dos pisos superiores, uma vez que o caso de estudo se insere num piso intermédio, as varandas do quarto andar funcionam como elementos de sombreamento e as palas verticais da varanda da própria fração também. No ficheiro IDF do EnergyPlus é possível controlar a existência ou não destes elementos de sombreamento, sendo posteriormente possível realizar uma comparação direta para os resultados obtidos com e sem elementos de sombreamento exteriores.

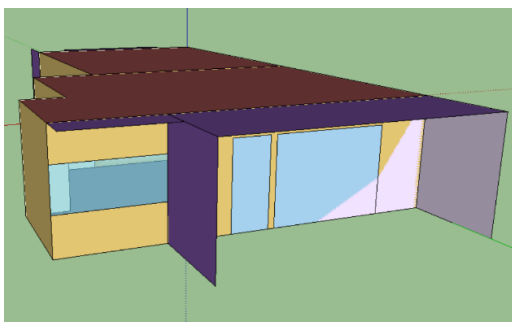


Figura 13 - Vista da fachada orientada a Norte

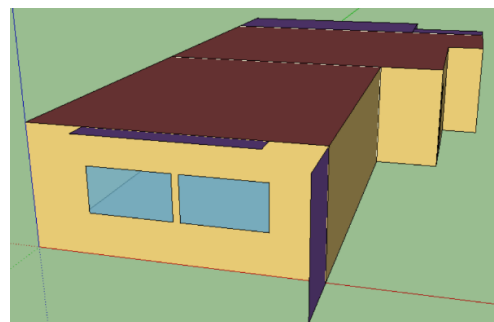


Figura 14 - Vista da fachada orientada a Sul

4.3.3 Edição do ficheiro de simulação no EnergyPlus

No decorrer deste subcapítulo serão descritos os parâmetros introduzidos nos distintos campos de entrada do ficheiro do EnergyPlus e quais os pressupostos considerados para a definição de cada um desses mesmos parâmetros, de modo a que fosse possível, para uma determinada situação, obter as variáveis desejadas, com o intuito de serem futuramente processadas com recurso ao programa Microsoft Excel. De notar, que os ficheiros foram previamente desenvolvidos e explicados passo a passo por Soares (2016), assim sendo, neste capítulo apenas serão apresentados as informações cruciais para a correta compreensão do mesmo.

Na Tabela 16 são sintetizadas algumas características que definem o modelo de simulação do caso de estudo; algumas das quais serão analisadas de forma mais detalhada nas secções que se seguem.

Tabela 16 - Características do modelo de simulação do caso de estudo

	Características do modelo de simulação
Localização	Lisboa (Portugal), latitude: 40,3°, longitude: 8°
Tipo de terreno	Urbano
Período de simulação	Ano tipo para a cidade de Lisboa
Envidraçados	Dois envidraçados orientados a Sul e dois a Norte
Infiltração	0,6 renovações de ar por hora:
Ganhos internos	0,05382 pessoas/m ² , luzes: 4 W/m ²
Pavimentos	Lajes de betão consideradas como adiabáticas
Paredes interiores	Tijolo cerâmico 11 cm com reboco tradicional cimentício de 2 cm nas duas superfícies

É importante realçar que todas as etapas descritas de seguida foram utilizadas quer na edição do ficheiro IDF para utilização do modelo CTF, quer para a utilização do modelo HAMT. Para ser mais preciso, no processo de aplicação do modelo HAMT, o ficheiro IDF previamente editado (com o modelo CTF pré-definido) foi copiado e ajustado, de modo a que fosse possível aplicar o modelo HAMT. As

alterações efetuadas serão discutidas no desenrolar da presente dissertação, mais propriamente na secção 4.3.3.13 – Modelo HAMT.

4.3.3.1 Building

No separador “*Building*” é inserido o nome do ficheiro IDF, mas também dados de um âmbito mais geral, entre os quais: a orientação do caso de estudo (0° a Norte), o meio em que se insere o terreno (urbano, importante para a rugosidade do vento), a seleção de qual o tipo de distribuição solar que se pretende simular e o número de dias de aquecimento do programa (“*Warmup period*”), antes de reportar os parâmetros de saída (25 dias).

4.3.3.2 Timestep

O número introduzido no campo de entrada “*Timestep*” corresponde ao número de vezes por hora que o utilizador deseja que o EnergyPlus reporte uma dada variável de saída. Por exemplo, ao ser definido um “*Timestep*” de vinte, ao longo de uma hora o EnergyPlus irá reportar vinte vezes a variável de saída selecionada pelo utilizador ou, por outras palavras, de três em três minutos é emitido um registo dessa variável de saída. Este pode tomar o valor mínimo de um e o valor máximo de sessenta. O EnergyPlus recomenda que para a utilização do modelo HAMT (Heat and Moisture Transfer) se utilize um “*Timestep*” de, no mínimo, 20.

4.3.3.3 Site: Location

No que diz respeito à secção “*Site: Location*” podem ser inseridos informações relativas à localização do edifício: latitude, longitude, fuso horário e altitude. Contudo, esta informação é automaticamente preenchida quando se recorre a um ficheiro com dados climáticos, “*Weather File*”, como ocorreu com a elaboração deste trabalho, onde se utilizou o ficheiro correspondente à região de Lisboa, de modo a que o caso de estudo ficasse sujeito às condições climáticas mais prováveis de se verificarem.

4.3.3.4 Run Period

Na divisão “*Run Period*” é onde o utilizador escolhe qual o dia e o mês de início e de fim da simulação e o ano em que esta começa. No decorrer da realização deste trabalho recorreram-se a dois calendários de simulação distintos, um que corresponde a uma simulação anual: que começa a 1 de Janeiro e termina a 31 de Dezembro; e um segundo calendário em que o ano foi dividido em duas partes: um período de aquecimento, 1 de Outubro a 30 de Junho, e um período de arrefecimento, 1 de Julho a 30 de Setembro (Tabela 17).

Tabela 17 - Início e fim do período de aquecimento e de arrefecimento

	Período de aquecimento	Período de arrefecimento
Início	1 de Outubro	1 de Julho
Fim	30 de Junho	30 de Setembro

O calendário anual foi utilizado em praticamente todas as simulações, excetuando as que foram realizadas para a determinação das necessidades energéticas de aquecimento e de arrefecimento.

4.3.3.5 Schedules

Os ganhos internos e, por conseguinte, as necessidades energéticas estão relacionadas com a frequência e com tipo de utilização por parte dos utilizadores, sendo influenciados por fatores como o número de pessoas, a duração da ocupação, os consumos dos equipamentos elétricos, a sua taxa de

utilização, a gama de temperaturas de conforto e o período de funcionamento estores de sombreamento interiores.

Existe a necessidade de, para cada horário de funcionamento, definir qual o tipo de unidades (ligado/desligado, temperatura, percentagem, entre outros), de distribuição (discreta ou contínua) e o seu valor máximo e mínimo, tal pode ser definido na secção “*Schedule Type Limits*”. Após se ter definido cada horário, é vital que se defina e caracterize a sua distribuição ao longo do dia, isto é, a percentagem de consumos em função de cada hora ou se em função das horas diárias se encontra ligado ou desligado. Tal definição foi introduzida no campo “*Schedule: Compact*”. Estes horários foram utilizados na definição dos horários de funcionamento dos equipamentos elétricos, da presença de pessoas, da existência ou não de estores sombreamento e das renovações de ar por hora (Anexo 4).

4.3.3.6 Surface Construction Elements

No grupo “*Surface Construction Elements*” foram definidos os materiais de construção e as soluções construtivas que iriam integrar o caso de estudo.

O primeiro passo consistiu em definir no separador “*Material*”, as características do material, mais propriamente: nome, rugosidade, espessura, condutibilidade térmica, densidade e calor específico. Porém, é ainda possível, definir os valores para o coeficiente de absorção térmica, solar e visível ou pode optar-se por utilizar os valores sugeridos pelo EnergyPlus, 0,9; 0,7; 0,7, respetivamente. Na Figura 15 é apresentado um exemplo da caracterização de um material, neste caso um reboco térmico de 2cm de espessura.

Field	Units	Obj60
Name		ISODUR_2cm
Roughness		MediumRough
Thickness	m	0,02
Conductivity	W/m-K	0,07
Density	kg/m3	400
Specific Heat	J/kg-K	700
Thermal Absorptance		0,9
Solar Absorptance		0,7
Visible Absorptance		0,7

Figura 15 - Características que definem um material (modelo CTF)

O campo “*Material: Air Gap*”, permite ter em conta a adoção de caixas de ar, para tal é requerido ao utilizador que introduza o nome do “objeto” e a resistência térmica do ar. Este “objeto” pode ser posteriormente adicionado a uma solução construtiva.

O *software* EnergyPlus permite a realização de simulações com a consideração de vãos envidraçados. De modo a caracterizar a solução construtiva que corresponde a esses elementos envidraçados, é essencial que, primeiramente, se definam as propriedades dos vidros que as vão incorporar e as características das suas caixas de ar.

A caracterização dos vidros foi realizada na secção “*Window Material Glazing*” e para tal foi necessário introduzir valores correspondentes à espessura, à reflexão solar, à transmitância solar e à condutibilidade térmica dos mesmos. De seguida, foi ainda, preciso definir as caixas-de-ar na secção “*Window Material: Gas*”: seleccionar o tipo de gás e qual a sua espessura.

Na Figura 16 é apresentada uma captura de ecrã da secção “*Window Material Glazing*” onde são caracterizados os tipos de vidros, neste caso um vidro simples com 3 mm de espessura.

Field	Units	Obj1
Name		Clear 3mm
Optical Data Type		SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name		
Thickness	m	0,003
Solar Transmittance at Normal Incidence		0,837
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,075
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,075
Visible Transmittance at Normal Incidence		0,898
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,081
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,081
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0,84
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0,84
Conductivity	W/m-K	0,9

Figura 16 - Propriedade de um vidro utilizado

Na Tabela 22 são apresentadas as soluções construtivas dos envidraçados das janelas e das portas de acesso à varanda que foram utilizados na conceção do caso de estudo. Como o objetivo deste trabalho não foi estudar os efeitos da alteração das soluções dos vãos envidraçados, estes não foram alterados no decurso da realização das simulações.

Tabela 18 - Soluções adotadas para as janelas e portas em contacto com o exterior

Solução	Vidro interior (mm)	Caixa de ar (mm)	Vidro exterior (mm)
Janela	4	12	4
Portas	4	14	6

Após a definição dos materiais e dos vãos envidraçados, foi possível definir as diferentes soluções construtivas. Para tal, recorreu-se ao campo “*Construction*”, onde os materiais constituintes de uma dada solução foram introduzidos um a um, partindo da face exterior para a interior. Na Figura 17, a título de exemplo é apresentada a solução construtiva da laje inferior da fração autónoma.

Field	Units	Obj4
Name		PAVIMENTO
Outside Layer		BETAO_ARM 15 cm
Layer 2		ARGAMASSA 3 cm
Layer 3		LADR CERAM 2.5 cm

Figura 17 - Solução construtiva das lajes

No grupo “*Surface Construction Elements*” foi ainda definido o material “Estores” do elemento de sombreamento não permanente, na secção “*Window Material: Shade*”. Previamente, foi definido, no campo “*Schedules: Schedule: Compact*”, que estes encontram-se recolhidos das sete e meia da manhã até às oito da noite, ou seja, o seu horário de sombreamento. Estas definições vão ser necessárias no subcapítulo que se segue, onde se explica o processo de definição de um elemento de sombreamento não permanente e a forma como este se associa a uma janela ou a uma porta envidraçada.

4.3.3.7 Thermal Zone and Surfaces

Neste grupo são definidas as zonas térmicas e as características das superfícies da fração são estipuladas. O recurso ao Plugin do OpenStudio facilita o processo de caracterização das superfícies, dado que, os campos relativos ao tipo de superfície (chão, parede, janela, entre outros) e às suas coordenadas geométricas já se encontram automaticamente preenchidos. Não obstante, cabe ao utilizador, selecionar, para cada superfície, qual a solução construtiva adotada, qual a zona térmica em que se insere, qual a sua condição de fronteira (exterior, adiabática, entre outras) e o tipo de exposição

ao sol e ao vento. A título de exemplo é apresentado na Figura 18 a forma como foi definida a laje inferior e uma parede do envelope exterior da fração autónoma pertencente à zona A.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		PISO_A	PAREDE_A1
Surface Type		Floor	Wall
Construction Name		PISO_INF_ZA	INT_ADIA
Zone Name		ZONA_A	ZONA_A
Outside Boundary Condition		Adiabatic	Zone
Outside Boundary Condition Object			ZONA_B
Sun Exposure		NoSun	NoSun
Wind Exposure		NoWind	NoWind
View Factor to Ground		0	0

Figura 18 - Caracterização de duas superfícies

No que diz respeito às condições de fronteira exterior, no caso da parede que separa o espaço aquecido da caixa de escadas, esta foi definida em “*Other Side Coefficient*”, tendo surgido a necessidade de caracterizar a caixa de escadas (abordado de seguida na seção 4.3.3.8).

Os elementos incorporados nas superfícies, tais como a porta de entrada, as janelas exteriores e as portas de vidro de acesso à varanda, foram caracterizadas no campo “*Thermal Zones and Surfaces: Fenestration Surface: Detailed*”. Neste campo foi necessário selecionar a sua solução construtiva e no caso das janelas e das portas envidraçadas foi, ainda, necessário estabelecer como 0,5 o valor do “*view factor to ground*” (por se tratarem de elementos envidraçados verticais) e selecionar o tipo de sombreamento que lhe está associado, estores interiores não permanentes.

O tipo de sombreamento foi previamente definido e a cada um destes atribuído um nome, selecionado o tipo de material e o seu horário de sombreamento, tal tarefa foi realizada no campo “*Thermal Zones and Surfaces: Window Property: Shading Control*”. No ponto 4.3.3.6 foi explicado como se define um material de sombreamento e o seu respetivo horário de funcionamento. Na Figura 19 - Caracterização de uma janela é apresentada a forma com foi caracterizada uma janela embutida na parede A2.

Field	Units	Obj1
Name		JANELA_A1
Surface Type		Window
Construction Name		VIDRO DUPL0 4+1
Building Surface Name		PAREDE_A2
Outside Boundary Condition Object		
View Factor to Ground		0,5
Shading Control Name		ESTORE

Figura 19 - Caracterização de uma janela

As zonas térmicas foram separadas por duas paredes adjacentes, consequência de se ter admitido que as zonas A e B têm esquemas de ventilação separada. Na Figura 20 é ilustrada a modelação dessa dupla parede.

A existência desta parede divisória foi compatibilizada na inércia térmica dos elementos interiores, assim no campo “*Thermal Zones and Surfaces: Internal Mass*” foram introduzidas as soluções construtivas, a sua área superficial e a zona térmica a que pertence cada uma dessas paredes. Na Tabela 19 é sintetizada a informação sobre a solução construtiva das paredes interiores.

Tabela 19 - Solução construtiva das paredes interiores

	Material	Rugosidade	Espessura (mm)	Condutibilidade térmica (W/m.°C)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.°C)
Solução da parede divisória	Reboco	Rugoso	20	1,150	2000	837
	Tijolo furado	Rugoso	110	0,334	1500	837
	Reboco	Rugoso	20	1,150	2000	837

Neste grupo é ainda possível ter em conta a existência de palas de sombreamento exteriores (representadas a roxa na Figura 13, Figura 14 e Figura 20). Para tal no campo de entrada “*Thermal Zones and Surfaces: Shading: Building: Detailed*” foram inseridos, os nomes dos elementos de sombreamento e os respetivos horários de funcionamento.

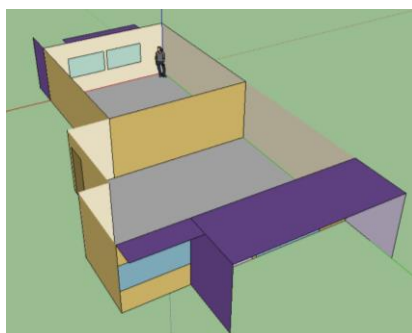


Figura 20 - Parede de separação de zonas

Mais adiante será feita uma análise de diferentes soluções construtivas com e sem a consideração de palas de sombreamento exteriores. Quando se utiliza a expressão “com sombreamento” pretende-se indicar que estas palas de sombreamento são elementos opacos, o significa que na linha “*Transmittance Schedules Name*” do campo “*Thermal Zones and Surfaces: Shading: Building: Detailed*” o horário de funcionamento é definido para “Always off” (Figura 21). Posto isto, importa referir que a linha é alterada de “Always off” para “Always on” quando se pretende alterar de “com sombreamento” para “sem sombreamento”.

Field	Units	Obj1
Name		PALA_NORTE_V2
Transmittance Schedule Name		Always On

Figura 21 - Exemplo da caracterização de uma pala de sombreamento exterior

4.3.3.8 Advanced Construction, Surface, Zone Concepts

Ao contrário do que acontece quando se analisam superfícies em contacto com espaços aquecidos, quando se analisam superfícies em contacto com espaços não aquecidos é crucial que se proceda à caracterização desse espaço não útil dado que, vão existir transferências de calor e por consequência trocas de calor com o interior da fração autónoma. Por seu turno, as perdas podem ser caracterizadas recorrendo à quantificação coeficiente de redução de perdas, sendo este a relação entre a área que separa o espaço não útil do espaço útil (A_i) e a área que separa o espaço não útil do ambiente exterior (A_u). O coeficiente de redução de perdas é seguidamente relacionado com o volume de espaço não útil (V_{enu}) e com o facto de este ser ou não ventilado.

Segundo o Regulamento dos Edifícios de Habitação (REH), para o espaço não útil adjacente ao fogo (caixa de escadas) o valor do coeficiente de redução de perdas é de 0,6 visto que se trata de um espaço não útil sem aberturas de ventilação permanentemente abertas, com uma relação $A_i/A_u = 3,56$ e um volume de 676 m³ (V_{enu}). Na secção “*Surface Property: Other Side Coefficients*” foi introduzido o valor

0,6 na secção “*External Dry-Bulb Temperature Coefficient*” e o valor 0,4 na linha referente a “*Zone Air Temperature Coefficient*”. Na Figura 22 é apresentada uma síntese dos parâmetros e quais os valores adotados para a correta definição da região envolvente, denominada de “caixa_escadas”.

Field	Units	Obj1
Name		caixa_escadas
Combined Convective/Radiative Film Coefficient	W/m2-K	0
Constant Temperature	C	0
Constant Temperature Coefficient		1
External Dry-Bulb Temperature Coefficient		0,6
Ground Temperature Coefficient		0
Wind Speed Coefficient		0
Zone Air Temperature Coefficient		0,4
Constant Temperature Schedule Name		
Sinusoidal Variation of Constant Temperature Coefficient		No
Period of Sinusoidal Variation	hr	24

Figura 22 - Caracterização da envolvente “caixa de escadas”

4.3.3.9 Internal Gains

As temperaturas e as humidades relativas interiores e, por conseguinte, os consumos energéticos, variam em função dos ganhos internos que se consideram no caso de estudo. Estes ganhos, são tidos em conta no grupo “*Internal Gains*”, onde para cada zona térmica foram introduzidos parâmetros que caracterizam o seu tipo de ocupação.

No que diz respeito aos ganhos devido à presença de ocupantes, estes foram tidos em conta na secção “*People*”, onde foi introduzido a ocupação por unidade de área (pessoas/m²) e a percentagem de ocupação em função das horas do dia. Foi considerado que o caso de estudo era habitado por 5 pessoas, o que equivale a 0,05382 pessoas/m², e uma atividade física de 120 W/pessoa que está de acordo com a atividade “digitar no computador” da tabela do ASHRAE (*bigladdersoftware, 2017*).

O cálculo da taxa de produção de vapor de água associada à presença de pessoas nos espaços é feito de forma automática pelo programa Energyplus (Afonso, 2011).

No campo “*Lights*” foram quantificados os ganhos internos, na forma de W/m² e foi estipulado o horário de utilização destes dispositivos. Para os ganhos internos considerou-se o valor de 4 W/m². Importa ainda referir que, a cada termo da equação de ganhos internos foi associado um horário de funcionamento ou de permanência. Estes horários foram discutidos no ponto 4.3.3.5.

4.3.3.10 Zone Airflow

A ventilação natural é um fator que têm elevada importância quando se pretende avaliar o desempenho térmico de um espaço. Visto isto, é importante caracterizar a afluência e a saída de ar ao caso de estudo, isto é, a taxa de renovação de ar por hora. No campo de entrada “*Zone Infiltration: Design Flow Rate*” foi introduzido o valor de 0,6 renovações por hora, que equivale ao valor mínimo de cálculo estabelecido pelo REH para estação de Verão. Este valor foi mantido ao longo da realização, uma vez que o objetivo do presente projeto não é avaliar os impactos da alternância das renovações de ar.

4.3.3.11 HVAC Template

Uma vez modelado e caracterizado o caso de estudo foi necessário definir intervalos de temperaturas de conforto, na secção “*HVAC Templates: HVAC Template: Thermostat*”, de modo a obter estimativas para as necessidades energéticas de climatização (Tabela 20).

Tabela 20 - Intervalos de temperatura considerados

	Const_setpoint_ano	Const_setpoint_aque	Const_setpoint_arr
Ponto de ajuste de aquecimento (°C)	18	18	10
Ponto de ajuste de arrefecimento (°C)	25	50	25

Estes intervalos de temperatura foram utilizados aquando a realização de simulações, com o intuito de obter uma estimativa para as necessidades energéticas de cada uma das soluções adotadas. Recorrendo ao campo “*HVAC Templates: HVAC Template: Zone: Ideal Loads Air System*”, é possível selecionar o termostato de cada zona térmica.

4.3.3.12 Output Reporting

É através do campo “*Output Reporting: Output: Variable Dictionary*” que o utilizador seleciona quais as variáveis que devem ser reportadas pelo EnergyPlus, após a realização da simulação e qual a frequência com que esta é reportada (mensalmente, diariamente, segundo o valor definido no “*timestep*”, entre outros). Na Figura 23 são ilustrados dois exemplos.

Field	Units	Obj1	Obj2
Key Value		*	*
Variable Name		Zone Mean Air Temperature	Zone Air Relative Humidity
Reporting Frequency		Timestep	Monthly

Figura 23 - Exemplo da seleção das variáveis e da sua frequência de saída

4.3.3.13 Modelo HAMT

O programa EnergyPlus, permite que o utilizador selecione qual o algoritmo que pretende que seja usado para a realização dos cálculos de transferência de calor e de vapor de água efetuados ao longo da realização das simulações. Um dos algoritmos disponíveis é o HAMT – *Heat and Moisture Transfer*, este modelo permite resolver as equações de troca de calor e vapor de água, simulando a sua movimentação e o seu armazenamento em superfícies exteriores e interiores, possibilitando assim a identificação de superfícies com elevadas humidades relativas e traçar perfis de temperaturas de diferentes tipos de soluções construtivas (*bigladdersoftware, 2017*). As principais equações do modelo HAMT são enunciadas no Anexo 17.

Este modelo que foi adotado na realização das simulações efetuadas do subcapítulo 4.5 “Risco de ocorrência de condensações superficiais”, onde se quantificou a ocorrência de condensações nas superfícies interiores e exteriores das paredes exteriores que delimitam o caso de estudo. Optou-se pela utilização deste modelo, em detrimento de outros modelos mais simplificados como o CTF (*Conduction Transfer Function*), dado que o modelo HAMT permite uma análise mais detalhada da variação de temperaturas e de humidades relativas ao longo de toda a espessura do elemento construtivo. Ao serem introduzidas características que são imprescindíveis quando se pretende realizar um estudo do comportamento e do desempenho de um material ou de uma solução construtiva na presença de água ou vapor de água, permite que se obtenham resultados com um maior grau de confiança (*bigladdersoftware - HAMT model, 2017*). A quantificação do risco de ocorrência de condensações nas superfícies internas e externas das paredes exteriores que delimitam o caso de estudo apresentam-se no subcapítulo 4.5.

O primeiro passo a ser efetuado para a realização de uma simulação pelo modelo HAMT é, na seção “*Simulation Parameters: Heat Balance Algorithm*”, alterar o algoritmo definido de “*Conduction Transfer*

Function” para “Combined Heat and Moisture Finite Element” (Figura 24). O recurso ao modelo HAMT exige uma definição de mais características do que aquelas que tinham sido exigidas para a definição de um material no modelo CTF (Tabela 21), modelo pré-definido pelo EnergyPlus.

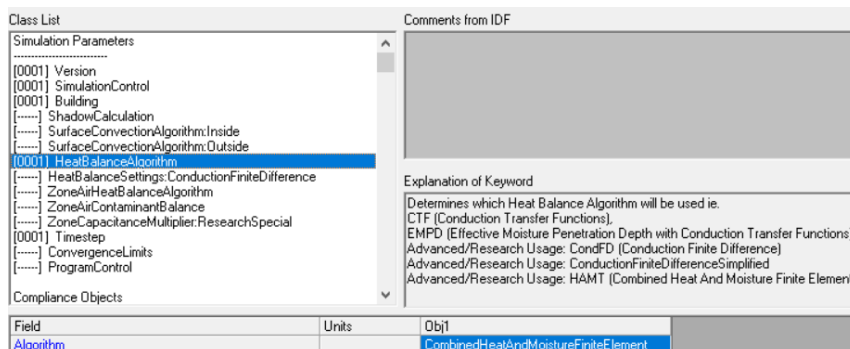


Figura 24 - Seleção do modelo HAMT

Além de ser necessário introduzir as características, resumidas na Tabela 21, para a definição de um material é necessário introduzir um conjunto de parâmetros, que são seguidamente listados:

- Porosidade do material (m^3/m^3);
- Proporção do teor de água inicial (kg/kg);
- Pontos da curva isotérmica de sorção, isto é, teor de água (kg/m^3) em função do valor da humidade relativa (adimensional);
- Vários valores para o coeficiente de difusão de líquidos em condições de sucção (m^2/s) em função do teor de água (kg/m^3);
- Vários valores para o coeficiente de difusão de líquidos em condições de normais (m^2/s) em função do teor de água (kg/m^3);
- Vários valores para o coeficiente de resistência à difusão do vapor de água (μ) em função da humidade relativa (adimensional);
- Vários valores para a condutibilidade térmica ($W/m \cdot ^\circ C$) em função do teor de água (kg/m^3).

Tabela 21 - Definição de um material no modelo CTF

Campo	Unidades
Nome	-
Rugosidade	-
Espessura	m
Condutividade térmica	W/m.K
Densidade	Kg/m3
Calor específico	J/kg-K
Absorção Térmica	-
Absorção Solar	-
Absorção Visível	-

Na Tabela 22 são sintetizados os parâmetros que podem ser reportados pelo EnergyPlus, quando se recorre ao modelo HAMT.

Tabela 22 - Variáveis de saída do modelo HAMT

Variáveis de saída
Proporção do teor de água médio da superfície da zona pelo HAMT (kg/kg)
Temperatura média da superfície da face interior da zona pelo HAMT (C)
Humidade relativa média da superfície interior da zona pelo HAMT (%)
Pressão do vapor média da superfície interior da zona pelo HAMT (Pa)
Temperatura média da superfície da face exterior da zona pelo HAMT (C)
Humidade relativa média da superfície exterior da zona pelo HAMT (%)

À semelhança do que sucedeu aquando a utilização do modelo CTF do EnergyPlus, também para o modelo HAMT foi necessário definir quais as variáveis de saída a serem reportadas pelo programa. A maneira como se definem estas variáveis e a seleção da sua frequência de saída foi previamente abordada em 4.3.3.12.

Este modelo será utilizado no subcapítulo 4.5, onde serão estudadas e quantificadas o risco da ocorrência de condensações nas superfícies internas e externas das paredes exteriores que delimitam o caso de estudo para dois tipos de rebocos térmicos associados a diferentes soluções construtivas, sob diferentes condições (com ou sem a existência de palas de sombreamento exteriores). Será também explicado quais os parâmetros de saída que foram utilizados e com que objetivo.

4.4 Análise de temperaturas e de humidades relativas

4.4.1 Introdução

Numa primeira análise, recorrendo aos programas EnergyPlus e Microsoft Excel, foram elaboradas as tabelas que serão analisadas no decorrer deste capítulo. Nestas tabelas, presentes do Anexo 5 ao Anexo 12, encontram-se sintetizados os valores máximos e mínimos registados, ao longo de um ano tipo para a cidade de Lisboa, para os valores de temperatura e humidade relativa média do ar para as diferentes zonas em estudo, zona A e zona B, em função das diferentes configurações construtivas, materiais utilizados e sem ou com a consideração da existência de palas de sombreamento exterior, quando não se considera qualquer sistema de climatização.

A cada linha de uma tabela corresponde uma solução construtiva diferente e para cada uma dessas soluções construtivas foi realizada uma simulação no EnergyPlus. De seguida, foi realizado o processo de tratamento de dados, descrito no Anexo 2, para cada um dos ficheiros “.CSV” resultantes das simulações. Posteriormente, com recurso às funções “máximo” e “mínimo” do programa Microsoft Excel foi possível aferir quais os valores máximos e mínimos registados para os parâmetros em causa em função dos meses do ano.

A temperatura e a humidade relativa médias de cada zona térmica foram definidas como variáveis de saída, deste modo o EnergyPlus reportava para cada uma das zonas térmicas as temperaturas e as humidades relativas registadas ao longo do ano tipo da cidade de Lisboa.

A realização desta investigação contribuiu para que se percebesse os efeitos das diferentes soluções construtivas e da existência ou não de palas de sombreamento exteriores nos valores das temperaturas e humidades relativas sem a utilização de qualquer sistema de aquecimento ou de arrefecimento. Permitiu também comparar zonas com diferentes orientações e verificar qual o mês mais crítico em termos de humidade relativa máxima para a realização de um estudo mais detalhado.

4.4.2 Parâmetros e soluções analisadas

No decorrer deste subcapítulo serão enunciados e analisados quais os elementos construtivos e quais as soluções construtivas que foram consideradas na análise realizada de modo a obter resultados para as temperaturas e humidades relativas máximas e mínimas registadas ao longo do ano tipo para a cidade de Lisboa, sem a utilização de quaisquer sistemas de aquecimento ou de arrefecimento, que

consumissem energia. Optou-se por tal abordagem para perceber os efeitos diretos da aplicação dos rebocos térmicos e da consideração de diferentes soluções construtivas ou de palas de sombreamento.

Na Figura 25 é ilustrada o modelo 3D no Google Sketchup e os nomes que foram atribuídos a cada umas das superfícies. Na Tabela 23 é apresentada de forma sintética quais as superfícies em que se consideraram soluções construtivas fixas e as que foram consideradas como variáveis.

Em relação às soluções construtivas adotadas: para o piso e teto optou-se pela solução fixa descrita na Tabela 24; para as paredes A1, A4, B1 e B2 optou-se pela solução fixa “Int_ADIA”, também descrita na mesma tabela. Relativamente às outras superfícies que constam na Tabela 23 a sua solução foi considerada como variável, isto é, foi considerada cada uma das soluções da Tabela 26.

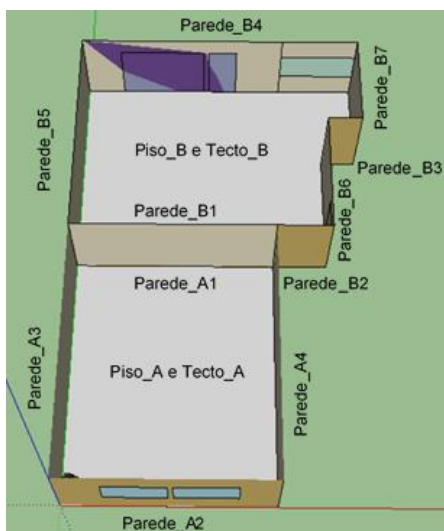


Tabela 23 - Soluções construtivas fixas e variáveis

Zona	Superfície	Solução
Zona A	Piso_A	Fixa - Tabela 26
	Tecto_A	Fixa - Tabela 26
	Parede_A1	Fixa - Int_ADIA
	Parede_A2	Variável
	Parede_A3	Variável
	Parede_A4	Fixa - Int_ADIA
Zona B	Piso_B	Fixa - Tabela 26
	Tecto_B	Fixa - Tabela 26
	Parede_B1	Fixa - Int_ADIA
	Parede_B2	Fixa - Int_ADIA
	Parede_B3	Variável
	Parede_B4	Variável
	Parede_B5	Variável
	Parede_B6	Variável
Parede_B7	Variável	

Figura 25 - Denominação das superfícies da fração

Na Tabela 24 são condensadas as informações e as características relativas às soluções construtivas adotadas para as superfícies que foram consideradas como fronteiras adiabáticas. Novamente, realça-se que a ordem se encontra de forma sequencial da superfície exterior para a superfície interior.

As soluções adotadas para os vãos envidraçados foram discutidas na secção 4.3.3.6. Relativamente à porta de acesso à fração autónoma foi adotada uma porta de madeira com 25 cm de espessura, condutibilidade térmica de 0,15W/m.°C, densidade de 608 kg/m³ e calor específico de 1630 J/kg.°C.

Tabela 24 - Soluções construtivas das fronteiras que separaram espaços aquecidos

Solução	Material	Rugosidade	Espessura (mm)	Condutibilidade térmica (W/m.°C)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.°C)
Parede (Int_ADIA)	Reboco	Rugoso	30	1,15	2000	837
	Tijolo furado	Rugoso	220	0,336	1000	837
	Reboco	Rugoso	30	1,15	2000	837
Piso	Reboco	Rugoso	20	1,15	2000	837
	Betão armado	Rugoso médio	150	1,75	2500	837
	Argamassa	Rugoso médio	30	1,2	2200	837
	Ladrilho cerâmico	Rugoso	8	1,15	1900	837
Teto	Ladrilho cerâmico	Rugoso	8	1,15	1900	837
	Argamassa	Rugoso médio	30	1,2	2200	837
	Betão armado	Rugoso médio	150	1,75	2500	837
	Reboco	Rugoso	20	1,15	2000	837

Na Tabela 25 são apresentados os materiais que foram selecionados para integrarem as soluções construtivas das superfícies em que a solução adotada para a mesma varia ao longo da realização das

simulações (superfícies em contacto com o exterior e com a caixa de escadas). O material isolante poliestireno expandido (EPS) foi escolhido para ser o material isolante de referência, uma vez que é vastamente utilizado em Portugal e deste modo, mais familiarizado o seu desempenho. Adotaram-se os rebocos térmicos “*Isodur*”, “*Aislone*”, “*Evolution*” e “*Fixit222*”, pelo facto de serem os rebocos térmicos, disponíveis no mercado Europeu, que apresentam menores valores de condutibilidade térmica. Adicionalmente, estudou-se o efeito da incorporação do reboco térmico “*Hemp*”. Por fim, são apresentadas as características consideradas para os tijolos furados de alvenaria cerâmica de 11 cm e 22cm e de um reboco cimentício tradicional.

As propriedades térmicas dos rebocos térmicos “*Isodur*” e “*Aislone*”, produzidos pelas empresas Secil e Weber, respetivamente, são conferidas pela incorporação de agregados de EPS. Relativamente, ao reboco térmico “*Evolution*”, produzida pela Diasen, esta é constituída uma mistura de cortiça com terra diatomácea. Adicionalmente, o reboco térmico “*Fixit222*”, fabricada pela Fixit, apresenta na sua constituição partículas de aerogel. Por fim o reboco “*Hemp*” é um reboco à base de cal e de fibras naturais de cânhamo (“*Hemp*” em inglês).

Tabela 25 - Propriedades dos materiais da envolvente exterior opaca.

Material / Características	Rugosidade	Condutibilidade térmica (W/m.°C)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.°C)
Placa de poliestireno expandido (EPS)	Suave médio	0,037	35	1500
ISODUR	Rugoso médio	0,07	400	700
AISLONE	Rugoso médio	0,05	260	700
EVOLUTION	Rugoso médio	0,045	360	1000
FIXIT 222	Rugoso médio	0,028	220	700
HEMP	Rugoso médio	0,102	304	1270
Tijolo furado 22 cm	Rugoso	0,336	1000	837
Tijolo furado 11 cm	Rugoso	0,334	1500	837
Reboco cimentício tradicional	Rugoso médio	1,4	2200	840

Na Figura 26 e na Tabela 26 são apresentadas as soluções construtivas consideradas para a realização deste estudo. Todas as hipóteses construtivas estudadas, a integrar superfícies que separam espaço aquecidos de não aquecidos, são variantes de paredes duplas, com uma caixa de ar com 3 cm de espessura, visto que o panorama geral da construção em Portugal apoia-se muito na construção deste tipo de parede.

De modo a ter um maior nível de compreensão dos resultados obtidos para as diferentes soluções, foram consideradas cinco soluções construtivas de referência. Duas paredes simples com um tijolo de 22 cm com 3 e 2 cm de reboco aplicadas em ambas a faces do tijolo, “*Int_ADIA*” e “*Ext_REF*”, respetivamente. As restantes soluções construtivas de referência consideradas, foram três paredes duplas com 4, 6 e 8 cm de EPS aplicado entre os panos de alvenaria cerâmica, P_dupla_EPS_4, P_dupla_EPS_6 e P_dupla_EPS_8, pela mesma ordem.

Um dos objetivos da realização deste subcapítulo é comparar diretamente os rebocos térmicos e os ETICS, deste modo foram, também, consideradas três soluções construtivas de ETICS com 4, 6 e 8 cm de EPS: ETICS_4, ETICS_6 e ETICS_8, respetivamente.

Foram realizadas no total cinquenta e seis simulações, de maneira a que obtivessem dados para a realização das tabelas de temperaturas e humidades relativas máximas e mínimas registadas. Duas simulações para cada configuração construtiva, uma com e outra sem a consideração de palas de sombreamento exteriores, para vinte e oito tipos de parede. Nestas simulações, definiu-se um “timestep” de 20, isto é, o EnergyPlus reportava as variáveis de saída escolhidas 20 vezes por hora.

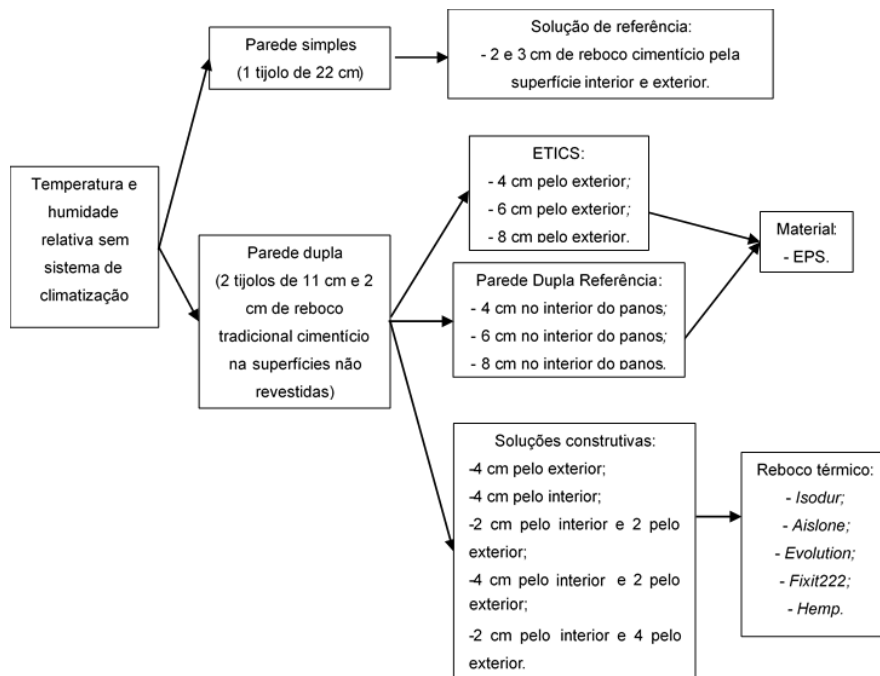


Figura 26 – Fluxograma das soluções construtivas estudadas para as temperaturas e humidades relativas
 Importa ainda mencionar, que os valores de temperaturas e humidades relativas máximas e mínimas registadas para cada solução construtiva foram estudados considerando (ou não) a existência de palas de sombreamento exteriores, deste jeito foi possível quantificar os efeitos da sua existência.

Tabela 26 - Soluções construtivas analisadas

Solução	Material de isolamento	Espessura pelo exterior (cm)	Espessura entre panos de alvenaria (cm)	Espessura pelo interior (cm)	Reboco tradicional (4cm)		Tijolo de 11 cm	Tijolo de 22 cm
					Interior (3 cm)	Exterior (3cm)		
Int_ADIA	-	-	-	-	Sim (3 cm)	Sim (3cm)	-	1
EXT-REF	-	-	-	-	Sim	Sim	-	1
ETICS_e4	EPS	4	-	-	Sim	-	2	-
ETICS_e6	EPS	6	-	-	Sim	-	2	-
ETICS_e8	EPS	8	-	-	Sim	-	2	-
P_dupla_EPS_4	EPS	-	4	-	Sim	Sim	2	-
P_dupla_EPS_6	EPS	-	6	-	Sim	Sim	2	-
P_dupla_EPS_8	EPS	-	8	-	Sim	Sim	2	-
ISODUR_e4	ISODUR	4	-	-	Sim	-	2	-
ISODUR_i4	ISODUR	-	-	4	-	Sim	2	-
ISODUR_e4_i4	ISODUR	4	-	4	-	-	2	-
ISODUR_e4_i2	ISODUR	4	-	2	-	-	2	-
ISODUR_e2_i4	ISODUR	2	-	4	-	-	2	-
AISLONE_e4	AISLONE	4	-	-	Sim	-	2	-
AISLONE_i4	AISLONE	-	-	4	-	Sim	2	-
AISLONE_e4_i4	AISLONE	4	-	4	-	-	2	-
AISLONE_e4_i2	AISLONE	4	-	2	-	-	2	-
AISLONE_e2_i2	AISLONE	2	-	2	-	-	2	-
EVOLUTION_e4	EVOLUTION	4	-	-	Sim	-	2	-
EVOLUTION_i4	EVOLUTION	-	-	4	-	Sim	2	-
EVOLUTION_e4_i4	EVOLUTION	4	-	4	-	-	2	-
EVOLUTION_e4_i2	EVOLUTION	4	-	2	-	-	2	-
EVOLUTION_e2_i2	EVOLUTION	2	-	2	-	-	2	-
FIXIT222_e4	FIXIT222	4	-	-	Sim	-	2	-
FIXIT222_i4	FIXIT222	-	-	4	-	Sim	2	-
FIXIT222_e4_i4	FIXIT222	4	-	4	-	-	2	-
FIXIT222_e4_i2	FIXIT222	4	-	2	-	-	2	-
FIXIT222_e2_i2	FIXIT222	2	-	2	-	-	2	-
Hemp_e4	Hemp	4	-	-	Sim	-	2	-
Hemp_i4	Hemp	-	-	4	-	Sim	2	-
Hemp_e4_i4	Hemp	4	-	4	-	-	2	-
Hemp_e4_i2	Hemp	4	-	2	-	-	2	-
Hemp_e2_i2	Hemp	2	-	2	-	-	2	-

4.4.3 Temperaturas mínimas

Realizada a simulação e o tratamento de dados, recorreu-se à função “Mínimo” do Microsoft Excel, de modo a obter os valores mínimos do parâmetro de saída “Temperatura média do ar da zona” para elaborar das tabelas presentes no Anexo 5 e no Anexo 6, temperaturas mínimas sem e com a consideração de elementos de sombreamento exteriores à fração autónoma.

Na Figura 27 são apresentados quatro gráficos relativos aos valores registados para as temperaturas mínimas interiores para soluções com o reboco térmico “*Isodur*”. Ao comparar as temperaturas mínimas da zona A com a zona B observa-se uma redução média, face ao valores registados na zona A de 4.6 % (correspondente a 0,89°C) quando não se considera a existência de elementos de sombreamento exteriores, e de 4,8% (correspondente a 0,92°C) quando se considera. Esta redução de temperaturas mínimas da zona B, quando comparada com as da zona A, deve-se ao facto de que os envidraçados da zona A, por estarem orientados a Sul, receberem radiação solar com maior intensidade do que os envidraçados da zona B, que se encontram orientados a Norte. E, também pelo facto de a zona A ter mais uma fronteira adiabática do que a zona B, isto é, uma fronteira que separa regiões igualmente aquecidas.

Por outro lado, quando se compara as temperaturas mínimas registadas na zona A sem se considerarem elementos de sombreamento exteriores existe uma redução de temperatura mínima de 2,07% (correspondente a 0,47°C) para quando estes são considerados. E uma redução de 2,24% (correspondente a 0,50°C) dos resultados da zona B sem considerar palas de sombreamento, face aos valores da zona B, mas quando se consideram palas de sombreamento. Esta redução das temperaturas mínimas quando se considera a existência de elementos de sombreamento exteriores, face ao valores quando não se considera a existência destes elementos pode ser justificada porque ao serem introduzidos palas de sombreamento se reduz a quantidade de radiação direta do sol incidente nos envidraçados, sendo esta a solução mais eficaz para reduzir os ganhos solares através de um vão envidraçado (ASHRAE, 2011).

Analisando em conjunto os quatro gráficos conclui-se que a aplicação de 4cm de reboco térmico pela superfície interior das paredes exteriores da fração autónoma permite aumentar os valores das temperaturas mínimas quando comparado com a aplicação de 4 cm pela superfície exterior, o que influencia as necessidades energéticas de aquecimento permitindo assim a poupança energética neste período, no entanto aumenta as necessidades energéticas nos meses de arrefecimento (Julho, Agosto e Setembro); importa então estudar as necessidades energéticas nos dois períodos e ver qual é o mais exigente em termos de consumo energético, escolhendo assim a solução ideal para todo o ano.

A aplicação de 2 cm pela superfície interior e 2cm pela superfície exterior das paredes exteriores da fração autónoma apresenta pior desempenho do que quando se aplica a mesma espessura total (4cm) só pela superfície interior ou só pela superfície exterior das envolventes verticais opacas exteriores nos meses de aquecimento. Por outro lado, nos meses de arrefecimento apresenta melhor desempenho que a solução com 4 cm pela superfície interior e melhor ou igual desempenho à solução com 4 cm pelo exterior. Assim é crucial que se realize um estudo energético, para chegar a melhores conclusões.

O valor acrescentado, pela utilização de mais do que 4 cm de reboco térmico, para o aumento das temperaturas mínimas sem uso de sistemas aquecimento é muito ligeiro, face ao aumento do custo da solução construtiva, importa então analisar as necessidades energéticas de modo a se verificar se a poupança energética permite amortizar o incremento de custo do investimento inicial, aumentando o potencial de aplicação destas soluções construtivas com mais de 4 cm de espessura.

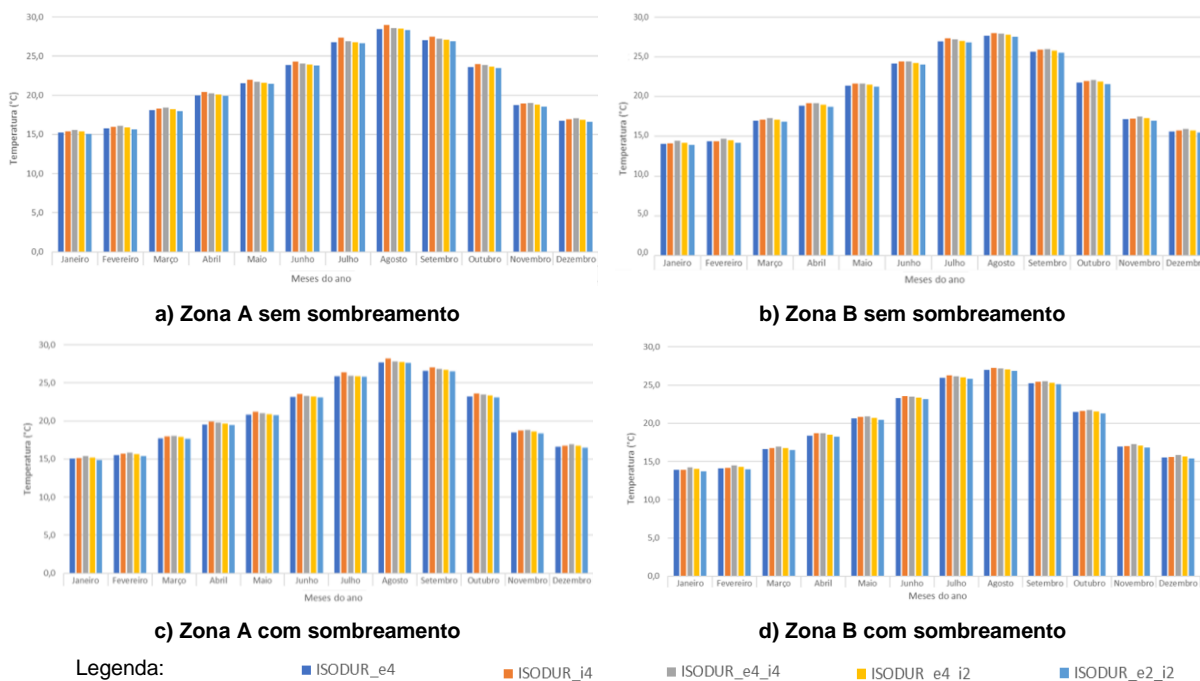


Figura 27 - Temperaturas mínimas interiores mensais

4.4.4 Temperaturas máximas

No Anexo 7 e no Anexo 8 são apresentadas duas tabelas com os valores das temperaturas máximas registadas ao longo do ano tipo considerando a inexistência e a existência de palas de sombreamento.

Ao observar os gráficos presentes na Figura 28 é possível verificar que, quando não se consideram elementos de sombreamento exteriores, existe uma redução de 4,34% (correspondente a 1,12°C), quando se comparam os valores das temperaturas máximas da zona A com as da zona B. Em contrapartida, existe uma redução de 4,77% (correspondente a 1,23°C) quando se consideram palas de sombreamento exteriores. Estas diferenças são justificadas, pelas razões que foram apresentadas anteriormente no âmbito das temperaturas mínimas: os envidraçados orientados a Sul na zona A que recebem luz solar diretamente e a existência de mais uma fronteira adiabática do que na zona B, permitem aumentar os ganhos solares e reduzir as perdas de calor face à zona B.

Relacionando os valores das temperaturas máximas para a zona A não considerando a existência de elementos de sombreamento exteriores com os valores para a mesma zona, mas considerando a existência dos últimos, manifesta-se uma redução de 1,99% (correspondente a 0,58°C). No que diz respeito à zona B existe uma redução de 2,43% (correspondente a 0,69 °C), quando se comparam as temperaturas máximas sem considerar palas de sombreamento com as mesmas, mas considerando elementos de sombreamento exteriores. Justificação também análoga à dada para as temperaturas mínimas, as palas de sombreamento intercetam a radiação solar, reduzindo assim os ganhos solares.

Relativamente à melhor configuração construtiva as conclusões retiradas são idênticas às retiradas para as temperaturas mínimas. A utilização de 4 cm pelo interior das envolvente exteriores é vantajosa nos meses de aquecimento, e de 4 cm pelo exterior nos meses de arrefecimento. A utilização de 2 cm pelo interior e 2 cm pelo exterior tem pior desempenho nos meses de aquecimento e melhor ou igual desempenho nos meses de arrefecimento à aplicação de 4cm pelo exterior ou pelo interior. A decisão relativa à aplicação de mais do que 4 cm de espessura, necessita de um estudo energético.

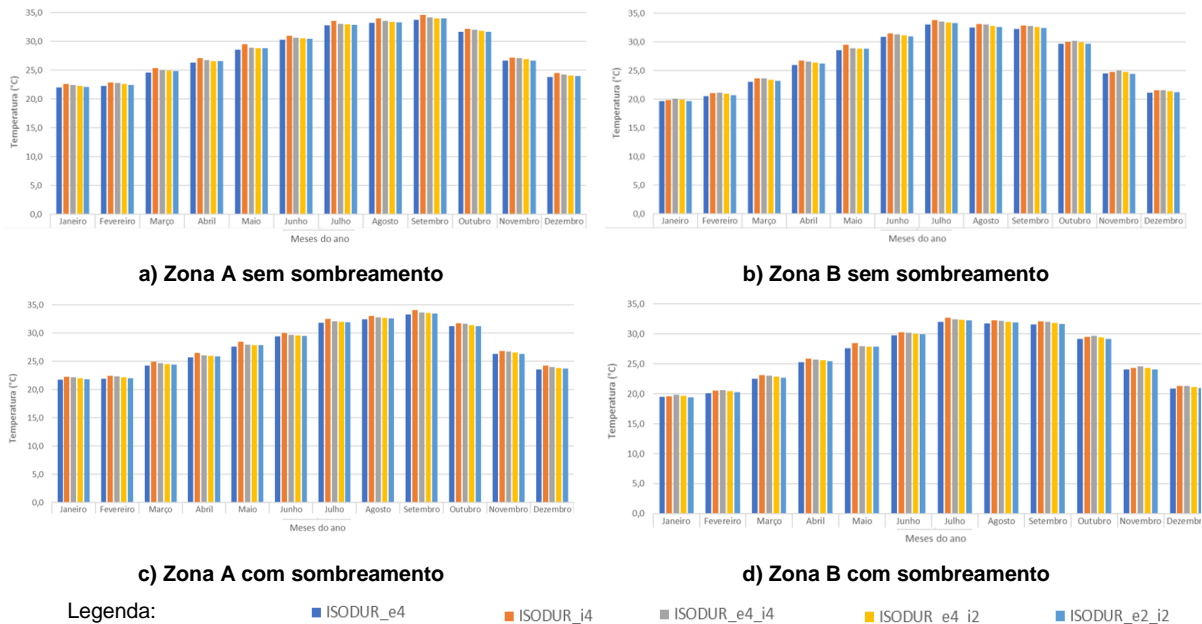


Figura 28 - Temperaturas máximas interiores mensais

4.4.5 Humidades relativas mínimas

As tabelas síntese relativas aos valores registados para as humidades relativas mínimas podem ser consultadas no Anexo 9 e no Anexo 10, não e considerando a existência de palas de sombreamento.

Os quatro gráficos justapostos na Figura 29, sintetizam e permitem analisar a informação relativa à humidade relativa mínima. Estes por sua vez, são complementares dos gráficos da temperatura mínima, uma vez que as humidades relativas mínimas mais elevadas se verificam nos meses em que as temperaturas mínimas são mais baixas (estação de aquecimento) e vice-versa, existe tal relação porque os meses da estação aquecimento são os mais chuvosos e porque o limite de saturação do ar aumenta com o aumento de temperatura.

Ao comparar as humidades relativas mínimas da zona A com as da zona B observa-se um aumento médio, face ao valores registados, na zona A, de 5,80% (correspondente a 1,98% de humidade relativa) quando não se considera a existência de elementos de sombreamento, e de 5,95% (correspondente a 2,06% de humidade relativa) quando se considera. O facto de zona A ter mais uma fronteira adiabática que a Zona B e os seus vãos envidraçados estarem orientados a Sul e portanto, receberem radiação solar com maior intensidade que os vãos envidraçados da zona B, orientadas a Norte, conduz a maiores temperaturas e maiores limites de saturação na zona A, e deste modo a zona A apresenta humidades relativas mínimas menores que a zona B.

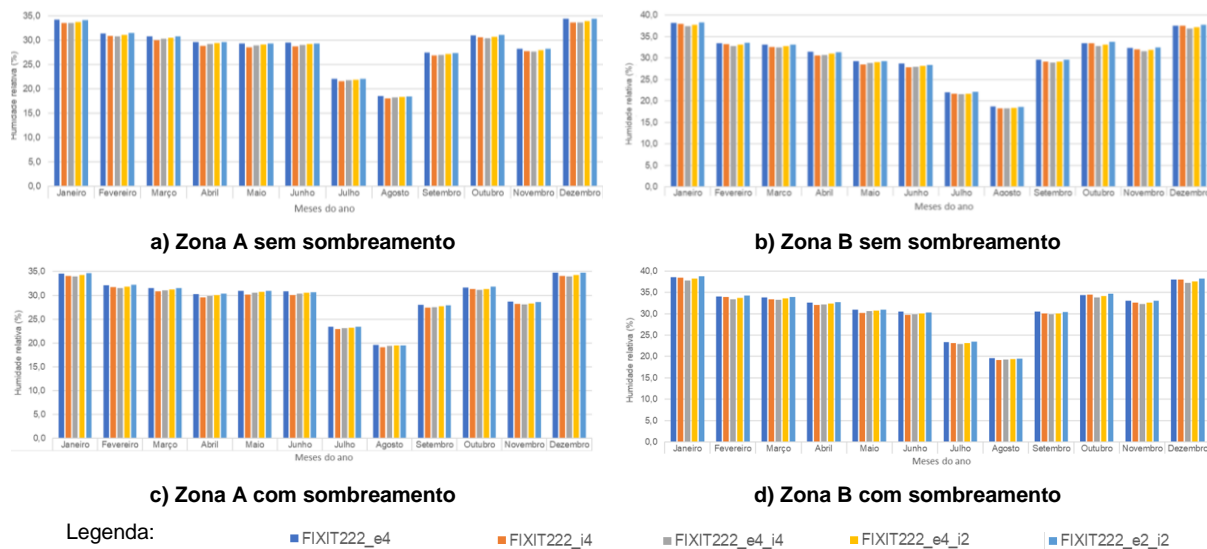


Figura 29 - Humidades relativas mínimas interiores mensais

Correlacionando os valores registados para as humidades relativas mínimas de uma mesma zona, considerando inexistência de palas de sombreamento com os obtidos quando se considera a existência das mesmas, nota-se um aumento da humidade relativa mínima de 3,19% (correspondente a 0,86% de humidade relativa) para a zona A e um aumento de 3,35% (correspondente a 0,95% de humidade relativa) para os valores obtidos considerando palas de sombreamento, face ao resultados das simulações sem considerar palas de sombreamento exteriores. A existência de palas de sombreamento que funcionam como elementos de sombreamento causam a redução da incidência solar direta no vãos envidraçados, tendo como consequência uma diminuição das temperaturas interiores registadas, o que leva a que a quantidade máxima de vapor de água que o ar pode conter (limite de saturação) diminua, aumentando assim a humidade relativa para mesma taxa de produção de vapor de água.

No que se refere à disposição do reboco térmico ao longo da solução construtiva, é possível concluir que a aplicação de 4 cm de reboco térmico pelo interior das paredes exteriores é uma solução que conduz a humidades relativas mínimas inferiores às resultantes da aplicação da mesma espessura pelo exterior, resultado que vai de encontro às conclusões retiradas na análise de temperaturas, isto é, visto que a aplicação de 4 cm pelo interior causa um aumento de temperatura interna face à aplicação de 4 cm pelo exterior e que a quantidade máxima de vapor de água que o ar pode reter é diretamente proporcional à temperatura, a solução de isolamento pelo interior terá valores inferiores aos obtidos para a solução de isolamento pelo exterior. A solução da aplicação de 2 cm pelo interior e pelo exterior, em termos de humidades relativas mínimas, não é uma solução preferencial, na medida em que a aplicação de 4 cm pelo interior é uma solução mais eficaz.

O aumento da espessura da solução de isolamento térmico acarreta um aumento de custo adicional que é ilógico em termos de redução da humidade relativa (os resultados da sua aplicação são a redução média de apenas 1% da humidade relativa) visto que, existem cuidados a ter no dia a dia que permitem reduzir o teor de vapor de água presente no ar de forma mais eficaz, como: a abertura de janelas, a utilização de exaustores durante os banhos e durante a preparação de refeições. O aumento das temperaturas interiores permite diminuir os valores de humidade relativas, sendo assim necessário

realizar uma análise global da solução, isto é, estudar as necessidades energéticas de cada solução tendo em consideração que o aumento da espessura de isolamento térmico permite a redução dos teores das humidades relativas interiores registadas.

4.4.6 Humidades relativas máximas

Os resultados relativos às humidades relativas máximas registadas encontram-se no Anexo 11 e no Anexo 12, sem e com a existência de palas de sombreamento exteriores, pela mesma ordem.

Analisando em simultâneo os gráficos da Figura 30 e os valores obtidos para as humidades relativas na Zona A e na Zona B, sem considerar palas de sombreamento, verifica-se um aumento de 7,63% (correspondente a 5,27% de humidade relativa) dos valores da Zona B face ao valores da Zona A e uma redução de 7,84% (correspondente a 5,54% de humidade relativa) quando se considera a existência de elementos de sombreamento exteriores. Conclui-se que a zona A apresenta teores de humidade inferiores aos da zona B, pelas razões previamente mencionadas no subcapítulo anterior.

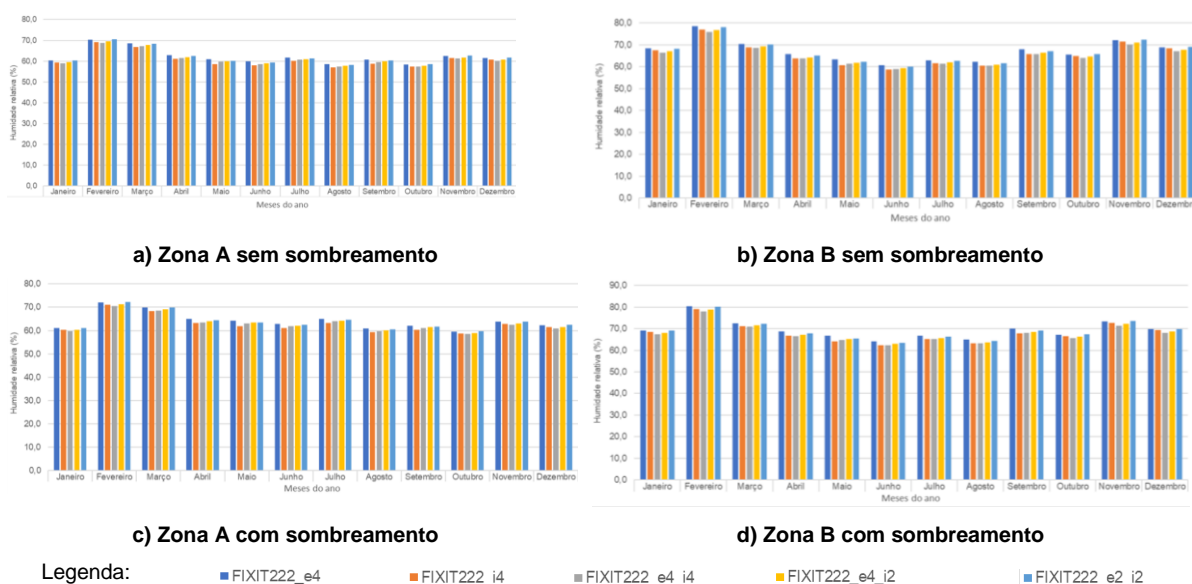


Figura 30 - Humidades relativas máximas interiores mensais

Ao correlatar, para a mesma zona, os valores relativos às humidades relativas máximas registadas quando não se tem em conta a existência de palas de sombreamento exteriores com os obtidos quando se consideram, constata-se um incremento de 3,03% (correspondente a 1,87% de humidade relativa) para a zona A e um incremento de 3,26% (correspondente a 2,13%), ou seja, a existência de palas de sombreamento causa o aumento das humidades relativas máximas registadas para ambas as zonas.

As conclusões retiradas na secção anterior no âmbito da influência da configuração do reboco térmico nas soluções construtivas nos resultados das humidades relativas registadas estão em conformidade com as obtidas neste subcapítulo. O emprego de uma solução com 4 cm de reboco térmico pelas superfícies exteriores das envolventes que delimitam o caso de estudo conduz a humidades relativas maiores que a solução com 4 cm aplicados pelo interior. Adicionalmente, o recurso a uma solução com 2 cm pelo exterior e 2 cm pelo interior origina humidade relativas máximas superiores às obtidas para a solução com 4 cm pelo interior. Por fim, a aplicação de soluções com mais de 4 cm não conduz a reduções significativas de humidades relativas, cerca de 1%. Contudo, aquando a escolha da solução

construtiva é importante ter em conta que o aumento de espessura, conduz à redução das humidades relativas máximas, podendo ser vantajoso pagar um bocado mais por uma solução mais completa.

4.4.7 Discussão dos resultados

O presente subcapítulo permitiu perceber que os limites do intervalo de conforto térmico sugerido pelo Regulamento dos Edifícios de Habitação (REH), 18°C e 25°C, não são respeitados para todas as soluções construtivas, quando não se utiliza qualquer tipo de sistema de climatização.

Os valores mínimos e máximos das temperaturas e humidades relativas, ao longo do ano tipo para a cidade de Lisboa, para cada solução construtiva permitiram concluir que o aumento da espessura de reboco térmico leva ao aumento dos valores mínimos registados para as temperaturas mínimas. No entanto, leva ao aumento também das temperaturas máximas registadas. Adicionalmente, conduz à diminuição dos valores das humidades relativas mínimas e máximas.

A existência de palas de sombreamento exteriores provoca uma redução das temperaturas mínimas e máximas registadas e um aumento das humidades relativas mínimas e máximas no ambiente interior. Não obstante, é essencial a realização de um estudo das necessidades energéticas para concluir se é economicamente vantajoso a construção de palas de sombreamento. Realça-se o facto de que a existência de palas de sombreamento é uma característica intrínseca ao caso de estudo, visto que estas correspondem às palas de sombreamento da varanda da própria fração e à laje da varanda do piso superior.

Comparando os resultados das temperaturas, a aplicação de uma solução 4 cm pelo interior é vantajosa face à aplicação de 4 cm pelo exterior nos meses de aquecimento, uma vez que permite aumentar as temperaturas mínimas registadas. Todavia, nos meses de arrefecimento (Julho, Agosto e Setembro), a aplicação de 4 cm pelo exterior é mais vantajosa do que a aplicação de 4 cm pelo interior, uma vez que permite reduzir as temperaturas máximas registadas. No contexto de humidades relativas, a aplicação de 4 cm pelo exterior ou de 2 cm pelo interior e exterior conduz a valores mais elevados do que aqueles registados quando se opta por uma solução com 4 cm pelo interior.

No que diz respeito a aumentar a espessura do reboco térmico acima dos 4 cm, uma vez que o incremento no que diz respeito ao conforto térmico já não é muito significativo, estas soluções não são interessantes para o controlo de temperatura e humidade, sem se recorrer a sistemas de climatização quando comparadas com a aplicação de 4 cm pelo interior ou pelo exterior. É importante analisar as necessidades energéticas, de modo a concluir qual a solução construtiva que é mais vantajosa.

Dos rebocos térmicos estudados o que apresenta melhor desempenho em termos de temperaturas no período de aquecimento é o “*Fixit 222*” (maiores temperaturas), por outro lado o “*Hemp*” apresenta o melhor desempenho no período de arrefecimento (menores temperaturas). Em termos de humidades o reboco térmico com melhor desempenho é o “*Fixit222*”, visto que ser o reboco térmico, entre os estudados, que minimiza as humidades relativas mínimas e máximas interiores.

O estudo dos impactos de cada solução nas variáveis em causa, sem recorrer a sistemas de climatização, é importante uma vez que, com o aumento do custo de vida os utilizadores das frações autónomas tentam minimizar os custos, ao ponto de evitarem ou até mesmo não utilizarem sistemas de climatização.

De seguida, é apresentado o estudo realizado no domínio de existência e quantificação das condensações superficiais externas e internas em fachadas com aplicação de rebocos térmicos.

4.5 Risco de ocorrência de condensações superficiais

4.5.1 Introdução

Um melhor nível de conhecimento sobre o desempenho higrotérmico e, conseqüentemente, da durabilidade de um reboco térmico, pode ser alcançado com recurso à realização de simulações higrotérmicas. O objetivo deste subcapítulo é a quantificação do mecanismo de degradação que é a ocorrência de condensações, no âmbito de diferentes soluções construtivas com rebocos térmicos.

O programa EnergyPlus permite que sejam realizadas simulações, para diferentes cenários, obtendo parâmetros de saída que ao serem devidamente tratados e analisados permitem verificar a ocorrência de condensações superficiais externas e internas, e obter uma estimativa para o número de horas em que tais condensações ocorrem. Deste modo, recorreu-se a dois métodos que permitem quantificar a ocorrência de condensações, possibilitando assim a comparação direta de diferentes soluções sob diferentes condições de exposição (com ou sem elementos de sombreamento exteriores e com diferentes orientações solares).

A utilização do modelo HAMT do EnergyPlus, permitiu que fosse feita uma análise mais detalhada ao nível do elemento construtivo, através de variáveis de entrada cruciais para uma correta análise do desempenho higrotérmico de uma envolvente opaca.

A ocorrência de condensações superficiais exteriores causadas pelos arrefecimentos das superfícies é um fenómeno que deve ser tomado em consideração na análise do desempenho de rebocos térmicos, uma vez que cria condições para o aparecimento e desenvolvimento de algas, que vão ter impacto no desempenho e na durabilidade da própria solução. A presença de algas está associadas muitas vezes ao sistema de isolamento térmico ETICS (Barreira e de Freitas, 2013; Barreira *et al.*, 2013), deste modo um dos objetivos deste subcapítulo é verificar e quantificar se existem condições para o desenvolvimento de algas.

A ocorrência de condensações internas está muito dependente do desempenho de todo o edifício, ao contrário do que se verifica na ocorrência de condensações externas, que são muito dependentes das propriedades físicas e higrotérmicas dos materiais presentes nas envolventes opacas das fachadas.

O decréscimo da temperatura de uma massa de ar faz com que, o valor da sua humidade relativa aumente, dado que, a temperatura e o limite de saturação são diretamente proporcionais. Assim, o

arrefecimento de uma massa de ar, pode originar a ocorrência de condensações superficiais, se for atingido o limite de saturação para uma dada temperatura (Henriques, 2007).

A melhoria do isolamento térmico é uma solução para combater a ocorrência de condensações interiores, visto que provoca o aumento das temperaturas mínimas no Inverno, aumentando assim o limite de saturação, que pode vir a ser superior à humidade absoluta do ar, evitando assim a ocorrência de condensações. O acréscimo da temperatura ambiente com sistemas de aquecimento também pode evitar a ocorrência das mesmas. Por fim, a melhoria das condições de ventilação, isto é, o aumento da taxa de renovação de ar, faz com que a humidade relativa do ar diminua (Henriques, 2007).

4.5.2 Parâmetros e soluções analisadas

Para a realização deste estudo recorreu-se a dois rebocos térmicos. O reboco térmico utilizado por Barclay *et al.* (2015), também no âmbito de aplicação do modelo de HAMT do EnergyPlus, um reboco à base de cal e de fibras naturais de cânhamo (“*Hemp*” em inglês), que engloba as vantagens do uso de materiais renováveis com poucas emissões de carbono, com as vantagens da utilização de matérias com bom desempenho higratérmico. Outro reboco estudado foi o “Aislone”, produzido pela empresa Weber, que tem incorporado na sua constituição agregados de EPS.

No âmbito do estudo da ocorrência de condensações superficiais foram analisadas as soluções construtivas, sintetizadas na Figura 31 e na Tabela 27, considerando ou não a existência de sombreamento e sem recurso a qualquer sistema de climatização. Realça-se o facto de apenas se terem estudados variantes de paredes simples, uma vez que o modelo HAMT não permite a realização de simulações para soluções construtivas que tenham incorporadas caixas de ar.

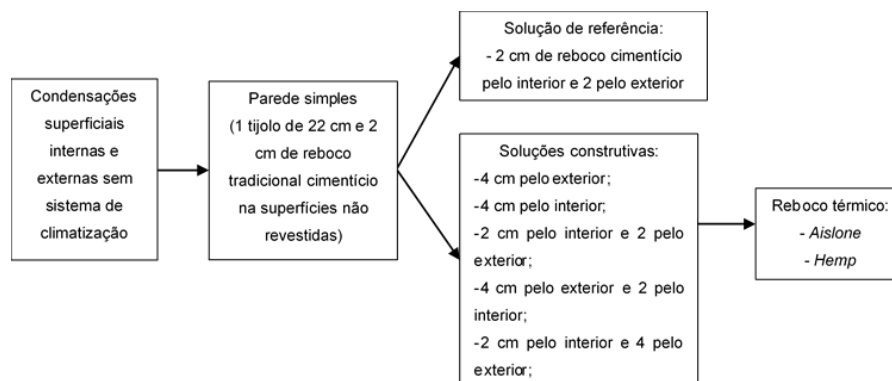


Figura 31 -Fluxograma das soluções construtivas estudadas para a ocorrência de condensações

Nos Anexo 13, 14, 15 e 16 encontram-se sintetizados os parâmetros introduzido no EnergyPlus necessários para a definição dos rebocos térmicos “*Aislone*” e “*Hemp*”, do reboco tradicional à base de cimento e do tijolo cerâmico de 11 cm, segundo o modelo HAMT e as suas respetivas fontes.

No que diz respeito, aos valores do coeficiente de difusão de líquidos em condições de normais (D_{ws}) em função do teor de água para o reboco térmico “*Aislone*”, para o reboco tradicional à base de cimento e para o tijolo cerâmico, foi necessário considerar estes valores iguais aos coeficientes de difusão de líquidos sob condições de sucção. Esta simplificação foi também feita por Maia (2019) na realização

do seu trabalho, e teve que também ser feita na aplicação deste modelo devido à falta de dados e resultados disponíveis relativos às condições normais. Segundo Krus (1996) os valores do coeficiente de difusão de líquidos em condições de normais são, geralmente, inferiores aos obtidos para condições de sucção, permitindo assim que tal simplificação seja validada e lógica.

Tabela 27 - Soluções construtivas analisadas no estudo de ocorrência condensações

Solução	Material de isolamento	Espessura pelo exterior (cm)	Espessura pelo interior (cm)	Reboco Tradicional (2cm)		Tijolo de 22 cm
				Exterior	Interior	
Ext_REF	-	-	-	2	2	1
Hemp_e4	Hemp	4	0	0	2	1
Hemp_i4	Hemp	0	4	2	0	1
Hemp_e2_i2	Hemp	2	2	0	0	1
Hemp_e4_i2	Hemp	4	2	0	0	1
Hemp_e2_i4	Hemp	2	4	0	0	1
Hemp_e4_i4	Hemp	4	4	0	0	1
Aislone_e4	Aislone	4	0	0	2	1
Aislone_i4	Aislone	0	4	2	0	1
Aislone_e2_i2	Aislone	2	2	0	0	1
Aislone_e4_i2	Aislone	4	2	0	0	1
Aislone_e2_i4	Aislone	2	4	0	0	1
Aislone_e4_i4	Aislone	4	4	0	0	1

4.5.3 Risco de ocorrência condensações

A definição de critérios para a quantificação do risco de condensação superficial é de extrema importância, de maneira a que se possam comparar diretamente resultados de diferentes casos. A metodologia adotada para a avaliação do risco de condensação superficial, foi a utilizado por Maia (2019) e sugerido por Zheng *et al.* (2004). O potencial de condensação é definido como a diferença entre a pressão parcial do vapor de água do ar (P_v) e a pressão de saturação do vapor de água na superfície para uma dada temperatura (P_{sat}), exprimida pela Equação (1).

$$PC_{interior} = P_v - P_{sat} \quad (1)$$

Este critério de condensações foi utilizado para o caso das condensações interiores, uma vez que nos parâmetros de saída do EnergyPlus não é possível selecionar a “pressão de saturação do vapor de água na superfície”, no entanto permite que se selecione a “temperatura média da superfície da face interior da zona”. Surgiu assim, a necessidade de calcular a pressão de saturação do vapor de água através do valor da temperatura superficial, tal é possível, recorrendo à equação de Tetens, enunciada de seguida na Equação (2). Na qual, “ P_{sat} ” representa a pressão do vapor saturado e “ t ” a temperatura.

$$P_{sat} = 610,8 \times 10^{\frac{7,5 \times t}{237,3+t}} \text{ (KPa)} \quad (2)$$

Posto isto, torna-se exequível aplicar a Equação (1).

No que diz respeito às condensações superficiais externas, foi adotado um potencial de condensação em tudo equivalente ao das condensações superficiais internas, mas este foi calculado através da diferença entre a temperatura de orvalho do ar exterior ($T_{orvalho}$) e a temperatura da superfície exterior em causa ($T_{superficie}$), relação descrita na Equação (3).

$$PC_{exterior} = T_{orvalho} - T_{superficie} \quad (3)$$

O EnergyPlus permite que se selecionem como variáveis de saída a temperatura de orvalho do ar exterior, deste modo para as condensações superficiais externas não houve necessidade da realização do processo descrito anteriormente para as condensações superficiais internas.

A valores de potencial de condensação positivos correspondem a ocorrência de condensações.

Outro critério utilizado para a quantificação da ocorrência de condensações, foi proposto por Ramos *et al.* (2014), que consiste em quantificar o número de horas em que as superfícies apresentam humidade relativa de 100% (φ). Este critério foi também, por sua vez, utilizado por Maia (2019).

O “*timestep*” foi definido em 20; valor recomendado pelo EnergyPlus quando se pretende utilizar o modelo HAMT, assim os parâmetros de saída foram reportados de três em três minutos. Posteriormente foi aplicado a cada valor correspondente a cada um destes intervalos um dos processos supramencionados. Equações (1) e (2) para as variáveis de saída necessárias para a quantificação da ocorrência de condensações internas e Equação (3) para o caso das condensações externas.

De modo a obter o resultado do potencial de condensação em horas foi necessário verificar a frequência com que o valor correspondente a cada um dos intervalos de tempo era maior que 0 e de seguida, dividir esta frequência por 20 (intervalos por hora).

Por fim, as diferentes superfícies analisadas foram agrupadas de acordo com a orientação solar da fachada a que pertencem, entre Norte, Sul, Este e Oeste (Tabela 28). À orientação Este correspondem superfícies interiores. O nome dado a cada superfície encontra-se na Figura 25.

Tabela 28 - Orientação definida para cada superfície

Orientação da fachada	Superfície
Norte	B4
Sul	A2
Este	A4 , B2 , B3 , B6 , B7
Oeste	A3 , B5

4.5.4 Condensações superficiais externas

Neste subcapítulo serão apresentados os resultados obtidos na quantificação das condensações superficiais externas que ocorrem quando se consideram as diversas soluções construtivas apresentadas previamente. Foram realizadas duas tabelas sínteses onde são apresentadas o número de horas que ocorrem condensações superficiais exteriores em função da solução construtiva, dos meses do ano e das suas orientações, presentes no Anexo 18 para o reboco térmico “*Hemp*” e no Anexo 19 para o “*Aislone*”. A informação contida nesses anexos foi sintetizada na Tabela 29 a) e b).

No que diz respeito aos critérios utilizados, o do cálculo do potencial de condensação relevou-se mais adequado do que o critério da humidade relativa igual a 100% quando se pretende quantificar as condensações superficiais exteriores. O programa EnergyPlus não permite que se reportem variáveis de saída contínuas ao longo do tempo, mas sim que estas sejam reportadas n vezes por hora (n foi definido em 20 vezes), assim sendo não foi possível realizar um estudo da variação contínua da humidade relativa ao longo do tempo, mas sim um estudo da variação da mesma ao longo tempo com recurso a valores de humidade relativa de três minutos em três minutos, por conseguinte quando se processaram os dados de saída das simulações foram obtidos valores para a humidade relativa do ar próximo das superfícies em causa muito elevados, sendo por vezes de 99% mas nunca foi reportado o valor 100% para nenhum dos casos estudados. Por outro lado, o critério do cálculo do potencial de condensação mostrou-se adequado e permitiu tirar as conclusões a seguir enunciadas.

Tabela 29 - Potencial de condensação superficial exterior (em horas)
a) reboco “Hemp”

	Solução	Critério	N	S	E	O
Com sombreamento	ext_REF	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	3,90	0	26,75	7,75
	Hemp_e4	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	0,55	3,30	0	79,25
	Hemp_i4	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	3,60	0	5,65	7,25
	Hemp_e2_i2	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	0,40	0,85	0	21,75
	Hemp_e4_i2	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	0,20	2,80	0	72,90
Hemp_e2_i4	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0	
	CP > 0	0,75	0,95	0	30,05	
Hemp_e4_i4	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0	
	CP > 0	0,85	3,15	0	84,10	
Sem sombreamento	ext_REF	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	11,70	0	23,05	7,50
	Hemp_e4	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	121,05	10,45	0	74,90
	Hemp_i4	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	15,85	0	3,75	7,05
	Hemp_e2_i2	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	54,80	2,20	0	20,25
	Hemp_e4_i2	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	131,50	7,25	0	68,80
Hemp_e2_i4	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0	
	CP > 0	72,80	2,25	0	26,35	
Hemp_e4_i4	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0	
	CP > 0	162,90	7,50	0	79,60	

b) reboco “Aislone”

	Solução	Critério	N	S	E	O
Com sombreamento	Aislone_e4	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	2,45	40,80	0	367,45
	Aislone_i4	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	3,95	0	0	7,80
	Aislone_e2_i2	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	1,15	4,30	0	129,20
	Aislone_e4_i2	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	2,30	37,05	0	422,75
	Aislone_e2_i4	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	2,55	5,05	0	163,15
Aislone_e4_i4	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0	
	CP > 0	3,05	41,00	0	465,50	
Sem sombreamento	Aislone_e4	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	293,60	86,25	0	347,70
	Aislone_i4	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	21,25	0	0	7,60
	Aislone_e2_i2	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	171,55	11,15	0	119,35
	Aislone_e4_i2	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	331,65	85,20	0	399,10
	Aislone_e2_i4	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0
		CP > 0	221,50	13,00	0	151,10
Aislone_e4_i4	$\varphi = 100\%$	0	0	0	0	
	CP > 0	372,75	90,75	0	452,60	

Na Figura 32 são ilustrados dois gráficos referentes à temperatura de orvalho exterior e às temperaturas superficiais exteriores registadas ao longo de um dia do mês de Fevereiro do ano tipo da cidade de Lisboa para a adoção de uma solução de aplicação de 4 cm do reboco térmico “Aislone” pela superfície exterior ou pela superfície interior, considerando ou não elementos de sombreamento exteriores.

O cálculo dos potenciais de condensação superficiais exteriores permitiu concluir as superfícies orientadas a Este são as que têm um menor risco de condensação, dado que se tratam de superfícies em ambiente interior (exterior ao caso de estudo, mas contidas no interior do edifício). Ocorrendo apenas condensações para as soluções de reboco térmico “Hemp” com 4 cm pela superfície interior e para as soluções de referência, independentemente de se considerarem ou não elementos de sombreamento exteriores em ambos os casos, sendo mais frequente nas soluções de referência e quando se consideram palas de sombreamento. Justificado pelo facto de a aplicação de isolamento térmico pela superfície interior deixar mais expostas às variações de temperaturas noturnas os materiais que estão posicionados entre a camada de reboco térmico e a região da caixa de escadas (tijolo cerâmico e reboco cimentício) e de a solução de referência não ter qualquer tipo de isolamento térmico aplicado. A existência de palas de sombreamento conduz a menores temperaturas internas e por consequência a menores temperaturas nas superfícies orientadas a Este e deste modo mais próximas da temperatura de orvalho.

As superfícies orientadas a Este da zona B são mais propícias à ocorrência de condensações superficiais do que as da zona A, visto que as últimas são superfícies de uma fronteira adiabática (fronteira que separa frações autónomas vizinhas no mesmo edifício) e as da Zona B são superfícies de uma fronteira que separa um espaço aquecido de um não aquecido (caixa de escadas). Também as superfícies orientadas a Oeste da zona B têm maior risco de ocorrência de condensações superficiais do que as da zona A, uma vez que o fluxo de calor que atravessa a parede exterior da zona A é maior que o que a travessa a da zona B, pelo facto de a zona A ter uma temperatura interior mais

elevada: mais uma fronteira adiabática que a zona B, envidraçados orientados a Sul face aos orientados a Norte na zona B e menor área de pavimento que a zona B (41,2 m² para os 53,3 m² da zona B).

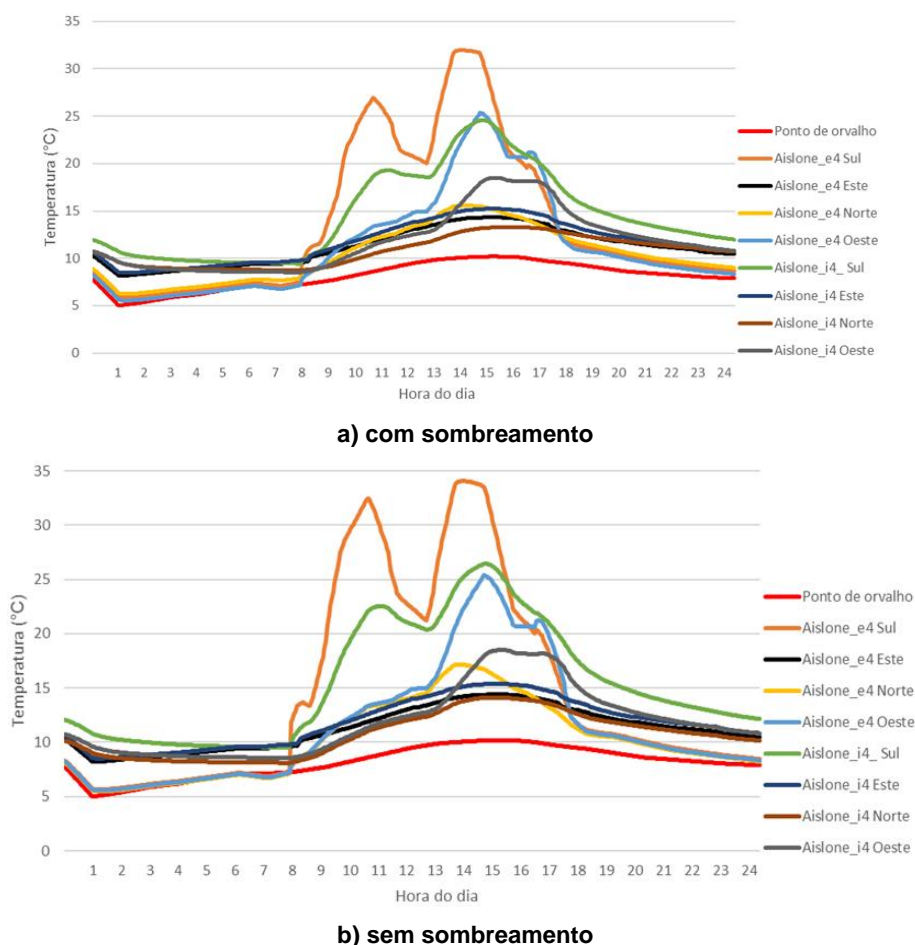


Figura 32 - Temperaturas superficiais diárias

O resultado obtido para as orientações das fachadas mais condicionantes varia consoante se considerem ou não elementos de sombreamento exteriores. As orientações com maior risco de condensação, organizadas por ordem crescente, quando não se considera a existência de palas de sombreamento, são Este, Norte, Sul e Oeste. O potencial de condensação das superfícies orientadas a Sul é relativamente superior ao das orientadas a Este (à exceção das soluções “*ext_REF*”, “*Hemp_i4*” e “*Aislone_i4*” cujo potencial de condensação das superfícies exteriores orientada a Sul é nulo), mas é, no entanto, muito inferior aos calculados para as orientações Norte e Oeste. Considerando o reboco térmico “*Hemp*”, o número de horas em que ocorrem condensações superficiais exteriores na fachada orientada a Norte é, aproximadamente o dobro das que ocorrem na fachada orientada a Oeste. Adicionalmente, para o reboco térmico “*Aislone*” o potencial de condensação exterior total da fachada Norte e Oeste são semelhantes, sendo maior na fachada Oeste 75 horas.

Por outro lado, quando se considera a existência de elementos de sombreamento exteriores e o reboco térmico à base de cal com fibras de cânhamo (“*Hemp*”) as orientações das fachadas com maior risco de condensação superficial são, por ordem crescente, Este, Norte, Sul e Oeste (à exceção das soluções “*ext_REF*” e “*Hemp_i4*” em que Este não é a menor). O número de horas em que se verificam condensações nas superfícies orientadas a Este, Norte ou Sul, são muito semelhantes e reduzidas,

não perfazendo no total 25 horas. Não obstante, as superfícies orientadas a Oeste têm um risco de condensação muito superior, existindo um total de 295 horas onde se verificaram as condições necessárias para a ocorrência de condensações nas superfícies externas.

Por fim, ao analisar as soluções construtivas que têm como isolamento térmico o “*Aislone*” e que têm complementadas na definição do caso de estudo a existência de elementos de sombreamento exteriores é possível concluir que o risco de condensação aumenta por ordem crescente nas superfícies orientadas a Este, Sul, Oeste e Norte. A orientação Este não tem risco da ocorrência de condensações superficiais exteriores. A orientação Norte também tem um risco muito reduzido, cerca de 15 horas anuais no total dos casos. Em relação às superfícies orientadas a Sul, o seu risco de condensação aumenta consideravelmente face aos valores obtidos para as superfícies orientadas a Norte, especialmente nas combinações construtivas em que se considera a aplicação de 4 cm de reboco térmico na superfície exterior, aumentando de 15 para 128 o número de horas em que ocorrem condensações superficiais exteriores. As superfícies orientadas a Oeste têm um potencial de condensação superficial exterior consideravelmente maior que as superfícies orientadas a Sul, com um potencial de condensação total de 1556 horas face a 128 horas para a orientação Sul.

Os riscos de condensações superficiais exteriores foram calculados para a existência ou não de palas de sombreamento exteriores, com o intuito de estudar os efeitos que a consideração da existência de palas de sombreamento tinha nos mesmos. Uma análise de resultados permitiu perceber que os efeitos variam em função da orientação solar das superfícies exteriores. Importa realçar que estas palas foram introduzidas nas fachadas orientadas a Norte e a Sul do caso de estudo e podem ser visualizadas na Figura 13 e na Figura 14.

Iniciando a análise de resultados pela orientação solar Este é possível perceber que a introdução de palas de sombreamento exteriores teve impactos negativos nas superfícies com esta orientação, conduzindo ao aumento do risco de condensações nas superfícies nos casos onde se verificaram condensações superficiais exteriores sem a consideração destes elementos (“*ext_REF*” e “*Hemp_i4*”), nas restantes configurações construtivas não tiveram qualquer impacto, o risco permaneceu nulo. A introdução destes elementos exteriores conduz à redução da quantidade de radiação solar incidente que intercepta diretamente os vãos envidraçados, deste modo conduzindo à redução das temperaturas interiores de ambas as zonas térmicas e das superfícies exteriores orientadas a Este (superfície visível da caixa de escada e da fração autónoma vizinha), através da redução do fluxo calor que atravessa a fronteira que separa frações vizinhas (zona A) e a fronteira que separa o caso de estudo da região da caixa de escadas.

Em relação às superfícies exteriores orientadas a Norte, a introdução de palas de sombreamento exteriores causa uma redução considerável dos seus riscos de condensação superficial. Apesar da introdução de elementos de sombreamentos exteriores provocar a redução da radiação solar que incide nas superfícies em causa, o contributo das mesmas para proteger as superfícies exteriores da ação direta do vento é superior ao prejuízo causado pela redução da incidência solar.

O risco de condensação associado às superfícies orientadas a Sul sofre também uma redução quando se considera a existência de palas de sombreamento exteriores para todas as soluções construtivas estudadas à exceção das em que se considera a aplicação de 4 cm de reboco térmico pela superfície interior para ambos os rebocos térmicos (“*Hemp_i4*” e “*Aislone_i4*”) e para a solução de referência (“*ext_REF*”), que continuam com um potencial de condensação nulo. O facto de o caso de estudo se localizar em Portugal, que pertence ao hemisfério Norte, e neste hemisfério as fachadas orientadas a Sul receberem ação direta da radiação solar, as mais valias resultantes da introdução deste elementos de sombreamentos exteriores (proteção da ação direta da chuva e do vento) são maiores do que o prejuízo causado pela redução da radiação direta que atinge a fachada orientada a Sul.

Adicionalmente, a introdução de palas de sombreamento exteriores causa o aumento ligeiro dos riscos de condensação das superfícies orientadas a Oeste para todas as variantes estudadas, a introdução destas palas causa uma redução do fluxo de calor que atravessa as envoltentes verticais exteriores que limitam o caso de estudo e estão orientadas a Oeste, por conseguinte as temperaturas superficiais exteriores nestas paredes vão ser inferiores às registadas quando não se considera a existência de elementos de sombreamento exterior, criando condições para se atinjam temperaturas mais baixas durante o período noturno e desta forma mais próximas da temperatura de orvalho.

No que diz respeito à melhor configuração construtiva o resultado varia em função da orientação solar da superfície da parede exterior em causa. A configuração construtiva da aplicação de 4 cm de reboco térmico à base de cal e cânhamo pelo interior e a solução de referência (“*Hemp_i4*” e “*ext_REF*”) são as que apresentam maiores riscos de condensação superficial a Este, uma vez que todas as restantes têm risco nulo. Contudo a aplicação de 4 cm pela superfície interior apresenta melhor desempenho em termos de condensações superficiais exteriores que a aplicação de 4 cm de reboco pela superfície exterior quando orientadas a Sul ou Oeste, independentemente de se considerar ou não a existência de elementos de sombreamento exteriores, e também a Norte quando não se consideram a existência desses elementos. Tal pode ser justificado, porque a aplicação de um isolamento térmico pelo interior permite que a inércia térmica da solução construtiva contribuía para o aumento da temperatura mínima registada durante a noite, através da libertação de calor, o que não se verifica quando se aplica isolamento térmico pelo exterior tendo como consequência o registo de menores temperaturas mínimas superficiais durante os períodos noturnos e mais próximas da temperatura de orvalho.

É possível concluir que, para uma espessura de 4 cm, a configuração que se recomenda entre as estudadas em termos minimização do potencial de condensação global (em todas as orientações solares) é a aplicação de 4 cm pela superfície interior, seguida da aplicação de 2 cm pelo exterior e pelo interior e por fim, a aplicação de 4 cm apenas pela superfície exterior.

O aumento da espessura do isolamento térmico acima dos 4 cm é sempre desfavorável em termos de aumento do risco de ocorrência de condensações superficiais exteriores.

Para a aplicação de uma espessura de 6 cm de reboco térmico é preferível aplicar 4 cm pelo exterior e 2 cm pelo interior do que aplicar 2 cm pelo exterior e 4 cm pelo interior para qualquer um dos rebocos

térmicos estudados nas superfícies orientadas a Norte, e prejudicial a Sul, independentemente de se considerarem ou não elementos de sombreamentos exteriores. Em relação à orientação solar Este, o risco de condensação foi sempre nulo para esta espessura de isolamento térmico.

Os resultados obtidos permitem concluir que o reboco térmico “*Hemp*” apresenta melhor desempenho em termos de minimização do risco da ocorrência de condensações superficiais externas para todas as soluções construtivas, para as orientações das superfícies Norte, Sul e Oeste que o reboco térmico “*Aislone*”. Em relação à orientação Este, apresenta o mesmo desempenho que o reboco térmico “*Aislone*”, isto é, sem risco de condensação à exceção das soluções construtivas da aplicação de 4cm de reboco térmico “*Hemp*” pelo interior, com um potencial de condensação exterior de 3,75 horas e de 5,65 horas, sem e com a consideração da existência de elementos de sombreamento pelo exterior. No total, para todas as soluções construtivas em que se consideraram a utilização do reboco térmico “*Hemp*” o potencial de condensação exterior foi de 1187,6 horas e de 4879,6 horas no caso do reboco térmico “*Aislone*”.

Na Tabela 30 são apresentadas as percentagens de condensações superficiais exteriores correspondentes a cada mês em função do total anual para um reboco térmico e para os dois. Nos meses mais quentes (Abril, Maio, Junho, Julho, Agosto, Setembro e Outubro) a ocorrência de condensações é muito reduzida, perfazendo no total 3,85% das condensações exteriores anuais. Estes meses são caracterizados por maiores temperaturas e por sua vez, um maior limite de saturação. Adicionalmente, nestes meses chove muito menos comparativamente com os restantes meses, existindo assim menos humidade no ar, ocorrendo, portanto menos condensações nos meses mais quentes. Por fim, Janeiro, Fevereiro e Março são os meses mais gravosos em relação à ocorrência de condensações externas, associados menores temperaturas noturnas, vento e chuva.

Tabela 30 - Percentagens mensais do potencial de condensação nas superfícies exteriores

(%)	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Hemp	23,11	38,46	18,20	0,24	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,42	9,96	9,59
Aislone	22,21	25,09	19,28	1,97	2,12	0,52	0,05	0,06	0,06	2,25	14,40	11,99
Média	22,66	31,77	18,74	1,10	1,06	0,27	0,02	0,03	0,03	1,34	12,18	10,79

4.5.5 Condensações superficiais internas

O estudo previamente elaborado para a quantificação do número de horas em que ocorrem condensações superficiais externas foi também elaborado para as condensações superficiais internas. Deste modo, foram elaboradas tabelas semelhantes à Tabela 29 a) e b) e às presentes no Anexo 18 e Anexo 19, mas para as condensações superficiais interiores, presentes no Anexo 20 a) e b).

A existência de condensações superficiais internas está muito associada às características intrínsecas e da ocupação do próprio edifício, isto é, são muito dependentes da taxa de renovação horário de ar, da produção de vapor de água ou da sobreocupação de espaços, por exemplo. (Henriques, 2007)

O programa EnergyPlus foi desenvolvido com o intuito de se realizarem análises térmicas e energéticas sendo, portanto, uma ferramenta muito eficaz quando se pretende avaliar o desempenho energético de um edifício. Contudo, os modelos de simulação higrótérmica do mesmo, mais especificamente o HAMT, não permite que se estime com precisão as condições de humidade do ambiente interior e dos materiais

que constituem o caso de estudo, visto que estes modelos não têm em conta muito dos mecanismos de transferência de humidade (Antretter and Pallin, 2019). No programa EnergyPlus não é possível adicionar a taxa de produção de vapor de água, o que vai ter impactos extremos no número de horas em que ocorrem condensações superficiais internas. Adicionalmente, não permite que se tenham em conta fontes de humidade provenientes da entrada e saída de ar em qualquer parte do modelo da simulação, ao contrário do programa WUFI que permite uma análise unidimensional da entrada e saída de ar (Antretter and Pallin, 2019).

Quantificado número de horas em que ocorreram condensações internas para todas as superfícies considerando as diferentes soluções construtivas e condições de sombreamento foi possível perceber que o modelo HAMT necessita de ser desenvolvido de modo a adicionar campos que permitam quantificar os mecanismos de transferência de humidade num edifício, não sendo possível no estado atual do programa realizar uma correta análise da humidade do ambiente interior, posto isto o número total de horas em que ocorreu condensações superficiais interiores foi de 0, para ambos os critérios de quantificação utilizados e para todos os casos analisados. Não obstante, foram registadas humidades relativas interiores elevadas, mas nunca igual a 100% (um dos critérios utilizado).

4.5.6 Discussão dos resultados

A realização deste estudo, permitiu concluir que o critério adotado para quantificação de condensações, que consiste em verificar o número de horas em que as humidades relativas superficiais são iguais a 100%, não é adequado quando se pretende quantificar as condensações exteriores no EnergyPlus e que seria mais proveitoso realizar em simultâneo uma análise de quantificação por intervalos de humidades relativas.

A existência de palas de sombreamento horizontal e vertical (Figura 13 e Figura 14) permitem reduzir o número de horas em que se verificam condensações superficiais externas face aos valores registados para quando estas não existem para as superfícies orientadas a Norte e a Sul. Por outro conduzem ao aumento do risco de condensações superficiais externas nas superfícies orientadas a Este e a Oeste.

A aplicação de 4 cm de reboco térmico pela superfície interior é preferível em termos de redução do risco de condensações superficiais externas à aplicação de 4 cm pelo exterior para as superfícies orientadas a Oeste e a Sul quando não se consideram palas de sombreamento exterior, e também para as orientadas a Norte quando se considera a existências de palas de sombreamento. Em relação à orientação solar Este a aplicação de 4 cm pelo interior apresenta igual desempenho à aplicação de 4 cm pelo exterior na maioria dos casos (potencial de condensação nulo), excetuando quando se opta pela solução construtiva "*Hemp_i4*", apresentando melhor desempenho. De todas as configurações construtivas analisadas a que apresenta menores valores para o potencial de condensação superficial exterior total é a aplicação de 4 cm de isolamento térmico pela superfície interior. Adicionalmente, foi possível concluir que é preferível em termos de condensações superficiais exteriores aplicar 2 cm pelo exterior e 2 cm pelo interior, do que aplicar 4 cm apenas pelo exterior.

As soluções construtivas com reboco térmico "*Hemp*" apresentam menor risco de ocorrência de condensações que as constituídas por "*Aislone*" nas superfícies orientadas a Norte, Sul e Oeste.

Adicionalmente apresentam o mesmo desempenho nas superfícies orientadas a Este, à exceção das soluções com 4 cm de “*Hemp*” pela superfície interior que apresentam pior desempenho que as de “*Aislone*”. Os meses em que se verifica maior potencial de condensação foram os meses de Janeiro, Fevereiro e Março que corresponde no total a mais de 50% das horas em que se verificaram ocorrência de condensações superficiais exteriores.

O aumento progressivo da espessura do isolamento térmico é desfavorável em termos de aumento do risco de ocorrência de condensações superficiais exteriores, à semelhança do que foi também concluído por Blaich (1999) e por Pinto (2011), o aumento da espessura reduz o fluxo proveniente do interior, reduzindo assim a temperatura superficial das paredes exteriores para as diversas soluções.

O modelo HAMT do EnergyPlus necessita de ser aperfeiçoado de modo a que tenha em conta diversos mecanismos de transferência de humidade, como por exemplo, associados à entrada e a saída de ar (Antretter e Pallin, 2019) e quantificação da taxa de produção de vapor de água. Como consequência destas limitações, o potencial de condensação superficial interior de todas as soluções foi de 0 horas.

Por fim, importa referir que a marcação CE não exige que os valores para as características necessárias para a definição de um material no modelo HAMT sejam declaradas pelo fabricante, deste modo a informação relativa a características de rebocos térmicos é muito escassa, sendo necessária a realização de ensaios complementares quando se pretende estudar rebocos térmicos ou juntar resultados de ensaios provenientes de diversas fontes. Realça-se o facto de apenas se terem encontrado valores relativos a dois rebocos térmicos (“*Aislone*” e “*Hemp*”), tendo sido a aquisição de informação um dos principais desafios aquando a realização da presente dissertação.

4.6 Necessidades energéticas anuais

4.6.1 Introdução

Outro aspeto fundamental a ter em conta durante o processo de decisão de qual a solução de isolamento térmico a adotar é poupança de energia que lhe está associada. Esta permitirá, por sua vez, amortizar o maior investimento inicial face a outras soluções e torná-la economicamente mais vantajosa a longo prazo.

No presente subcapítulo é feita uma análise das necessidades energéticas de climatização associadas a diferentes hipóteses construtivas para a envolvente opaca exterior do fogo em estudo e a forma como a alteração de certos parâmetros têm impacto na eficiência de uma mesma habitação. Foram assim, obtidos aproximações para as necessidades energéticas de modo a manter a temperatura dentro do intervalo de conforto definido pelo Regulamento dos Edifícios de Habitação (REH), entre 18°C e 25°C.

Consideraram-se dois calendários distintos, calendário anual e calendário com estação de arrefecimento (de 1 de Julho a 31 de Setembro) e de aquecimento (de 1 de Outubro a 30 de Junho), em separado, permitindo assim perceber as consequências da definição e da alteração dos mesmos.

4.6.2 Parâmetros e soluções analisadas

Deste modo, para três tipos de rebocos distintos, foram avaliados os impactos da sua aplicação em diferentes espessuras e posições e a forma como o seu desempenho energético é alterado quando aplicados em paredes de um ou dois panos de alvenaria. Foram também quantificadas as consequências da existência ou não de elementos de sombreamento e da alteração do calendário de simulação, de modo a aferir a importância da definição das estações de aquecimento e arrefecimento.

Foram analisadas duas soluções de isolamentos térmicos distintas: o reboco térmico “*Aislone*” da empresa Weber e um reboco térmico à base de cal com a adição de fibras cânhamo (“*Hemp*” em inglês); como reboco de referência foi estudado um reboco tradicional à base de cimento (Tabela 31).

Tabela 31 - Características dos materiais

	Aislone	Hemp	Argamassa tradicional	Tijolo 11 cm	Tijolo 22 cm
Rugosidade	Média	Média	Média	Média	Média
Condutibilidade térmica (W/m.°C)	0,040	0,102	1,700	0,470	0,400
Densidade (kg/m ³)	320	304	2000	2200	1900
Calor específico (J/kg.°C)	850	1270	850	837	970
Absorção térmica	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Absorção solar	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Absorção visível	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Para cada solução de isolamento térmico foram, novamente, estudadas diferentes combinações construtivas sob diferentes condições de exposição (com e sem considerar a existência de palas de sombreamento exteriores) e considerando variantes de paredes simples e de paredes duplas (Figura 33 e Tabela 32). A caixa de ar das paredes duplas foi definida em 3 cm.

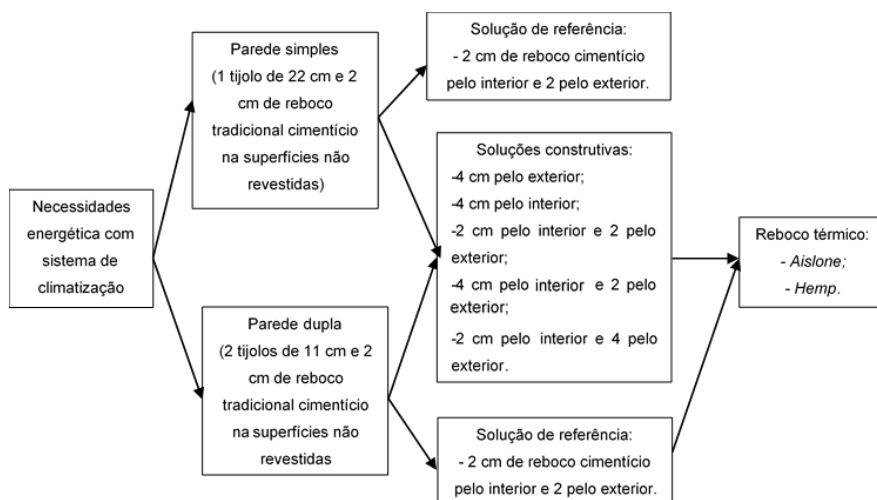


Figura 33 - Fluxograma das soluções construtivas estudadas para as necessidades energéticas úteis

Os intervalos de temperaturas abordados em 4.3.3.11 e sintetizados na Tabela 20 foram utilizados para o estudo das necessidades energéticas dos diferentes casos, para cada um destes casos foi obtida uma estimativa para as necessidades anuais totais e considerando estações de aquecimento e de arrefecimento. No estudo das necessidades energéticas úteis anuais foi definido o intervalo de temperaturas de 18°C e 25°C (“*Const_setpoint_ano*”). No que diz respeito ao estudo considerando diferentes estações, foi definido o intervalo de temperatura de 18°C a 50°C (“*Const_setpoint_aque*”) na estação de aquecimento, de 1 Outubro a 30 de Junho, e o intervalo de temperatura de 10°C a 25°C (“*Const_setpoint_arr*”) na estação de arrefecimento, de 1 Julho a 30 de Setembro.

Tabela 32 - Soluções construtivas analisadas

Tipo de parede	Solução de isolamento térmico	Espessura pelo exterior (cm)	Caixa de ar (3 cm)	Espessura pelo interior (cm)	Reboco tradicional (2cm)		Tijolo de 11 cm	Tijolo de 22 cm
					Exterior	Interior		
Parede simples	EXT_REF	-	Não	-	Sim	Sim	-	1
	Aislone_e4	4	Não	-	-	Sim	-	1
	Aislone_i4	-	Não	4	Sim	-	-	1
	Aislone_e2_i2	2	Não	2	-	-	-	1
	Aislone_e4_i2	4	Não	2	-	-	-	1
	Aislone_e2_i4	2	Não	4	-	-	-	1
	Aislone_e4_i4	4	Não	4	-	-	-	1
	Hemp_e4	4	Não	-	-	Sim	-	1
	Hemp_i4	-	Não	4	Sim	-	-	1
	Hemp_e2_i2	2	Não	2	-	-	-	1
	Hemp_e4_i2	4	Não	2	-	-	-	1
	Hemp_e2_i4	2	Não	4	-	-	-	1
	Hemp_e4_i4	4	Não	4	-	-	-	1
	Parede dupla	EXT_REF	-	Sim	-	Sim	Sim	2
Aislone_e4		4	Sim	-	-	Sim	2	-
Aislone_i4		-	Sim	4	Sim	-	2	-
Aislone_e2_i2		2	Sim	2	-	-	2	-
Aislone_e4_i2		4	Sim	2	-	-	2	-
Aislone_e2_i4		2	Sim	4	-	-	2	-
Aislone_e4_i4		4	Sim	4	-	-	2	-
Hemp_e4		4	Sim	-	-	Sim	2	-
Hemp_i4		-	Sim	4	Sim	-	2	-
Hemp_e2_i2		2	Sim	2	-	-	2	-
Hemp_e4_i2		4	Sim	2	-	-	2	-
Hemp_e2_i4		2	Sim	4	-	-	2	-
Hemp_e4_i4		4	Sim	4	-	-	2	-

Deste modo, para se obter uma estimativa das necessidades energéticas úteis anuais foram realizadas simulações onde se definiu o intervalo de temperaturas de conforto entre 18°C e 25°C para todo o ano (“Ano”). No que diz respeito aos consumos energéticos úteis de aquecimento e de arrefecimento surgir a necessidade de realizar duas simulações distintas: uma de 1 de Outubro a 30 de Setembro com o intervalo de temperaturas definido entre 18°C e 50°C (período de aquecimento) e outra de 1 de Julho a 30 de Setembro com o intervalo de temperaturas definido entre 10°C e 25°C (período de arrefecimento). Por fim, as necessidades energéticas úteis para o período de aquecimento (N_{ic}) e de arrefecimento (N_{vc}), resultantes das duas simulações, foram divididas por um coeficiente de desempenho (COP) igual a 3,0 e por um rácio de eficiência energética (EER) igual a 3,4, respetivamente (valores REH, 2013), e somadas com o intuito de obter a necessidade energética final anual (N_{tc}), para ambos os calendários (“Ano” e “Arr_Aqu”); processo descrito pela Equação (4).

$$N_{tc} = \frac{N_{ic}}{COP} + \frac{N_{vc}}{EER} \quad (4)$$

À semelhança do que aconteceu no estudo das temperaturas e humidades mínimas e máximas (seção 4.4), também no estudo das necessidades energéticas de climatização foram definidas paredes com soluções construtivas fixas e outras com estas variáveis. Na Figura 25 e na Tabela 23, são nomeadas as diferentes superfícies e classificadas como tendo soluções construtivas fixas ou variáveis.

De seguida, é apresentado o estudo relativo as necessidades energéticas úteis de climatização para cada uma das soluções construtivas, em sistema de parede simples e dupla, considerando ou não a existência de palas de sombreamento exteriores à fração autónoma.

4.6.3 Necessidades energéticas úteis de climatização em paredes simples

Ao longo do presente subcapítulo será feita a análise das necessidades energéticas úteis de climatização anual, de aquecimento e de arrefecimento em paredes simples. As estimativas para as mesmas estão organizadas no Anexo 21 e na Tabela 33.

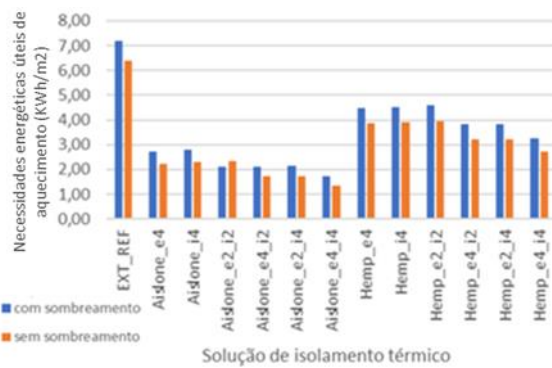
Tabela 33 - Necessidades energéticas úteis de climatização em paredes simples

Condições de sombreamento	Solução de parede simples com isolamento térmico	Necessidades energéticas úteis de aquecimento [KWh/m ²]				Necessidades energéticas úteis de arrefecimento [KWh/m ²]				Necessidades energéticas Finais [KWh/m ²]	
		Zona A		Zona B		Zona A		Zona B		Ano	Arr_Aqu
		Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu		
com elementos de sombreamento	EXT_REF	1,36	1,20	6,08	5,99	12,64	10,00	10,38	8,45	9,25	7,82
	Aislone_e4	0,39	0,32	2,50	2,39	11,90	8,94	11,04	8,50	7,71	6,03
	Aislone_i4	0,43	0,35	2,55	2,43	12,26	9,13	11,35	8,64	7,94	6,15
	Aislone_e2_i2	0,42	0,24	2,58	1,89	12,03	9,00	11,17	8,55	7,83	5,87
	Aislone_e4_i2	0,29	0,24	2,01	1,89	11,97	8,82	11,35	8,56	7,63	5,82
	Aislone_e2_i4	0,30	0,25	2,02	1,91	12,04	8,86	11,42	8,59	7,67	5,85
	Aislone_e4_i4	0,21	0,18	1,55	1,56	12,00	8,74	11,53	8,60	7,51	5,68
	Hemp_e4	0,77	0,64	3,96	3,86	12,10	9,33	10,68	8,45	8,28	6,73
	Hemp_i4	0,78	0,66	3,98	3,88	12,40	9,50	10,92	8,57	8,44	6,83
	Hemp_e2_i2	0,80	0,67	4,04	3,94	12,26	9,42	10,80	8,51	8,39	6,81
	Hemp_e4_i2	0,63	0,52	3,40	3,30	12,09	9,21	10,90	8,51	8,11	6,48
	Hemp_e2_i4	0,63	0,52	3,40	3,30	12,21	9,27	10,99	8,56	8,17	6,52
	Hemp_e4_i4	0,51	0,42	2,95	2,84	12,08	9,11	11,06	8,54	7,96	6,28
	sem elementos de sombreamento	EXT_REF	1,07	0,93	5,55	5,45	15,21	11,57	12,90	9,98	10,47
Aislone_e4		0,29	0,24	2,10	1,98	14,21	10,23	13,89	10,09	9,06	6,72
Aislone_i4		0,32	0,27	2,15	2,03	14,63	10,43	14,24	10,24	9,31	6,85
Aislone_e2_i2		0,32	0,26	2,18	2,07	14,35	10,29	14,03	10,13	9,18	6,78
Aislone_e4_i2		0,19	0,17	1,51	1,54	14,25	10,07	14,28	10,17	8,96	6,52
Aislone_e2_i4		0,20	0,18	1,56	1,55	14,33	10,11	14,36	10,20	9,03	6,55
Aislone_e4_i4		0,15	0,13	1,21	1,23	14,26	9,96	14,53	10,22	8,92	6,39
Hemp_e4		0,58	0,48	3,47	3,37	14,49	10,72	13,36	10,01	9,54	7,38
Hemp_i4		0,60	0,50	3,49	3,39	14,85	10,91	13,63	10,14	9,74	7,49
Hemp_e2_i2		0,61	0,51	3,55	3,45	14,68	10,82	13,49	10,07	9,67	7,46
Hemp_e4_i2		0,48	0,39	2,94	2,84	14,46	10,56	13,65	10,08	9,41	7,15
Hemp_e2_i4		0,48	0,40	2,95	2,84	14,60	10,63	13,75	10,13	9,48	7,18
Hemp_e4_i4		0,39	0,32	2,52	2,41	14,43	10,43	13,87	10,12	9,29	6,95

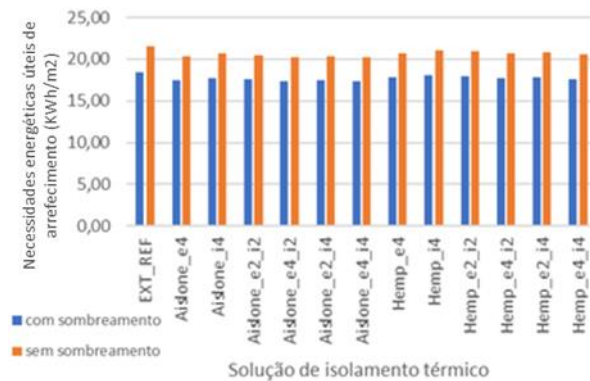
As necessidades energéticas de aquecimento da zona B são sempre superiores às da zona A, independentemente da existência ou não de palas de sombreamento e de se definir o calendário para anual ou para com estação de aquecimento e de arrefecimento, cerca de 572,26% (equivalente a 2,41 kWh/m²) em termos médios. Pelo contrário, nos meses de arrefecimento, os consumos energéticos úteis na zona B são, quase sempre, inferiores aos da zona A, cerca de 345,37% em termos médios (equivalente 0,70 kWh/m²). Em virtude dos vãos envidraçados orientados a Norte da zona B, esta recebe radiação solar com menos intensidade que os vãos envidraçados da zona A, orientados a Sul, o que causa um aumento da temperatura da zona A, favorável nos meses mais frios e desfavorável nos meses mais quentes. Por outro lado, a zona A apresenta mais uma fronteira adiabática que a zona B, favorável nos meses mais frios e a zona B é maior que a zona A (53,3 m² e 41,2 m², respetivamente).

A leitura dos gráficos presentes na Figura 34 permitem perceber que as necessidades de aquecimento são consideravelmente inferiores às necessidades energéticas de arrefecimento, mais precisamente 708,18% (17,65 kWh/m²) quando não se considera a existência de elementos de sombreamento exteriores e de 488,06% (14,23 kWh/m²) quando se considera a existência dos mesmos. Sendo Portugal um país com uma grande intensidade de radiação solar, são atingidas com maior frequência temperaturas internas superiores a 25°C, do que são atingidas temperaturas inferiores a 18°C, como previamente estudado no ponto 4.4. Por outro lado, a existência de palas de sombreamento exteriores permite reduzir a quantidade de radiação solar que incide diretamente nos vãos envidraçados, reduzindo assim as necessidades energéticas de arrefecimento (e aumentando as de aquecimento). A aplicação de 4 cm de reboco térmico pela superfície exterior minimiza as necessidades energéticas de aquecimento e de arrefecimento em comparação com a aplicação de 4 cm pela superfície interior.

No gráfico de barras apresentado na Figura 35 é possível compreender que a aplicação de 4 cm pela superfície interior é uma solução com pior desempenho energético que a aplicação de 2 cm pelo exterior e pelo interior para as diversas situações e independentemente do reboco térmico aplicado.



a) Aquecimento



b) Arrefecimento

Figura 34 - Necessidade energética útil de aquecimento e de arrefecimento em paredes simples

Relacionando as necessidades energéticas para os dois tipos de climatização, verifica-se que a adoção de um calendário com duas estações (aquecimento e arrefecimento) permite uma redução de 25,07% (equivalente a 7,87 kWh/m²) quando não se consideram palas de sombreamento exteriores e de 21,36% (equivalente a 5,72 kWh/m²) quando se consideram face à adoção de um calendário anual. Tal diferença pode ser justificada porque no calendário anual é consumida energia ao longo de todo ano de modo a que a temperatura não ultrapasse os 25°C, no entanto quando se define o calendário que tem em conta estações de aquecimento e de arrefecimento, apenas se controla a temperatura máxima de 25°C nos meses de Julho, Agosto e Setembro. Nos meses de Junho e Outubro temperaturas da ordem dos 25°C são consideradas como confortáveis para o utilizador, assim o calendário anual não permite que se obtenha uma estimativa real para os valores de necessidades energéticas anuais.

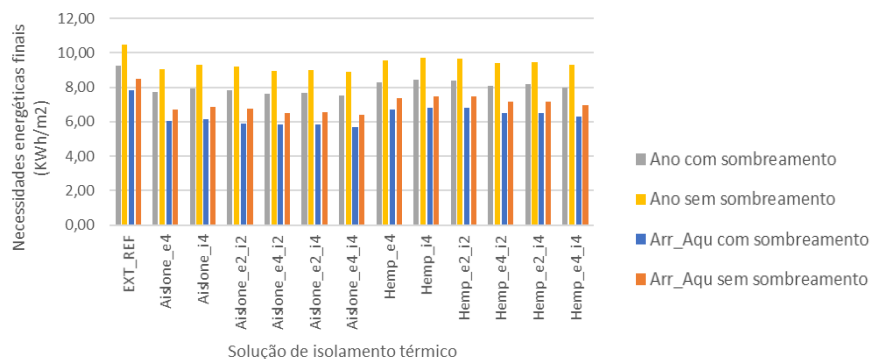


Figura 35 - Necessidades energéticas finais em paredes simples

A aplicação de reboco térmico “*Aislone*” apresenta melhores desempenhos térmicos para cada uma das soluções construtivas quando comparado com o desempenho do reboco térmico “*Hemp*”, permitindo uma poupança média de 6,04% (correspondente a 1,62 kWh/m²) quando não se definem palas de sombreamento e de 7,66% (correspondente a 1,83 kWh/m²) quando se definem.

4.6.4 Necessidades energéticas úteis de climatização em paredes duplas

No Anexo 22 e na Tabela 34 são apresentadas as necessidades energéticas úteis de climatização anuais, de aquecimento e de arrefecimento em paredes duplas para a diversas soluções construtivas.

Em média, os consumos energéticos da zona B durante a estação de aquecimento são 589,15% (equivalente a 2,25 kWh/m²) maiores que os da zona A. Em contrapartida, nos meses de arrefecimento os consumos na zona A são, em média, 300,79% (equivalente a 0,61 kWh/m²) maiores que os da zona

B. Estas conclusões vão ao encontro de às tiradas para as paredes simples, a orientação preferencial da zona A em termos de ganhos solares, a existência de mais uma fronteira adiabática na zona A e a maior área de pavimento da Zona B (53,3 m² face a 41,2 m² da zona A) são os principais fatores para a verificação de tal diferença.

Tabela 34 - Necessidades energéticas úteis de climatização em paredes duplas

Condições de sombreamento	Solução de parede dupla com isolamento térmico	Necessidades energéticas úteis de aquecimento [KWh/m ²]				Necessidades energéticas úteis de arrefecimento [KWh/m ²]				Necessidades energéticas Finais [KWh/m ²]	
		Zona A		Zona B		Zona A		Zona B			
		Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu
com elementos de sombreamento	EXT_REF	1,14	0,98	5,32	5,22	12,57	9,85	10,54	8,50	8,95	7,47
	Aislone_e4	0,36	0,29	2,36	2,24	11,90	8,91	11,10	8,51	7,67	5,97
	Aislone_i4	0,39	0,32	2,41	2,29	12,27	9,10	11,41	8,65	7,90	6,09
	Aislone_e2_i2	0,39	0,32	2,44	2,33	12,03	8,97	11,23	8,56	7,79	6,04
	Aislone_e4_i2	0,25	0,22	1,80	1,81	11,97	8,81	11,39	8,57	7,55	5,79
	Aislone_e2_i4	0,29	0,23	1,94	1,82	12,05	8,85	11,46	8,60	7,65	5,82
	Aislone_e4_i4	0,20	0,17	1,50	1,50	12,00	8,73	11,56	8,60	7,49	5,66
	Hemp_e4	0,67	0,56	3,61	3,51	12,09	9,26	10,78	8,48	8,15	6,57
	Hemp_i4	0,69	0,57	3,63	3,53	12,39	9,43	11,02	8,60	8,32	6,67
	Hemp_e2_i2	0,70	0,58	3,68	3,58	12,24	9,35	10,90	8,54	8,27	6,65
	Hemp_e4_i2	0,56	0,46	3,15	3,05	12,09	9,16	10,98	8,53	8,02	6,37
	Hemp_e2_i4	0,56	0,46	3,15	3,05	12,21	9,22	11,07	8,57	8,08	6,40
	Hemp_e4_i4	0,46	0,38	2,76	2,65	12,08	9,07	11,13	8,56	7,90	6,20
	sem elementos de sombreamento	EXT_REF	0,88	0,75	4,80	4,70	15,11	11,37	13,12	10,05	10,20
Aislone_e4		0,24	0,37	1,85	2,74	14,21	10,19	13,96	10,11	8,98	7,01
Aislone_i4		0,30	0,24	2,02	1,91	14,63	10,40	14,32	10,26	9,29	6,79
Aislone_e2_i2		0,29	0,24	2,05	1,94	14,35	10,25	14,11	10,15	9,15	6,73
Aislone_e4_i2		0,18	0,16	1,44	1,46	14,25	10,05	14,34	10,18	8,95	6,49
Aislone_e2_i4		0,19	0,17	1,48	1,48	14,33	10,09	14,41	10,21	9,01	6,52
Aislone_e4_i4		0,15	0,13	1,16	1,18	14,26	9,95	14,56	10,22	8,91	6,37
Hemp_e4		0,51	0,42	3,14	3,03	14,46	10,63	13,50	10,04	9,44	7,23
Hemp_i4		0,52	0,43	3,15	3,05	14,82	10,82	13,78	10,17	9,64	7,33
Hemp_e2_i2		0,53	0,44	3,21	3,11	14,65	10,73	13,64	10,10	9,57	7,31
Hemp_e4_i2		0,42	0,35	2,70	2,60	14,45	10,49	13,76	10,10	9,34	7,04
Hemp_e2_i4		0,43	0,35	2,70	2,60	14,59	10,57	13,87	10,15	9,41	7,08
Hemp_e4_i4		0,35	0,29	2,34	2,23	14,42	10,38	13,96	10,14	9,25	6,87

No que diz respeito à existência de palas de sombreamento exteriores, estas têm um impacto negativo nos meses de aquecimento, dado que aumentam os consumos energéticos e um impacto positivo nos meses de arrefecimento. As palas de sombreamento permitem uma poupança média de 17,35% (equivalente a 4,62 kWh/m²) na calendarização anual e uma poupança média de 11,86% (equivalente a 2,46 kWh/m²) quando se consideram períodos de aquecimento e de arrefecimento, dado que a estação de arrefecimento é mais exigente em termos energéticos.

As necessidades energéticas de aquecimento em paredes duplas, são, em termos médios, 744,08% (equivalente a 17,80 kWh/m²) inferiores às necessidades energéticas de arrefecimento, quando não se consideram elementos de sombreamento e 512,27% (equivalente a 14,45 kWh/m²) inferiores quando se tem em conta a sua existência (Figura 36). À semelhança do que se verificou no estudo energético em paredes simples a estação de arrefecimento corresponde ao período de maiores consumos.

Analisando a Figura 37, facilmente se verifica que a aplicação de 4 cm pelo exterior é mais vantajosa do que a aplicação de 4 cm pelo interior, independentemente das condições de sombreamento e do tipo de calendarização definida. É ainda possível observar, que a aplicação de 2 cm pelo exterior e pelo interior permite maiores poupanças que a aplicação de 4 cm pelo interior para ambos os rebocos.

A adoção de um calendário com uma estação de aquecimento e outra de arrefecimento permite uma redução de 25,30% (equivalente a 7,90 kWh/m²) se não se adotarem a existência de palas de sombreamento exteriores e de 21,63% (equivalente 5,75 kWh/m²) se se adotarem palas de sombreamento exteriores, face ao resultados obtidos para a calendarização anual, pelas razões descritas anteriormente no caso das paredes simples.

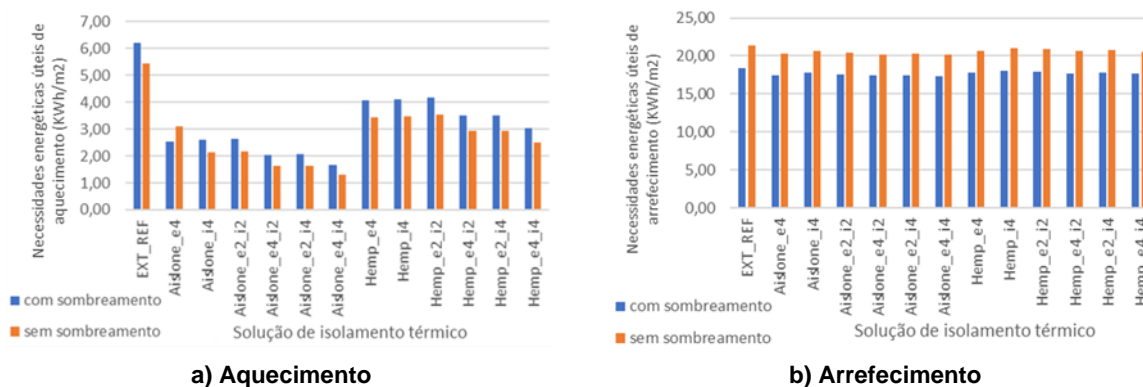


Figura 36 – Necessidade energética úteis de aquecimento e de arrefecimento em paredes duplas

Dos dois rebocos térmicos estudados aquele que é energeticamente mais vantajoso de ser aplicado em paredes duplas é o “*Aislone*” em detrimento do “*Hemp*”, a sua aplicação traduz-se numa redução média dos consumos energéticos de 5,00% (correspondente a 1,33 kWh/m²) se não se definirem palas de sombreamento e de 6,58% (correspondente a 1,55 kWh/m²) se se considerarem.

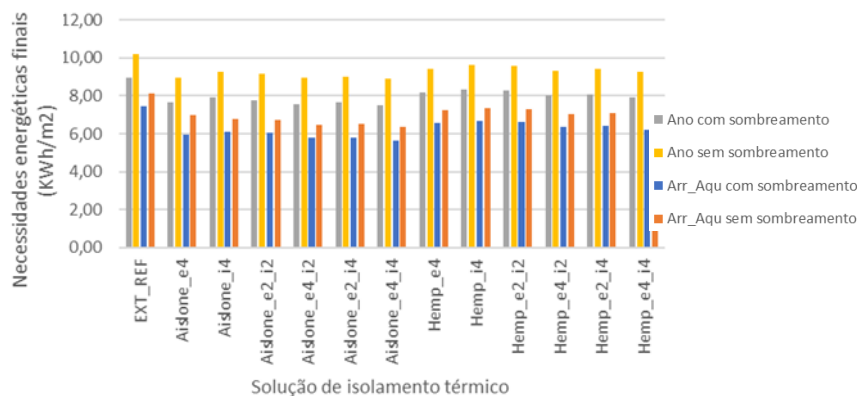


Figura 37 - Necessidades energéticas finais em paredes duplas

4.6.5 Discussão dos resultados

As necessidades de aquecimento da zona com vãos envidraçados orientados a Norte (zona B) são, em média, cerca de cinco vezes e meia superiores às da zona A. Porém, as necessidades de arrefecimento da zona B são, em média, três vezes menores que as da zona A. A existência de palas de sombreamento permite reduzir os consumos energéticos em cerca de 11,54% a 17,35%, sendo favorável a sua existência no período de arrefecimento e desfavorável no de aquecimento (Anexo 23).

A aplicação do reboco térmico “*Aislone*” em detrimento do “*Hemp*” conduz a uma redução média dos consumos energéticos de 5,00% a 7,66%, nos casos estudados.

A realização deste subcapítulo permitiu perceber que o recurso a paredes duplas é uma solução energeticamente mais vantajosa face à construção de soluções de paredes simples, conclusão que vai de encontro as práticas construtivas nacionais (Anexo 24) e que o período de arrefecimento é mais exigente em termos de consumos energéticos que o período de aquecimento.

Em termos de tipo de calendarização, a calendarização que considera em separado período de aquecimento e período de arrefecimento conduz a menores estimativas para os consumos energéticos anuais do que a consideração de uma calendarização anual.

A aplicação de 4 cm de reboco térmico pelo exterior é a configuração construtiva estudada que tem maior desempenho energético para a mesma espessura de isolamento térmico. Contudo, a aplicação de 4 cm de reboco térmico pelo interior também permite um excelente desempenho térmico, porém tem a desvantagem de se perder área útil interior. Adicionalmente, em termos energéticos a solução de aplicação de 2 cm pelo interior e pelo exterior é mais interessante que a aplicação de 4 cm pelo interior. A aplicação de um reboco térmico com uma maior espessura, conduz a menores consumos energéticos, porém é necessário saber o incremento do custo da solução para tirar mais conclusões.

4.7 Conclusão do capítulo

O recurso ao programa EnergyPlus permitiu que se obtivessem valores para temperaturas e humidades relativas mínimas e máximas interiores quando se consideram diferentes soluções construtivas em sistemas de paredes duplas, sem a utilização de qualquer sistema de climatização sob diferentes condições, e entender de que modo os diferentes rebocos térmicos, zonas térmicas e a existência ou não de elementos de sombreamento exteriores, têm impacto nesses parâmetros.

Foi possível perceber como os diversos fatores têm influência na quantidade de horas em que ocorrem condensações superficiais externas e internas e a forma como o modelo HAMT se adequa à realização destas análises higrotérmicas. Adicionalmente, que seria interessante exigir na marcação CE características dos rebocos térmicos que permitissem realizar uma análise higrotérmica mais detalhada, caso contrário será sempre difícil obter tais informações, sendo necessário a realização de ensaios experimentais complementares para a aquisição de dados para aplicação deste modelo.

A obtenção de uma estimativa para as necessidades energéticas, quando se restringe o intervalo de temperaturas de conforto aconselhado pelo REH (18°C a 25°C) permitiu verificar de que forma cada variável em causa tem impactos no valor dessas mesmas necessidades energéticas e qual a melhor configuração construtiva entre as estudadas. A construção de paredes duplas permite maiores poupanças energéticas do que a construção de paredes simples. A existência de elementos de sombreamento exteriores permite maiores poupanças energéticas, face aos resultados obtidos quando estes não são considerados, conduzindo a maiores consumos nos meses de aquecimento e menores nos meses de arrefecimento. A aplicação de 4 cm pelo exterior é preferível face à aplicação de 4 cm pelo interior ou de 2 cm pelo interior e pelo exterior, apresentando esta última solução melhor desempenho que a aplicação de 4 cm pelo interior.

Por fim, percebeu-se como a escolha de uma solução construtiva pode ter impacto nas diferentes áreas estudadas (temperaturas e humidades relativas mínimas e máximas interiores, risco de ocorrência de condensações superficiais exteriores e interiores e necessidades energéticas anuais, de período de aquecimento e de período de arrefecimento) e que existe uma solução de compromisso que se adequa melhor ou pior a dados requisitos e às necessidades de cada caso de estudo.

5 Conclusões e desenvolvimentos futuros

5.1 Conclusões finais

A dissertação desenvolvida incidiu sobre o estudo da avaliação do desempenho em serviço e do comportamento higrotérmico e energético de rebocos térmicos aplicados, uma vez que estes têm um papel crucial no desempenho e na vida útil de fachadas de edifícios em termos de ocorrência de condensações superficiais exteriores e interiores, e conseqüente desenvolvimento de colonização biológica.

O desempenho em serviço de rebocos térmicos foi estudado com recurso ao programa de simulação dinâmica de edifícios EnergyPlus, permitindo que se verificassem quais as temperaturas e humidades relativas máximas e mínimas sem meios de climatização; a existência de condições para a ocorrência de condensações superficiais exteriores e interiores. Adicionalmente, que se obtivessem estimativas para as necessidades energéticas, considerando ou não estações de aquecimento e de arrefecimento. Esta abordagem foi aplicada a diferentes configurações construtivas e considerando ou não a existência de palas de sombreamento exteriores à fração autónoma. Neste sentido, procurou-se aumentar o conhecimento existente sobre a influência de diferentes orientações solares, existência ou não palas de sombreamento exteriores à fração autónoma, de diferentes configurações construtivas e do tipo de reboco utilizado no desempenho das construções, através da análise de um caso de estudo.

O trabalho realizado incluiu também uma análise do potencial, viabilidade e sensibilidade de técnicas de ensaios *in situ* (tubo de Karsten, humidímetro, esclerómetro pendular, termografia e pirómetro de radiação) para avaliação do desempenho em serviço de rebocos térmicos aplicados e a forma como permitem sustentar ou refutar as conclusões retiradas após a realização de uma inspeção visual cuidada. Para este fim, foi realizada uma campanha experimental *in situ* em um caso de estudo onde tinha sido previamente aplicados rebocos térmicos.

5.2 Conclusões gerais

A realização da revisão literária permitiu perceber que existem poucos artigos publicados no âmbito do estudo do desempenho em serviço de rebocos térmicos do ponto de vista de quantificação da ocorrência de condensações superficiais e análise energética em simultâneo. Deste modo, esta dissertação foi realizada com o intuito de contribuir para aumentar o conhecimento relativo a este tema.

A utilização do programa Energyplus possibilitou realizar uma análise das temperaturas e humidades mínimas e máximas registadas no interior de uma fração autónoma, quando se consideram diferentes soluções construtivas para as paredes exteriores que delimitam o caso de estudo, sem se considerar qualquer sistema de climatização, permitindo concluir que:

- Os limites do intervalo de conforto térmico sugerido pelo REH (18°C e 25°C) não são respeitados para qualquer solução construtivas, uma vez que a gama de temperaturas não se restringe unicamente a este intervalo de temperaturas;

- Os valores mínimos e máximos das temperaturas e humidades relativas, ao longo do ano tipo para a cidade de Lisboa, para cada solução construtiva permitiram concluir que o aumento da espessura de reboco térmico aumenta os valores mínimos registados para as temperaturas mínimas. No entanto, aumenta também as temperaturas máximas registadas. Adicionalmente, conduz à diminuição dos valores das humidades relativas mínimas e máximas;
- A existência de palas de sombreamento exteriores provoca uma redução das temperaturas mínimas e máximas registadas e um aumento da humidade relativa mínimas e máximas do ambiente interior;
- Em termos de consumos energéticos, a aplicação de um reboco térmico de 4 cm pela superfície interior é vantajosa face à aplicação de 4 cm pela superfície exterior nos meses de aquecimento, uma vez que permite aumentar as temperaturas mínimas registadas. Todavia, nos meses de arrefecimento (Julho, Agosto e Setembro), a aplicação de 4 cm pela superfície exterior é mais vantajosa do que a aplicação de 4 cm pela interior, uma vez que permite reduzir as temperaturas máximas registadas. A aplicação de 4 cm pela superfície exterior é, em termos de poupança energética anual, mais vantajosa do que a aplicação de 4 cm pelo interior;
- A aplicação de 4 cm pelo exterior ou de 2 cm pelo interior e 2 cm exterior conduz a humidades relativas mais elevadas do que quando se opta por uma solução com 4 cm pelo interior;
- O reboco térmico analisado com melhor desempenho em termos de temperaturas no período de aquecimento é o “*Fixit222*” (maximiza as temperaturas interiores), contudo o “*Hemp*” apresenta o melhor desempenho no período de arrefecimento (minimiza as temperaturas interiores);
- O reboco térmico estudado com melhor desempenho de humidades é o “*Fixit222*” (minimiza as humidades relativas interiores registadas no interior da fração autónoma).

Diversas simulações higrotérmicas foram realizadas no domínio do estudo da existência de condições e da quantificação das condensações superficiais externas e internas em fachadas com aplicação de rebocos térmicos.

A aplicação do modelo HAMT no Energyplus para a quantificação do número de horas em que se verificam condições para a ocorrência de condensações superficiais exteriores, permitiu concluir que:

- A existência de palas de sombreamento permite reduzir o número de horas em que se verificam condensações superficiais externas face aos valores registados para quando estas não existem, para as superfícies orientadas a Norte e Sul. Por outro, conduzem ao aumento do risco de condensações superficiais externas nas superfícies orientadas a Este e Oeste;
- A aplicação de 4 cm de reboco térmico pela superfície interior é preferível em termos de redução do risco de condensações superficiais externas à aplicação de 4 cm pelo exterior para as superfícies orientadas a Oeste e Sul quando não se consideram palas de sombreamento exteriores, e também para as orientadas a Norte quando se considera a existências de palas de sombreamento. Em relação à orientação solar Este, a aplicação de 4 cm pelo exterior apresenta igual desempenho à aplicação de 4 cm pelo exterior na maioria dos casos (potencial de condensação nulo), excetuando quando se opta pela solução construtiva “*Hemp_i4*”,

apresentando melhor desempenho. De todas as configurações construtivas analisadas a que apresenta menores valores para o potencial de condensação superficial exterior total é a aplicação de 4 cm de isolamento térmico pelo interior. Adicionalmente, foi possível concluir que em termos de condensações superficiais exteriores é preferível aplicar 2 cm pelo exterior e 2 cm pelo interior, do que aplicar 4 cm apenas pelo exterior;

- As soluções construtivas com reboco térmico “*Hemp*” apresentam menor risco de ocorrência de condensações que as constituídas por “*Aislone*” nas superfícies orientadas a Norte, Sul e Oeste;
- As soluções construtivas com reboco térmico “*Hemp*” apresentam o mesmo desempenho nas superfícies orientadas a Este, à exceção das soluções com 4 cm de “*Hemp*” pelo interior que apresentam pior desempenho que as de “*Aislone*”;
- Os meses em que se verifica maior potencial de condensação foram nos meses de Janeiro, Fevereiro e Março (mais que 50% do total);
- O aumento progressivo da espessura do isolamento térmico (acima de 4 cm) é desfavorável em termos de aumento do risco de ocorrência de condensações superficiais exteriores;
- A marcação CE não exige que os valores para as características necessárias para a definição de um material no modelo HAMT sejam declaradas pelo fabricante.

O modelo HAMT do Energyplus não se revelou adequado para o estudo e quantificação do número de horas em que se verificam as condições para ocorrerem condensações superficiais interiores, visto que o número de horas total de horas em que se verificaram essas condições foi de zero. Consequência de o programa EnergyPlus não permitir que se introduzam valores relativos à taxa de produção de vapor de água e não compatibilize entradas e saída de ar localizadas.

Adicionalmente o critério de quantificação de condensações que consiste em verificar o número de horas em que as superfícies apresentam humidade relativa de 100% não é adequado aquando a utilização do programa Energyplus, uma vez que o número de horas foi de 0 para todas as superfícies exteriores e interiores, não obstante verificaram-se frequentemente humidades relativas superiores às de conforto (superiores a 60%). Deste modo, foi possível concluir que um critério em que se quantificasse o número de horas em que a humidade relativa estivesse entre determinados valores seria mais adequado para o caso de estudo e programa em questão.

A aplicação do programa de simulação dinâmica de edifícios Energyplus revelou-se adequado para a obtenção de estimativas de necessidades energéticas e permitiu concluir que:

- A introdução de palas de sombreamento exteriores permite reduzir os consumos energéticos no período de arrefecimento, contudo causa o aumento dos consumos energéticos no período de aquecimento, face às necessidades energéticas quando não se consideram palas de sombriamente exteriores;
- A zona B, com os envidraçados orientados a Norte, necessita maiores consumos de energia no período de aquecimento e a menores consumos no período de aquecimento face às necessidades da Zona A, com os envidraçados orientados a Sul;

- A existência de elementos de sombreamento pelo exterior permite poupanças energéticas, sendo favorável no período de arrefecimento e desfavorável no período de aquecimento;
- A construção de paredes duplas permite maiores poupanças energéticas que a construção de paredes simples;
- A variação das temperaturas de conforto ao longo do ano permite que se obtenham melhores estimativas para as necessidades energéticas do que se se considerar o intervalo de temperaturas de conforto constante ao longo do ano;
- A aplicação de 4 cm pela superfície exterior é a configuração construtiva que conduz a maiores poupanças energéticas para soluções com 4 cm de isolamento térmico. O aumento espessura acima de 4 cm permite maiores poupanças energéticas, não obstante é necessário realizar um estudo de custo inicial de aplicação para verificar se essa diferença energética permite amortizar a diferença do custo inicial;
- As soluções construtivas com o reboco térmico “*Aislone*” apresentam melhor desempenho energético que as com o reboco térmico “*Hemp*”.

5.3 Propostas para desenvolvimentos futuros

Considerando os resultados obtidos considera-se que seria extremamente interessante aprofundar o conhecimento de temas intrínsecos a este trabalho, em particular:

- Verificar a ocorrência de condensações superficiais externas para mais rebocos térmicos;
- Verificar a ocorrência de condensações superficiais internas para mais rebocos térmicos, realizando esta análise por intervalos de humidade relativa registada (p.e. de 80% a 90%);
- Estudar a poupança energética de mais rebocos térmicos e, com o conhecimento do custo de construção de cada solução, obter estimativas para o tempo de amortização do investimento;
- Estudar a energia incorporada na produção, aplicação e processamento no final da vida útil de um reboco térmico. Adicionalmente, com os valores de poupança energética e a energia incorporada estudar qual o reboco mais sustentável do ponto de vista energético;
- Definição de critérios mais objetivos de avaliação do desempenho em serviço *in situ* de rebocos térmicos aplicados;
- Realizar periodicamente campanhas de ensaios *in situ* no edifício estudado, de modo a registar a variação dos resultados em função de tempo e relacionar os mesmos com o aparecimento de anomalias.
- Realizar uma análise económica e estimar o tempo de amortização de diferentes soluções de rebocos térmicos, considerando: custo inicial, custo de manutenção, custo de demolição, poupança energética associada e atribuição de um custo à ocorrência de condensações.

Por fim, realça-se o facto de que muitos dos desenvolvimentos futuros propostos necessitam de o apoio de uma empresa de engenharia civil (idealmente produtora de rebocos térmicos) de forma a que seja facilitado o processo de aquisição de dados relativos aos mesmos e os custos associados.

Referências bibliográficas

Abidi, S.; Nait-ali, B.; Joliff, Y.; Favotto, C. (2015) 'Composites : Part B Impact of perlite , vermiculite and cement on the thermal conductivity of a plaster composite material : Experimental and numerical approaches', *COMPOSITES PART B*. Elsevier Ltd, 68, pp. 392–400. doi: 10.1016/j.compositesb.2014.07.030.

Afonso, M. (2011) 'Simulação higrotérmica de edifícios - Aplicação do EMPD no cálculo da humidade interior' Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civi, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 80 p.

Antretter, F. (ASHRAE member) and Pallin, S. (ASHRAE member) (2019) 'HAMT extension for EnergyPlus encompasses moisture sources due to air leakage', p. 8. Disponível em: <https://www.osti.gov/biblio/1494004-hamt-extension-energyplus-encompasses-moisture-sources-due-air-leakage>.

Ardex (2017) *Isolteco*. Disponível em: <http://www.ardex.es> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

ASHRAE (2011) "*ASHRAE Handbook HVAC Applications building operations and management*".

Azichem (2019) *Sanawarme*. Disponível em: <https://www.azichem.pt/produtos/sanawarme/169/> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Barbero-barrera, M.; García-santos, A. e Neila-gonzález, F. J. (2014) 'Thermal conductivity of lime mortars and calcined diatoms . Parameters influencing their performance and comparison with the traditional lime and mortars containing crushed marble used as renders', *Energy & Buildings*. Elsevier B.V., 76, pp. 422–428. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.02.065.

Barbero, S.; Dutto, C.; Ferrua, C.; Pereno, A. (2014) 'Analysis on existent thermal insulating plasters towards innovative applications: Evaluation methodology for a real cost-performance comparison', *Energy and Buildings*, 77, pp. 40–47. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.037>.

Barclay, M.; Holcroft, N. e Shea, A. D. (2014) 'Methods to determine whole building hygrothermal performance of hemp-lime buildings', *Building and Environment*. Elsevier Ltd, 80, pp. 204–212. doi: 10.1016/j.buildenv.2014.06.003.

Barreca, F. e Fichera, C. R. (2013) 'Use of olive stone as an additive in cement lime mortar to improve thermal insulation', *Energy & Buildings*. Elsevier B.V., 62, pp. 507–513. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.03.040.

Barreira, E.; Delgado, J.; Ramos, N.; de Freitas, V. (2013) 'Exterior condensations on façades: numerical simulation of the undercooling phenomenon', *Journal of Building Performance Simulation*. Taylor & Francis, 6(5), pp. 337–345. doi: 10.1080/19401493.2011.560685.

Barreira, E. e de Freitas, V. (2013) 'Experimental study of the hygrothermal behaviour of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS)', *Building and Environment*, 63, pp. 31–39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.02.001>.

Berardi, U. e Nosrati, R. (2018) 'Long-term thermal conductivity of aerogel-enhanced insulating materials under different laboratory aging conditions', *Energy*. Elsevier Ltd, 147, pp. 1188–1202. doi: 10.1016/j.energy.2018.01.053.

Bianco, L.; Serra, V.; Fantucci, S.; Dutto, M.; Massolino, M. (2015) 'Thermal insulating plaster as a solution for refurbishing historic building envelopes: First experimental results', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 95, pp. 86–91. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.11.016.

bigladdersoftware - HAMT model (2017). Disponível em: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-0/engineering-reference/page-018.html> (Acesso a : 2 Novembro 2019).

bigladdersoftware - Input and Output Reference (2017). Disponível em: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/9-1/input-output-reference/group-surface-construction-elements.html#materialpropertyheatandmoisturetransfersettings> (Acesso a: 2 Novembro 2019).

Blaich, J. (EPMA) (1999) 'La détérioration des bâtiments, Analyse et prévention'.

Fassa Bortolo (2016) *KT 48*. Disponível em: <http://www.fassabortolo.co.uk/en/> (Acesso a: 20 Novembro 2019).

Botelho, P. (2003) "*Argamassas tradicionais em suportes de alvenaria antiga: comportamento em termos de aderência e durabilidade*". Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Brás, A.; Gonçalves, F. e Faustino, P. (2014) 'Cork-based mortars for thermal bridges correction in a dwelling: Thermal performance and cost evaluation', *Energy and Buildings*, 72, pp. 296–308. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.12.022.

Brás, A.; Leal, M. e Faria, P. (2013) 'Cement-cork mortars for thermal bridges correction . Comparison with cement-EPS mortars performance', 49, pp. 315–327. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.08.006.

Carbonaro, C.; Cascone, Y.; Fantucci, S.; Serra, V.; Dutto, M. (2015a) 'Energy assessment of a PCM – embedded plaster : embodied energy versus operational energy', *Energy Procedia*. Elsevier B.V., 78, pp. 3210–3215. doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.782.

Carbonaro, C.; Tedesco, S.; Thiebat, F.; Fantucci, S.; Serra, V.; Dutto, M. (2015b) 'Development of vegetal based thermal plasters with low environmental impact: Optimization process through an integrated approach', *Energy Procedia*. Elsevier B.V., 78, pp. 967–972. doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.034.

Carbonaro, C.; Tedesco, S.; Thiebat, F.; Fantucci, S.; Serra, V.; Dutto, M. (2016) 'An integrated design approach to the development of a vegetal-based thermal plaster for the energy retrofit of buildings', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 124, pp. 46–59. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.03.063.

Carmeliet, J. e Zimmermann, M. (2011) 'Sustainable renovation of historical buildings surhib: annual report 2011', pp. 1–8.

CEN (2010) 'EN 998-1:2010, Specification for mortar for masonry. In Part 1: Rendering and plastering mortar.' Brussels, Belgium: European Committee for Standardization.

CEN (2006) 'EN 15251 - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics'. Brussels, Belgium: European Committee for Standardization.

Chiraema (2015a) *Thermo Rinzafo*. Disponível em: <http://www.chiraema.it/en/home-en/> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Chiraema (2015b) *Thermofond*. Disponível em: <http://www.chiraema.it/en/home-en/> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Chiraema (2019a) *Asciugo TD*. Disponível em: <http://www.chiraema.it/en/home-en/> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Chiraema (2019b) *Drywall*. Disponível em: <http://www.chiraema.it/en/home-en/> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Chiraema (2019c) *TF 2000*. Disponível em: <http://www.chiraema.it/en/home-en/> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Seico Compositions, (2018) *Macrodry 800*. Disponível em: http://www.seicocompositi.it/inc/uploads/2019/02/st_macrodry_800.pdf (Acesso a: 20 Novembro 2019).

Cooman, Q. (2019) '*Methodology to assess microbiological colonization on ETICS façades*'. Disseertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civi, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 78 p.

Cunha, S.; Alves, V. e Aguiar, J. (2009) 'Argamassas Térmicas Sustentáveis: O Contributo dos Materiais de Mudança de Fase', 12 p.

CVR (2017) *Termopor*. Disponível em: <http://www.cvr.it/catalogo/termopor/> (Acesso a: 20 Novembro 2019).

Degirmenci, N. e Yilmaz, A. (2009) 'Use of diatomite as partial replacement for Portland cement in cement mortars', *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 23(1), pp. 284–288. doi:

10.1016/j.conbuildmat.2007.12.008.

Diasen (2013) *Diathonite Deumix*. Disponível em: <https://www.diasen.com> (Acesso a: 20 Novembro 2019).

Diasen (2017a) *Diathonite Acoustix*. Disponível em: <https://www.diasen.com> (Acesso a: 20 Setembro 2011).

Diasen (2017b) *Diathonite Deumix+*. Disponível em: <https://www.diasen.com> (Acesso a: 20 Novembro 2019).

Diasen (2017c) *Diathonite Evolution*. Disponível em: <https://www.diasen.com> (Acesso a: 20 Novembro 2019).

Diasen (2017d) *Diathonite Thermactive.037*. Disponível em: <https://www.diasen.com> (Acesso a: 20 Novembro 2019).

Di Bella, G.; Fiore, V.; Galtieri, G.; Borsellino, G.; Valenza, A. (2014) 'Effects of natural fibres reinforcement in lime plasters (kenaf and sisal vs . Polypropylene)', *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 58, pp. 159–165. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.02.026.

Duarte, R ; Flores-Colen, I.; De Brito, J.; Hawreen, A. (2020) 'Variability of in-situ testing in wall coating systems - Karsten tube and moisture meter techniques', *Journal of Building Engineering*. Elsevier Ltd, 27(June 2019), p. 100998. doi: 10.1016/j.jobe.2019.100998.

Edilteco (2017a) *Isolteco 150*. Disponível em: <http://www.edilteco.com> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Edilteco (2017b) *Isolteco 230*. Disponível em: <http://www.edilteco.com> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Edilteco (2018a) *Ariete 250 F*. Disponível em: <http://www.edilteco.com> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Edilteco (2018b) *Isocalp speed 525*. Disponível em: <http://www.edilteco.com> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Edilteco (2018c) *Isolcap 250*. Disponível em: <http://www.edilteco.com> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Edilteco (2018d) *Isolcap Fein 300*. Disponível em: <http://www.edilteco.com> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Edilteco (2018e) *Isolcap light 110*. Disponível em: <http://www.edilteco.com> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Edilteco (2018f) *Isolcap xx 500*. Disponível em: <http://www.edilteco.com> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Edilteco (2019a) *Isolsan 230*. Disponível em: <http://www.edilteco.com> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Edilteco (2019b) *Isolteco Light 110*. Disponível em: <http://www.edilteco.com> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Elsevier Ltd, 32(1), pp. 19–24. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2009.07.003.

ETAG 004 (2013) 'Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Rendering'.

Euwork (2017) *Keythermo Fond*. Disponível em: <https://www.euwork.it> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Fátima, M.; Soares, A.; Ilharco, L.; Flores-Colen, I.; De Brito, J. (2016) 'Aerogel-based renders with lightweight aggregates : Correlation between molecular / pore structure and performance', 124, pp. 485–495. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.07.103.

Fenoglio, E.; Fantucci, S.; Serra, V.; Carbonaro, C.; Pollo, R. (2018) 'Hygrothermal and environmental performance of a perlite-based insulating plaster for the energy retrofit of buildings', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 179, pp. 26–38. doi: 10.1016/j.enbuild.2018.08.017.

Figueiredo, A.; Vicente, R.; Lapa, J.; Cardoso, C.; Rodrigues, F.; Kampf, J. (2017) 'Indoor thermal comfort assessment using different constructive solutions incorporating PCM', *Applied Energy*. Elsevier, 208(March), pp. 1208–1221. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.09.032.

Gonçalves, P.; Frade, D.; Brites, J. (2012) "Argamassas térmicas: Uma solução no cumprimento do RCCTE". Secil Martingança S.A.

Flores-Colen, I. (2009) "*Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva*". Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Junho 2009, volume 1, 487 p.

Flores-Colen, I.; De Brito, J. e Freitas, V. (2009) 'Expected render performance assessment based on impact resistance *in situ* determination', *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 23(9), pp. 2997–3004. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.05.003.

Flores-Colen, I., De Brito, J. and Freitas, V. (2006) "*Técnicas de ensaio in-situ para apoio à manutenção predictiva de rebocos de fachada*". Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283644089_Tecnicas_de_ensaio_insitu_para_apoio_a_manutencao_predictiva_de_rebocos_de_fachada/related.

Flores-Colen, I.; De Brito, J. e Freitas, V. (2010) *Ensaaios in-situ e em laboratório para caracterização do desempenho em serviço de rebocos pré-doseados aplicados em fachadas de edifícios correntes*. doi: 10.13140/RG.2.1.3247.7202.

Galvão, J. (2009) "*Técnicas de ensaio in-situ para avaliação do comportamento mecânico de rebocos em fachadas-Esclerómetro e ultra-sons*". Dissertação de Mestrado Integrandoem Engenharia Civil,

Instituto Superior Técnico, Lisboa, 136 p.

Galvão, J.; Flores-Colen, I.; De Brito, J.; Veiga, M. (2018) 'Variability of in-situ testing on rendered walls in natural ageing conditions – Rebound hammer and ultrasound techniques Variability of in-situ tesEng', 170, pp. 167–181. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.02.152.

Galvão, J.; Duarte, R.; Flores-Colen, I.; De Brito, J.; Hawreen, A. (2020) 'Non-destructive mechanical and physical in-situ testing of rendered walls under natural exposure', *Construction and Building Materials*, 230. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116838.

Garrido, R., Silvestre, J. e Flores-Colen, I. (2017) 'Economic and Energy Life Cycle Assessment of aerogel-based thermal renders', *Journal of Cleaner Production*, 151, pp. 537–545. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.02.194.

Google Maps (2019) Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Av.+Jo%C3%A3o+Paulo+II+554,+1950157+Lisboa/@38.7431547,9.1163146,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0xd1933c4e8c97e51:0xf34e3a534bc8ceba!8m2!3d38.7431547!4d-9.1141206?hl=pt-PT> (Acesso a: 20 Julho 2019).

Gomes, A. M. (1995) "*Caracterização de argamassas tradicionais utilizadas nos revestimentos exteriores dos edifícios*". Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, volume 1, 269 p .

Gomes, M.; Flores-Colen, I.; Silva, F.; Pedroso, M. (2018) 'Thermal conductivity measurement of thermal insulating mortars with EPS and silica aerogel by steady-state and transient methods', 172, pp. 696–705. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.162.

Govaerts, Y.; Hayen, R.; Bouw, M. de; Verdonck, A.; Meulebroeck, W.; Mertens, S.; Grégoire, Y. (2018) 'Performance of a lime-based insulating render for heritage buildings', *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 159, pp. 376–389. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.10.115.

Grunewald, J. e Will, T. (2010) '*Pilot study on the model project of the Saxon State Ministry of the Interior: Energetic: Energetic refurbishment of architectural monuments*'. Dresden, Germany.

Gutiérrez-González, S.; Gadea, A.; Rodríguez, A.; Junco, C.; Calderón, V. (2012a) 'Lightweight plaster materials with enhanced thermal properties made with polyurethane foam wastes', 28, pp. 653–658. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.10.055.

Gutiérrez-González, S.; Pardo, J.; Robayo, R.; Trejos, L.; Arjona, S. (2012b) 'Lightweight composites based on gypsum with reinforcement of rice husk and polystyrene', pp. 26–32.

Hannawi, K. e Prince-Agbodjan, W. (2015) 'Transfer behaviour and durability of cementitious mortars containing polycarbonate plastic wastes', *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. Taylor & Francis, 8189, pp. 1–15. doi: 10.1080/19648189.2014.960100.

Henriques, F. (2007) "*Humidade em paredes*". Lisboa: LNEC, 168 p. Disponível em: <https://www.wook.pt/livro/humidade-em-paredes-fernando-henriques/223397>.

Ibrahim, M.; Henry, P., Wurtz, E.; Achard, P. (2014a) 'A study on the thermal performance of exterior walls covered with a recently patented silica-aerogel-based insulating coating', *Building and Environment*. Elsevier Ltd, 81, pp. 112–122. doi: 10.1016/j.buildenv.2014.06.017.

Ibrahim, M.; Wurtz, E.; Henry, P.; Achard, P.; Salle, H. (2014b) 'Hygrothermal performance of exterior walls covered with aerogel-based insulating rendering', *Energy & Buildings*. Elsevier B.V., 84, pp. 241–251. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.07.039.

ICEUBI (2017) "Desenvolvimento de argamassas térmicas superisolantes: estudos preliminares". Internacional Congress on Engineering, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal.

IDA (2016) *Isolida*. Disponível em: <http://idaitalia.net/> (Acesso a: 20 de Novembro de 2019).

Index (2016) *Thermomalt*. Disponível em: <https://www.indexspa.it/IT/home.asp> (Acesso a: 20 Novembro 2019).

Index (2017a) *BioThermovent*. Disponível em: <https://www.indexspa.it/IT/home.asp> (Acesso a: 20 Novembro 2019).

Index (2017b) *Thermocap*. Disponível em: <https://www.indexspa.it/IT/home.asp> (Acesso a: 20 Novembro 2019).

Kimia (2017) *Tectoria TH1*. Disponível em: <https://www.kimia.it> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Krus, M. (1996) 'Moisture Transport and Storage Coefficients of Porous Mineral Building Materials', p. 88. Disponível em: [https://wufi.de/literatur/Krus 1996 - Moisture Transport and Storage Coefficients.pdf](https://wufi.de/literatur/Krus%201996%20-%20Moisture%20Transport%20and%20Storage%20Coefficients.pdf).

Künzel, H. M. (1995) 'Simultaneous heat and moisture transport in building components', *One-and two-dimensional calculation using simple parameters*. IRB-Verlag Stuttgart, 65.

Leca (2017) *Termointonaco laterlite base cemento*. Disponível em: <https://www.leca.it> (Acesso a: 20 de Novembro de 2019).

Leca (2019) *Termointonaco laterlite a base calce hidráulica*. Disponível em: <https://www.leca.it> (Acesso a: 20 Novembro 2019).

LNEC (2002) "*Revestimento de paredes. Ensaio de absorção de água sob baixa pressão*". *Ficha de ensaio FE Pa 39.1*. Lisboa, Portugal.

Magalhães, A.; Veiga, M. e Costa, D. (2005) "Caracterização do Estado de Conservação de Revestimentos de Paredes Antigas através de Ensaio in situ-Dois Casos de Estudo", in *VI Simposio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas (SBTA), Florianópolis, Brasil*. Florianópolis: ANTAC, pp. 701–711.

Mahattanatawe, P. e Charuchaimontri, T. (2015) 'Investigation of energy consumption in office building using thermal and hygrothermal simulation models'. Faculty of Architecture , Silpakorn University , Bangkok , Thailand The line numbers are for information only . The last line below should be left blank', (3), pp. 587–594.

Maia, J.; Ramos, N.; Freitas, V.; Sousa, A. (2015) 'Laboratory tests and potential of thermal insulation plasters', *Energy Procedia*. Elsevier B.V., 78, pp. 2724–2729. doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.613.

Maia, J. (2019) '*Durability of Thermal Rendering and Pastering Systems*'. *Tese de Doutoramento em Engenharia Civil*, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2019, volume 1, 335 p.

Malvin (2013a) *Intobio Sughero*. Disponível em: <https://www.malvinsrl.com> (Acesso a: 20 Setembro 2019).

Malvin (2013b) *Intoperl*. Disponível em: <https://www.malvinsrl.com> (Acesso a: 20 Setembro 2019).

Malvin (2013c) *Intosughero*. Disponível em: <https://www.malvinsrl.com> (Acesso a: 20 Setembro 2019).

Malvin (2013d) *Intotherm*. Disponível em: <https://www.malvinsrl.com> (Acesso a: 20 Setembro 2019).

Melo, H. (2014) "*Caracterização experimental do comportamento físico de argamassas de desempenho térmico melhorado*" Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 139 p.

Mendonça, B. V (2007) "*Estudo do desempenho das argamassas hidráulicas: influência do ligante*". Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 94 p.

Menezes, A.; Gomes, M. e Flores-Colen, I. (2015) 'In-situ assessment of physical performance and degradation analysis of rendering walls', *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 75, pp. 283–292. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.11.039.

Mercor Tecresa (2015a) *Tecwool 825*. Disponível em: <https://mercortecresa.com> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Mercor Tecresa (2015b) *Tecwool T*. Disponível em: <https://mercortecresa.com> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

MGN (2017a) *Calciterm MGN*. Disponível em: www.coreconservation.co.uk/ (Acesso a: 20 Novembro 2019).

MGN (2017b) *CanapaTerm MGN*. Disponível em: www.coreconservation.co.uk/ (Acesso a: 20 Novembro 2019).

MGN (2017c) *Coccioterm MGN*. Disponível em: www.coreconservation.co.uk/ (Acesso a: 20 Novembro 2019).

2019).

Monteiro, J.; Aguiar, J.; Bragança, L.; Gomes, J.; Santos, P. (2005) "Utilização de materiais activos em argamassas". *Arte & Construção*, pp. 22–28.

NP 1037-1 (2002) - "Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural" (2002)

Pedroso, M.; Sequeira, P.; Flores-Colen, I.; Silva, L.; Silvestre, J.; Glória, M. (2018) "Argamassas térmicas super-isolantes: análise experimental", pp. 1–12.

Pina dos Santos, C.; Matias, L.; Rosina, E.; Rosi, L.; Grinzato, E. (2002) "Aplicação laboratorial da análise termográfica para visualização da absorção capilar e da secagem de um provete de parede de betão celular autoclavado". Lisboa: LNEC, Janeiro de 2002.

Pinto, A. (2011) "Influência do clima nas condensações superficiais exteriores em fachadas revestidas com ETICS". Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 75 p.

Popescu, D.; Bienert, S.; Schützenhofer, C.; Boazu, R. (2012) 'Impact of energy efficiency measures on the economic value of buildings', *Applied Energy*, 89(1), pp. 454–463. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.08.015>.

Proverbio, E.; Venturi, V. e Messina, S. A. (2005) 'Reliability of nondestructive tests for on site concrete strength assessment', *10DBMC, Lyon, France*.

Puertas, F.; Amat, T.; Fernández-Jiménez, A.; Vázquez, T. (2003) 'Mechanical and durable behaviour of alkaline cement mortars reinforced with polypropylene fibres', *Cement and Concrete Research*, 33(12), pp. 2031–2036. doi: 10.1016/S0008-8846(03)00222-9.

Rallk (2018) *Termo K*. Disponível em: https://www.archiproducts.com/pt/produtos/rallk/reboco-termo-isolante-termo-k_350193 (Acesso a: 20 Novembro 2019).

Ramos, N.; Barreira, E.; Simões, M.; Delgado, J. (2014) 'Probabilistic Risk Assessment Methodology of Exterior Surfaces Defacement Caused by Algae Growth', *Journal of construction engineering and management*, 140(12), p. 5014012.

Portaria n.º 349-B/2013 – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) – Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções; Diário da República – 1ª Série – N.º 232 – 29 de Novembro de 2013. Portaria n.º 349-C/2013 – Elementos para licenciamento; Diário da República – 1ª Série – N.º 233 – 2 de Dezembro de 2013.

Roefix (2019a) *Fixit 222*. Disponível em: <https://www.roefix.it/Prodotti/Sistemi-di-isolamento-termico/Sistemi-di-intonaci-isolanti/FIXIT-222-Aerogel-Intonaco-altamente-isolante> (Acesso a: 15

Novembro 2019).

Rofix (2019b) *Rofix 888*. Disponível em: <https://www.roefix.it> (Acesso a: 20 Novembro 2019)..

Rofix (2019c) *Rofix CalceClima Thermo*. Disponível em: <https://www.roefix.it> (Acesso a: 20 Novembro 2019).

RUBITHERM GmbH - CSM modules (2019). Disponível em: <https://www.rubitherm.eu/en/index.php/productcategory/makroverkaspelung-csm>.

Sá, A.; Azenha, M.; Sousa, H.; Samagaio, A. (2012) 'Thermal enhancement of plastering mortars with Phase Change Materials: Experimental and numerical approach', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 49, pp. 16–27. doi: 10.1016/j.enbuild.2012.02.031.

Sace components (2018) *Corkshield*. Disponível em: <https://www.sacecomponents.com> (Acesso a: 20 Novembro 2019).

Saffari, M.; Garcia, A.; Ushak, S.; Cabeza, L. (2016) 'Economic impact of integrating PCM as passive system in buildings using Fanger comfort model', *Energy and Buildings*, 112, pp. 159–172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.006>.

Santos, L. (2009) "*Análise in-situ do comportamento mecânico de argamassas de revestimento em fachadas*". Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 157 p.

Santos, M. (2013) "*O Cânhamo como material de construção: Viabilidade e Oportunidade*". Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Ciência e tecnologia, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 60 p.

Santos, S. (2009) "*Argamassas pré-doseadas para rebocos de edifícios recentes*". Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 108 p.

Schuss, M.; Pont, U. e Mahdavi, A. (2017) 'Long-term experimental performance evaluation of aerogel insulation plaster', *Energy Procedia*. Elsevier B.V., 132, pp. 508–513. doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.696.

Secil (2019a) *Ecocork lime*. Disponível em: <https://secilpro.com/> (Acesso a: 20 Novembro 2019).

Secil (2019b) *Isodur one*. Disponível em: <https://secilpro.com/> (Acesso a: 20 Novembro 2019).

Sengul, O.; Azizi, S. e Karaosmanoglu, F. (2011) 'Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete', *Energy and Buildings*, 43(2), pp. 671–676. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.11.008>.

Sequeira, P.; Vieira, N.; Silva, L.; Flores-Colen, I. e Soares, A. (2016) 'Comportamento de uma argamassa pré-doseada de isolamento térmico para revestimento de paredes em função de condições de mistura e preparação', (II simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento), p. 8.

Silva, L.; Ribeiro, R.; Labrincha, J.; Ferreira, V. (2010) 'Cement & Concrete Composites Role of lightweight fillers on the properties of a mixed-binder mortar', *Cement and Concrete Composites*.

Silva, M. (2004) 'Influence of Environmental Aging on Properties of Polymeric Mortars', *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16(5), pp. 461–468. doi: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2004)16.

Soares, A.; Júlio, M; Flores-Colen, I.; Ilharco, L.; De Brito, J.; Gaspar Martinha, J. (2015) 'Water-resistance of mortars with lightweight aggregates', 634, pp. 46–53. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.634.46.

Soares, A. (2016) "Análise do comportamento térmico de uma fracção autónoma: Simulação através do EnergyPlus", Curso Avançado em Comportamento Térmico e Acústico de Edifícios. Instituto Superior Técnico p. 36.

Soares, A. (2018) "*Desempenho de argamassas de revestimento com nanoaerogéis de sílica*". Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Julho 2018, volume 1, 317 p.

Stahl, T.; Wakili, K.; Hartmeier, S.; Franov, E.; Niederberger, W. e Zimmermann, M. (2017) 'Temperature and moisture evolution beneath an aerogel based rendering applied to a historic building', *Journal of Building Engineering*. Elsevier Ltd, 12(March 2016), pp. 140–146. doi: 10.1016/j.job.2017.05.016.

Stefanidou, M. (2014) 'Cement-based renders with insulating properties', *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 65, pp. 427–431. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.062.

Mercor Tecresa (2017) *Tecwool F*. Disponível em: <https://mercortecresa.com> (Acesso a: 15 Novembro 2019).

Torres, M. e García-Ruiz, P. (2009) 'Lightweight pozzolanic materials used in mortars: Evaluation of their influence on density, mechanical strength and water absorption', *Cement and Concrete Composites*, 31(2), pp. 114–119. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.11.003>.

Vale, H.; Melo, H.; Soares, A.; Flores-Colen, I.; Glória, G. (2014) 'Performance of industrial thermal insulation renders', *International Masonry Conference 2014*, pp. 1–11.

Veiga, M. (1998) "Comportamento de argamassas de revestimento de paredes: contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação". Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 458 p.

Vejmelková, E.; Keppert, M.; Keršner, Z.; Rovnaníková, P. e Černý, R. (2012) 'Mechanical, fracture-

mechanical, hydric, thermal, and durability properties of lime-metakaolin plasters for renovation of historical buildings', *Construction and Building Materials*, 31, pp. 22–28. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.12.084.

Wakili, K.; Stahl, T.; Heiduk, E.; Schuss, M.; Vonbank, R.; Pont, U. e Sustr, C. (2015) 'High performance aerogel containing plaster for historic buildings with structured façades', *Energy Procedia*. Elsevier B.V., 78(0), pp. 949–954. doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.027.

Walker, R. e Pavía, S. (2015) 'Thermal performance of a selection of insulation materials suitable for historic buildings', *Building and Environment*. Elsevier Ltd, 94, pp. 155–165. doi: 10.1016/j.buildenv.2015.07.033.

Walker, R. and Pavía, S. (2018) 'Thermal and moisture monitoring of an internally insulated historic brick wall', *Building and Environment*. Elsevier, 133(Novembro 2017), pp. 178–186. doi: 10.1016/j.buildenv.2018.02.020.

Wang, R. e Meyer, C. (2012) 'Cement & Concrete Composites Performance of cement mortar made with recycled high impact polystyrene', *Cement and Concrete Composites*. Elsevier Ltd, 34(9), pp. 975–981. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2012.06.014.

Weber (2016a) *Aislone*. Disponível em: <https://www.pt.weber/>. (Acesso a: 20 Novembro 2019).

Weber (2016b) *Webertherm x-light 042*. Disponível em: <https://www.e-weber.it> (Acesso a: 20 Novembro 2019).

Zheng, R.; Janssens, A.; Carmeliet, J.; Bogaerts, W. e Hens, H. (2004) 'An evaluation of highly insulated cold zinc roofs in a moderate humid region—part I: hygrothermal performance', *Construction and Building Materials*, 18(1), pp. 49–59. doi: [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(03\)00025-4](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(03)00025-4).

Anexos

Anexo 1 - Propriedades dos rebocos presentes no mercado Europeu

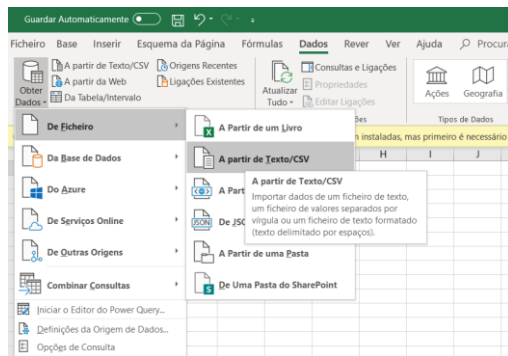
Reboco	Ligante	Material isolante	ρ	f_u	CRF	R_c	C_c	μ	λ	Fonte
Aislone	Cal	Cargas minerais; Cargas leves	150 ± 5	>0,08 (coesiva)	B s1 d0	CS I	<0,4(W1)	≤ 5	0,042	(Weber, 2016a)
Ecocork lime	Cal hidráulica natural	Cortiça	900 ± 50	≥ 0,1 / B	B s1 d0	CS I	W1	≤ 15	T2	(Secil, 2019a)
Isodur one	Ligantes mistos	EPS	455 ± 50	0,1 / B	B s1 d0	CS I	W2	≤ 5	0,05	(Secil, 2019b)
KT 48	Ligante hidráulico	EPS	500	0,1 / B	A1	CS I	<0,4 (W1)	≤ 9	0,083	(Fassa Bortolo, 2016)
Thermocap	Cal	Agregados leves à base de silicatos	550 ± 55	≥ 0,2 / B	A1	1,5 (CS I)	≤0,4 (W1)	8	0,09	(Index, 2017b)
BioThermov ent	Cal hidráulica natural	Agregados leves à base de silicatos	550 ± 50	≥ 0,39 / A	A1	1,3 (CS I)	≤0,4 (W1)	7	0,08	(Index, 2017a)
Thermomalt	Cal hidráulica e cimento	-	900 ± 100	≥ 0,5 / B	A1	>5,0	≤0,4 (W1)	0,2 5	0,18	(Index, 2016)
Rofix 888	Cal aérea e cimento	Agregados minerais leves	450	≥ 0,08 / B	A2 s1 d0	1,0(CS I)	W1	≤ 15	0,1	(Rofix, 2019a)
Coccioterm MGN	Cal hidráulica NHL 3.5	Perlite	290	≥ 0,1	-	1,0(CS I)	-	7,3	0,085	(MGN, 2017c)
Calcitem MGN	NHL	Perlite	435	-	A1	-	-	7	0,063	(MGN, 2017a)
CanapaTerm MGN	Cal	Cânhamo	795	≥ 0,10	A1	-	W0	7	0,052	(MGN, 2017b)
Termointon aco laterite base cimento	Cimento	Vidro expandido	410	≥ 0,14 / B	A1	1,3 (CS I)	W0	10	0,086	(Leca, 2017)
Termointon aco laterite base cal hidráulica	Cal hidráulica NHL 3,5	Vidro expandido	410	≥ 0,14 / B	A1	1,3 (CS I)	1,10	5,6	0,086	(Leca, 2019)
Termopor	Ligantes hidráulicos especiais	EPS	350	-	A2 s1 d0	1,0(CS I)	W0	0,2 5	0,062	(CVR, 2017)
Termo K	Cal hidráulica NHL 3.5	Perlite e sílica expandida	660	≥ 0,10 / B	A1	CS I	W1	5	0,0757	(Rallk, 2018)
Corkshield	Cal	Cortiça	340	≥ 0,1	A1	CS I	-	6	0,060	(Sace components, 2018)
Isolida	Cal hidráulica NHL	Agregados leves	400	≥ 0,05	-	0,8 (CS I)	<0,4 (W1)	4,5	0,076	(IDA, 2016)
Intoperl	Ligantes hidráulicos	Agregados leves	500	≥ 0,3 / A	A1	2,0 (CS I)	W1	6	0,09	(Malvin, 2013b)
Intotherm	Ligantes hidráulicos	EPS	350	≥ 0,3 / A	A1	CS I	W1	9	0,07	(Malvin, 2013d)
Intosughero	Cal hidráulica NHL 3,5	Cortiça	365 ± 20	≥ 0,2	A1	2,0 (CS I)	W1	≤ 5	0,064	(Malvin, 2013c)
Intobio Sughero	Cal	Cortiça	365 ± 20	≥ 0,2 / A	A1	2,5 (CS I)	W1	≤ 5	0,045	(Malvin, 2013a)
Diathonite Evolution	Cal hidráulica NHL 3,5	Cortiça, Argila e terra diatomácea	360 ± 20	≥ 0,1 / B	A1	2,7 (CS II)	<0,4 (W1)	4	0,045	(Diasen, 2017c)
Diathonite Thermactive .037	Cal hidráulica NHL 5,0	Cortiça	250 ±15%	-	A1	2,8 (CS II)	<0,2 (W2)	3	0,037	(Diasen, 2017d)
Diathonite Acoustix	Ligante hidráulico	Cortiça, argila e terra diatomácea	430 ± 30	≥ 0,258 / C	A1	3,0 (CS II)	<0,2 (W2)	4	0,083	(Diasen, 2017a)
Diathonite Deumix+	Cal hidráulica NHL 5,0	Cortiça, argila	360 ± 20%	≥ 0,258 / C	A1	3,11 (CS II)	W0	4	0,080	(Diasen, 2017b)
Diathonite Deumix	Cal hidráulica NHL 5,0	Cortiça, argila e terra diatomácea	450 ± 45	≥ 0,258 / C	A1	3,11 (CS II)	<0,2 (W2)	4	0,080	(Diasen, 2013)

Legenda: ρ – massa volúmica aparente [kg/m³]; f_u – aderência [N/mm²] e tipo de rotura (**A** – rotura adesiva; **B** – rotura coesiva no reboco; **C** – rotura coesiva no suporte); **CRF** – Classe de reação ao fogo (**A1** - produtos não combustíveis; **A2** e **B** – produtos combustíveis; **s1** - classe de produção de fumo; **d0** – classe de produção de gotículas); **D** – durabilidade; R_c – resistência à compressão [N/mm²]; C_c - absorção de água por capilaridade [kg/m².min^{0,5}] (**W0** – C_c não especificado; **W1** – C_c ≤ 0,4; **W2** – C_c ≤ 0,2); μ – coeficiente de resistência à permeabilidade ao vapor; λ – coeficiente de condutibilidade térmica [W/m.°C]; **Nota:** Não foram encontradas rebocos com classe de durabilidade

Anexo 2 - Tratamento de dados no programa Microsoft Excel

Após a edição do ficheiro IDF e da realização da simulação pelo EnergyPlus, é gerado um ficheiro “.CSV” (*comma separated values*) que contém os resultados da simulação em função do tipo de variável de saída. De modo a analisar os resultados obtidos é necessário importar esse ficheiro para o Microsoft Excel e proceder ao tratamento da sua informação, isto é, transformar os resultados separados por vírgulas em resultados organizados em colunas em função de cada variável de saída.



O primeiro passo no processo do tratamento de dados, consiste em carregar o ficheiro “.CSV”, resultante da simulação, para o Microsoft Excel. Para tal no separador “Dados”, o utilizador deverá ir a “Obter Dados – De ficheiro” e seleccionar a opção “a partir do Texto/CSV”.





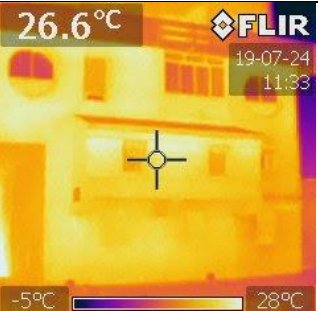


Importação do ficheiro CSV para o Microsoft Excel

De seguida, é pedido ao utilizador que selecione qual o ficheiro .CSV pretendido. Posto isto, é necessário escolher quais as opções de importação do ficheiro, mais precisamente indicar que o delimitador de valores é a vírgula e que se deve basear a deteção do tipo de ficheiro nas primeiras 200 linhas. Por fim, é necessário clicar em “Carregar”.

Anexo 3 - Ficha de inspeção número 1

Ficha de inspeção número: 1		Data de inspeção: 24/07/2019		Hora: 10h 15 min	
Localização: Avenida João Paulo II, nº 554, 1950- 157 Lisboa					
Condições atmosféricas: Sol sem chuva			Sol incidente: Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/>		
Temperatura (°C): 21,9		<5 <input type="checkbox"/>	Entre 5 e 15 <input type="checkbox"/>	>15 <input checked="" type="checkbox"/>	
Humidade Relativa (%): 65,1			Ano de construção: -		
Últimas intervenções: Aplicação de uma solução de reboco térmico pelo exterior numa pequena área de teste. Aplicação feita em duas fases 2014 e 2015, ambas com acabamento azul, mas de tons diferentes					
Distância ao mar: <1km		Solução de isolamento térmico: Aplicação de reboco térmico ISODUR. Na fachada 1 (2014) aplicada à talocha e na fachada 2 (2015) por projeção mecânica			
Nº pisos elevados: 7		Suporte: Estura de betão com panos de alvenaria cerâmica. Blocos de betão leve nas varandas			
Exposição à poluição:		Mínima <input type="checkbox"/>	Baixa <input type="checkbox"/>	Média <input checked="" type="checkbox"/>	Alta <input type="checkbox"/>
Tipo de fachada:		Frontal <input checked="" type="checkbox"/> F2	Empena <input checked="" type="checkbox"/> F1		Tardoz <input type="checkbox"/>
Orientação da fachada		F1: Sudoeste (SW) F2: Noroeste (NW)		Fachadas estudadas: - Fachada 2:	
- Fachada 1:					
Meio:		Rural <input type="checkbox"/>	Urbano <input checked="" type="checkbox"/>	Costeiro <input type="checkbox"/>	Outro <input type="checkbox"/>
Tipos de anomalias					
Localização da anomalia: Zona corrente (ZC), Perto do chão (PC), Janelas e aberturas (JA), Cornija ou Algeroz (CA), Varandas (V), Cantos e esquinas (CE)					
Impacto estético		Reduzido <input checked="" type="checkbox"/>	Médio <input type="checkbox"/>	Alto <input type="checkbox"/>	
Nível de gravidade		0 <input checked="" type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	
Insuficiência do material	Tipo		% Afetada	Localização	
	Fendas				
	Horizontal <input type="checkbox"/> , Vertical <input type="checkbox"/> , Diagonal <input type="checkbox"/> , Mapeada <input type="checkbox"/>				
	Empolamento		<input type="checkbox"/>		
	Destacamento da camada de acabamento		<input type="checkbox"/>		
	Falta de material		<input checked="" type="checkbox"/>	1 a 5 %	ZC
	Descascamento		<input type="checkbox"/>		
	Outro(s)		<input type="checkbox"/>		
Observações: Zonas localizadas com falta de material, associado a vandalismo por apedrejamento e posterior esfarelamento					
Manchas	Tipo		% Afetada	Localização	
	Manchas diferenciais		<input type="checkbox"/>		
	Manchas uniformes		<input type="checkbox"/>		
	Manchas de oxidação		<input type="checkbox"/>		
	Eflorescência		<input type="checkbox"/>		
	Carbonatação		<input type="checkbox"/>		
	Alteração de cor		<input type="checkbox"/>		
	Graffiti		<input checked="" type="checkbox"/>	5 a 25 %	ZC
	Juntas visíveis		<input type="checkbox"/>		
Outro(s)		<input checked="" type="checkbox"/>	1 a 5 %	ZC	
Observações: Zona irregular devido ao deficiente remate da rede do sistema de isolamento.					
Colonização biológica		Sim <input type="checkbox"/>	Não <input checked="" type="checkbox"/>		
Temperatura superficial					
Fachada 1 (°C): 19,6			Fachada 2 (°C): 22,8		
Humidímetro					

Humidímetro 1		Fachada 1 (%): 0				
		Fachada 2 (%): 0				
Humidímetro 2		Fachada 1 (%): 0				
		Fachada 2 (%): 0				
Tubo de Karsten						
Ensaio	Absorção de água (cm ³)					Localização dos tubos de Karsten 
	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	
1	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	
Média (cm ³)	0	0	0	0	0	
Desvio padrão (cm ³)	0	0	0	0	0	
Coefficiente de variação (%)	0	0	0	0	0	
Coefficiente de absorção	0	0	0	0	0	
Observação: absorção de água nulas						
Esclorómetro						
Zona 1: Fachada 1				Local de ensaios:		
Ensaio	Medição1	Medição2	Medição3			
1	51					
2	48					
3	53					
4	38					
5	43					
6	42					
7	49					
8	40					
9	38					
10	53			Observações: Ensaios medidos ao longo de toda a fachada 1, de forma aleatória e nos pontos que se consideraram como notáveis. (descontinuidades, zonas ocas ou perto de zonas com falta de material)		
Média	46					
DP	6					
CV(%)	13					
Zona 2: Fachada 2				Local de ensaios:		
Ensaio	Medição1	Medição2	Medição3			
1	45					
2	50					
3	55					
4	56					
5	54					
6	39					
7	50					
8	42					
9	55					
10	44			Observações: Ensaios medidos ao longo de toda a fachada 2, de forma aleatória e nos pontos que se consideraram interessantes. (descontinuidades, zonas ocas ou perto de zonas com falta de material)		
Média	49					
DP	6					
CV(%)	12					
Termografia						
Imagem 1: Zona intervencionada em 2015						
Aspecto Geral			Termograma			
						


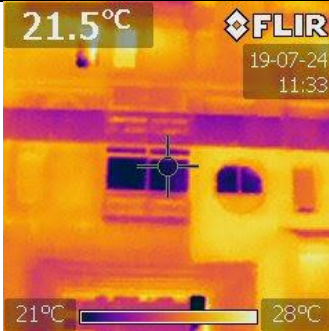
Observações: Fachada 2 intervencionada em 2015. Região homogénea em termos de temperatura. Pontes térmicas não visíveis.

Imagem 2: Zona não intervencionada

Aspecto Geral	Termograma
	

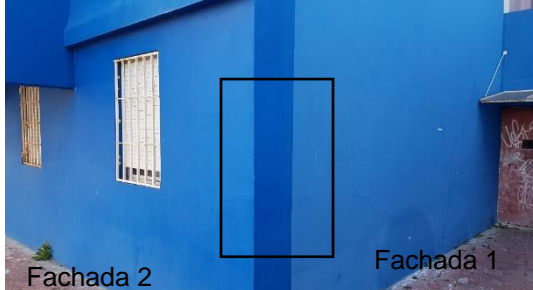
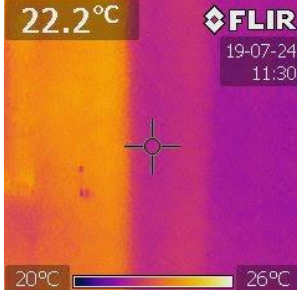
Observações: Aspecto atual (2019) zona não intervencionada. Pontes térmicas visíveis na envolvente da varanda. Zona corrente da varanda com maior temperatura.

Imagem 3: Zona de transição

Aspecto Geral	Termograma
	


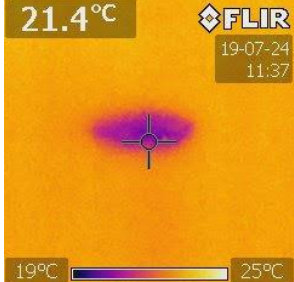
Observações: Diferença de zona intervencionada em 2015 para zona não intervencionada, no espaço de poucos centímetros é possível observar um gradiente térmico significativo.

Imagem 4: Remate da rede da fachada 2 na fachada 1

Aspecto Geral	Termograma
	

Observações: Zona de remate da rede da intervenção da fachada 2 na fachada 1, intervencionada em 2015 e 2014 respectivamente.

Imagem 5: Região onde ocorreu perda de material

Aspecto Geral	Termograma
	

Observações: Região pontual onde foi registado perda de material. Possivelmente associado ao vandalismo, mais precisamente apedrejamento seguido de esfarelamento. A região onde ocorreu perda de material apresenta temperatura inferior face à sua envolvente.

Anexo 4 - Horários definidos no EnergyPlus

Field	WindowProperty: ShadingControl	People	Lights	ZoneInfiltration: DesingFlowRate
<i>Name</i>	On/Off	Office Occupancy Schedule	CASA_ELECTR_SEM	Always On
<i>Schedule Type Limits Name</i>	Estores_sombra	Fraction	Fraction	Fraction
	Through 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
	For: AllDays	For: Weekdays	For: AllDays	For: AllDays
	Until 07:30	Until: 06:00	Until: 01:00	Until: 24:00
	1	0,00	0,1	1
	Until 20:00	Until: 07:00	Until: 08:00	
	0	0,1	0,05	
	Until 24:00	Until: 08:00	Until: 09:30	
	1	0,2	0,3	
		Until: 12:00	Until: 17:30	
		0,95	0,05	
		Until: 13:00	Until: 19:30	
		0,5	0,3	
		Until: 17:00	Until: 22:30	
		0,95	0,8	
		Until: 18:00	Until: 24:00	
		0,3	0,1	
		Until: 20:00		
		0,1		
		Until: 24:00		
		0,05		
		For: SummerDesignDay		
		Until: 06:00		
		0,0		
		Until: 22:00		
		1,0		
		Until: 24:00		
		0,05		
		For: Saturday		
		Until: 06:00		
		0,0		
		Until: 08:00		
		0,1		
		Until: 12:00		
		0,3		
		Until: 17:00		
		0,1		
		Until: 19:00		
		0,0		
		Until: 24:00		
		0,0		
		For: WinterDesignDay		
		Until: 24:00		
		0,0		
		For: Sunday Holidays AllOtherDays		
		Until: 06:00		
		0,0		
		Until: 18:00		
		0,0		
		Until: 24:00		
		0,0		

Anexo 5 - Temperaturas mínimas sem sombreamento

Solução	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro	
	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B
Int_ADIA	14,3	13,1	14,9	13,4	17,2	16,1	19,3	18,0	20,9	20,5	23,3	23,4	26,2	26,2	27,9	26,8	26,4	24,8	22,8	20,9	17,9	16,2	15,9	14,8
EXT-REF	14,8	13,5	15,5	13,7	17,8	16,5	20,1	18,7	21,8	21,2	24,1	24,1	27,3	27,0	28,9	27,6	27,3	25,5	23,7	21,4	18,5	16,6	16,4	15,1
ETICS_e4	15,7	14,6	16,2	14,9	18,5	17,4	20,3	19,2	21,9	21,8	24,1	24,5	27,0	27,3	28,7	28,1	27,3	26,1	24,0	22,3	19,1	17,6	17,2	16,1
ETICS_e6	16,1	14,9	16,5	15,2	18,7	17,7	20,5	19,5	22,1	22,1	24,3	24,7	27,1	27,5	28,9	28,3	27,6	26,4	24,3	22,6	19,4	18,0	17,5	16,4
ETICS_e8	16,3	15,2	16,7	15,5	18,9	17,9	20,6	19,7	22,2	22,3	24,4	24,9	27,2	27,7	29,0	28,5	27,7	26,6	24,5	22,8	19,7	18,2	17,7	16,6
P_dupla_EPS_4	16,2	14,9	16,6	15,2	18,9	17,8	20,8	19,7	22,4	22,3	24,5	24,9	27,5	27,8	29,3	28,6	27,9	26,5	24,5	22,7	19,6	18,0	17,6	16,4
P_dupla_EPS_6	16,4	15,2	16,8	15,5	19,1	18,0	20,9	19,9	22,5	22,5	24,6	25,1	27,6	28,0	29,4	28,7	28,0	26,7	24,7	22,9	19,8	18,2	17,8	16,7
P_dupla_EPS_8	16,5	15,4	17,0	15,7	19,2	18,1	21,0	20,0	22,6	22,6	24,7	25,2	27,6	28,1	29,4	28,9	28,1	26,9	24,8	23,1	19,9	18,4	18,0	16,8
ISODUR_e4	15,3	14,1	15,8	14,3	18,1	17,0	20,0	18,8	21,6	21,4	23,8	24,2	26,7	27,0	28,4	27,7	27,0	25,7	23,6	21,8	18,7	17,2	16,7	15,6
ISODUR_e4_i4	15,4	14,1	16,0	14,4	18,3	17,1	20,4	19,2	22,0	21,6	24,3	24,4	27,3	27,3	29,0	28,0	27,5	25,9	24,0	21,9	19,0	17,2	16,9	15,7
ISODUR_e4_i2	15,6	14,4	16,1	14,7	18,4	17,3	20,2	19,2	21,8	21,7	24,0	24,4	26,9	27,2	28,6	27,9	27,2	26,0	23,8	22,1	19,0	17,5	17,1	16,0
ISODUR_e2_i2	15,4	14,2	15,9	14,5	18,2	17,1	20,1	19,0	21,6	21,5	23,9	24,2	26,8	27,0	28,5	27,8	27,1	25,8	23,7	21,9	18,8	17,3	16,9	15,8
AISLONE_e4	15,0	13,9	15,6	14,2	17,9	16,8	19,9	18,7	21,4	21,2	23,8	24,0	26,7	26,8	28,3	27,5	26,9	25,5	23,4	21,6	18,6	17,0	16,6	15,5
AISLONE_e4_i4	15,5	14,3	16,1	14,6	18,5	17,3	20,5	19,3	22,1	21,8	24,4	24,6	27,4	27,4	29,0	28,1	27,6	26,1	24,1	22,1	19,1	17,4	17,1	15,9
AISLONE_e4_i2	15,8	14,7	16,3	15,0	18,6	17,6	20,4	19,4	21,9	21,9	24,2	24,6	27,0	27,4	28,7	28,1	27,4	26,2	24,1	22,3	19,2	17,7	17,3	16,2
AISLONE_e2_i2	15,6	14,5	16,1	14,8	18,4	17,3	20,2	19,2	21,8	21,7	24,1	24,4	26,9	27,2	28,6	28,0	27,2	26,0	23,9	22,1	19,0	17,5	17,1	16,0
AISLONE_e2_i4	15,3	14,1	15,8	14,4	18,1	17,0	20,0	18,9	21,6	21,4	23,9	24,2	26,8	27,0	28,5	27,7	27,0	25,7	23,6	21,8	18,8	17,2	16,8	15,7
EVOLUTION_e4	15,6	14,4	16,1	14,7	18,3	17,3	20,2	19,1	21,7	21,7	24,0	24,4	26,9	27,2	28,6	27,9	27,2	26,0	23,9	22,1	19,0	17,5	17,0	15,9
EVOLUTION_e4_i4	15,6	14,4	16,2	14,7	18,5	17,3	20,5	19,4	22,1	21,9	24,4	24,6	27,4	27,5	29,1	28,2	27,6	26,1	24,1	22,2	19,2	17,5	17,1	16,0
EVOLUTION_e4_i2	15,9	14,8	16,4	15,1	18,7	17,6	20,4	19,5	22,0	22,0	24,2	24,7	27,0	27,4	28,8	28,2	27,5	26,3	24,1	22,4	19,3	17,8	17,4	16,3
EVOLUTION_e2_i2	15,7	14,6	16,2	14,9	18,5	17,4	20,3	19,3	21,8	21,8	24,1	24,5	26,9	27,3	28,7	28,0	27,3	26,1	24,0	22,2	19,1	17,6	17,2	16,1
EVOLUTION_e2_i4	15,4	14,2	15,9	14,5	18,2	17,1	20,1	19,0	21,6	21,5	23,9	24,3	26,8	27,0	28,5	27,8	27,1	25,8	23,7	21,9	18,8	17,3	16,9	15,8
FIXIT222_e4	15,9	14,8	16,4	15,1	18,6	17,6	20,4	19,4	22,0	22,0	24,2	24,6	27,0	27,4	28,8	28,2	27,5	26,3	24,2	22,5	19,3	17,9	17,4	16,3
FIXIT222_e4_i4	15,9	14,7	16,5	15,0	18,8	17,6	20,7	19,6	22,2	22,1	24,5	24,8	27,4	27,6	29,1	28,4	27,7	26,4	24,3	22,5	19,4	17,8	17,4	16,3
FIXIT222_e4_i2	16,2	15,2	16,7	15,5	19,0	18,0	20,7	19,7	22,2	22,3	24,4	24,9	27,2	27,6	29,0	28,5	27,7	26,6	24,4	22,8	19,6	18,2	17,7	16,6
FIXIT222_e2_i2	16,1	15,0	16,6	15,3	18,8	17,8	20,5	19,6	22,1	22,1	24,3	24,8	27,1	27,5	28,8	28,3	27,5	26,4	24,3	22,6	19,5	18,0	17,5	16,4
FIXIT222_e2_i4	15,7	14,6	16,2	14,9	18,5	17,5	20,3	19,3	21,8	21,8	24,1	24,5	27,0	27,3	28,7	28,0	27,3	26,1	24,0	22,2	19,1	17,6	17,2	16,1
Hemp_e4	15,1	13,9	15,6	14,1	17,9	16,8	19,8	18,6	21,4	21,2	23,7	24,0	26,7	26,8	28,4	27,5	26,9	25,5	23,4	21,6	18,5	16,9	16,6	15,4
Hemp_e4_i4	14,8	13,7	15,4	14,0	17,7	16,6	19,7	18,5	21,2	21,0	23,6	23,8	26,5	26,6	28,2	27,3	26,7	25,3	23,3	21,4	18,4	16,8	16,4	15,3
Hemp_e4_i2	15,4	14,2	15,9	14,5	18,2	17,1	20,1	18,9	21,6	21,5	23,9	24,2	26,8	27,0	28,5	27,8	27,1	25,7	23,7	21,9	18,8	17,2	16,9	15,7
Hemp_e2_i2	15,2	14,0	15,7	14,3	18,1	16,9	19,9	18,8	21,5	21,3	23,8	24,1	26,7	26,9	28,4	27,6	27,0	25,6	23,5	21,7	18,6	17,1	16,7	15,6
Hemp_e2_i4	14,9	13,7	15,5	14,0	17,8	16,7	19,8	18,6	21,4	21,1	23,7	23,9	26,7	26,7	28,3	27,4	26,8	25,4	23,4	21,4	18,4	16,8	16,5	15,3

Anexo 6 - Temperaturas mínimas com sombreamento

Solução	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro	
	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B
Int_ADIA	14,1	13,0	14,6	13,2	16,9	15,8	18,9	17,6	20,2	19,9	22,7	22,7	25,4	25,3	27,2	26,3	26,0	24,5	22,5	20,6	17,7	16,1	15,8	14,7
EXT-REF	14,6	13,3	15,2	13,5	17,5	16,2	19,6	18,3	21,1	20,5	23,4	23,3	26,4	26,0	28,1	26,9	26,8	25,0	23,2	21,1	18,3	16,5	16,3	15,0
ETICS_e4	15,5	14,4	16,0	14,6	18,1	17,1	19,8	18,8	21,1	21,0	23,4	23,6	26,0	26,2	27,9	27,3	26,9	25,6	23,6	21,9	18,9	17,4	17,0	16,0
ETICS_e6	15,9	14,7	16,3	14,9	18,4	17,3	20,0	19,0	21,3	21,3	23,5	23,8	26,1	26,4	28,1	27,6	27,1	25,9	23,9	22,2	19,2	17,7	17,3	16,3
ETICS_e8	16,1	15,0	16,5	15,2	18,6	17,5	20,2	19,2	21,4	21,4	23,6	23,9	26,2	26,5	28,2	27,7	27,3	26,1	24,1	22,4	19,4	18,0	17,6	16,5
P_dupla_EPS_4	15,9	14,7	16,3	14,9	18,5	17,4	20,3	19,2	21,6	21,4	23,7	23,9	26,5	26,7	28,4	27,8	27,4	26,0	24,1	22,3	19,3	17,7	17,5	16,3
P_dupla_EPS_6	16,2	15,0	16,6	15,2	18,7	17,6	20,4	19,3	21,7	21,6	23,8	24,1	26,5	26,8	28,5	27,9	27,5	26,2	24,3	22,5	19,5	18,0	17,7	16,5
P_dupla_EPS_8	16,3	15,1	16,7	15,4	18,8	17,7	20,5	19,5	21,7	21,7	23,9	24,2	26,5	26,9	28,5	28,0	27,6	26,3	24,4	22,7	19,7	18,2	17,8	16,7
ISODUR_e4	15,1	13,9	15,5	14,1	17,7	16,6	19,5	18,4	20,8	20,6	23,1	23,3	25,8	26,0	27,7	27,0	26,6	25,2	23,2	21,5	18,5	17,0	16,6	15,5
ISODUR_e4_i4	15,1	13,9	15,7	14,2	18,0	16,8	19,9	18,7	21,2	20,8	23,6	23,5	26,4	26,3	28,2	27,3	27,0	25,5	23,6	21,6	18,7	17,1	16,8	15,6
ISODUR_e4_i2	15,4	14,2	15,8	14,5	18,1	17,0	19,8	18,7	21,0	20,9	23,3	23,5	25,9	26,1	27,8	27,2	26,8	25,5	23,5	21,7	18,8	17,3	16,9	15,8
ISODUR_e2_i2	15,2	14,0	15,6	14,3	17,9	16,8	19,6	18,5	20,9	20,7	23,2	23,4	25,9	26,0	27,7	27,1	26,7	25,3	23,3	21,5	18,6	17,1	16,7	15,6
ISLONE_e4	14,9	13,7	15,4	14,0	17,6	16,5	19,5	18,3	20,7	20,5	23,1	23,2	25,8	25,8	27,6	26,8	26,5	25,1	23,1	21,3	18,4	16,8	16,5	15,4
AISLONE_e4	15,3	14,1	15,7	14,3	17,9	16,8	19,7	18,5	21,0	20,8	23,2	23,4	25,9	26,0	27,8	27,1	26,7	25,4	23,4	21,6	18,7	17,1	16,8	15,7
AISLONE_e4_i4	15,3	14,1	15,9	14,4	18,1	16,9	20,0	18,8	21,3	21,0	23,6	23,6	26,4	26,3	28,2	27,4	27,1	25,6	23,7	21,7	18,9	17,2	16,9	15,8
AISLONE_e4_i2	15,6	14,5	16,1	14,7	18,3	17,2	19,9	18,9	21,1	21,1	23,4	23,6	26,0	26,2	27,9	27,4	27,0	25,7	23,7	22,0	19,0	17,5	17,2	16,1
AISLONE_e2_i2	15,4	14,3	15,9	14,5	18,1	17,0	19,8	18,7	21,0	20,9	23,3	23,5	25,9	26,1	27,8	27,2	26,8	25,5	23,5	21,8	18,8	17,3	17,0	15,9
AISLONE_e2_i4	15,1	13,9	15,6	14,2	17,8	16,7	19,6	18,4	20,8	20,6	23,2	23,3	25,											

Anexo 7 - Temperaturas máximas sem sombreamento

Solução	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro	
	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B
Int_ADIA	21,4	18,9	21,7	19,9	24,2	22,4	26,0	25,5	28,4	28,4	29,9	30,2	32,5	32,6	32,8	32,0	33,4	31,6	30,9	28,7	25,9	23,5	23,4	20,5
EXT-REF	22,1	19,1	22,4	20,3	25,0	22,9	26,8	26,1	29,3	29,3	30,7	30,9	33,4	33,3	33,8	32,6	34,3	32,2	31,7	29,3	26,7	24,0	24,1	20,9
ETICS_e4	22,3	20,1	22,6	20,9	24,9	23,4	26,5	26,3	28,7	28,7	30,6	31,2	32,9	33,3	33,4	32,8	33,9	32,6	32,0	30,1	27,1	25,0	24,1	21,5
ETICS_e6	22,6	20,5	22,8	21,2	25,0	23,6	26,6	26,4	28,8	28,8	30,7	31,4	33,0	33,5	33,5	33,0	34,0	32,9	32,2	30,4	27,4	25,3	24,3	21,7
ETICS_e8	22,7	20,7	22,9	21,4	25,1	23,8	26,7	26,6	28,9	28,9	30,8	31,5	33,1	33,6	33,6	33,2	34,1	33,0	32,3	30,6	27,6	25,6	24,4	21,9
P_dupla_EPS_4	22,8	20,4	23,0	21,3	25,3	23,8	27,0	26,7	29,3	29,3	31,0	31,6	33,4	33,8	34,0	33,2	34,5	33,1	32,5	30,5	27,6	25,4	24,6	21,8
P_dupla_EPS_6	22,9	20,6	23,1	21,5	25,4	23,9	27,0	26,8	29,3	29,3	31,1	31,7	33,4	33,8	34,0	33,4	34,5	33,2	32,6	30,7	27,8	25,6	24,7	22,0
P_dupla_EPS_8	23,0	20,8	23,2	21,6	25,4	24,1	27,0	26,9	29,3	29,3	31,1	31,8	33,4	33,9	34,0	33,5	34,5	33,3	32,7	30,9	27,9	25,8	24,7	22,1
ISODUR_e4	22,0	19,7	22,3	20,6	24,6	23,1	26,4	26,0	28,6	28,6	30,3	30,9	32,8	33,1	33,2	32,5	33,8	32,3	31,6	29,7	26,7	24,5	23,8	21,1
ISODUR_e4_j4	22,6	19,8	22,9	21,0	25,4	23,7	27,1	26,7	29,5	29,5	31,0	31,5	33,5	33,8	34,0	33,1	34,6	32,9	32,2	30,0	27,2	24,8	24,5	21,6
ISODUR_e4_j2	22,4	20,1	22,8	21,1	25,1	23,6	26,7	26,6	28,9	28,9	30,7	31,4	33,1	33,5	33,5	33,0	34,1	32,8	32,1	30,2	27,1	25,0	24,2	21,6
ISODUR_e2_j2	22,3	19,9	22,6	20,9	24,9	23,4	26,6	26,4	28,9	28,9	30,5	31,2	33,0	33,4	33,4	32,8	34,0	32,6	31,9	29,9	26,9	24,8	24,1	21,4
ISODUR_e2_j2	22,1	19,7	22,4	20,7	24,8	23,2	26,5	26,3	28,8	28,8	30,4	31,0	32,9	33,3	33,3	32,7	34,0	32,4	31,7	29,7	26,7	24,4	24,0	21,2
AISLONE_e4	22,1	19,8	22,4	20,8	24,7	23,2	26,4	26,2	28,6	28,6	30,4	31,0	32,8	33,2	33,3	32,6	33,8	32,5	31,8	29,8	26,7	24,7	23,9	21,3
AISLONE_j4	22,7	20,1	23,0	21,2	25,5	23,8	27,2	26,9	29,5	29,5	31,1	31,6	33,6	33,9	34,0	33,3	34,6	33,0	32,3	30,2	27,3	25,0	24,6	21,7
AISLONE_e4_j4	22,6	20,4	22,9	21,4	25,2	23,8	26,8	26,7	29,0	29,0	30,8	31,5	33,2	33,7	33,6	33,2	34,3	33,0	32,2	30,4	27,3	25,3	24,4	21,8
AISLONE_e2_j2	22,4	20,1	22,8	21,2	25,1	23,6	26,7	26,6	28,9	28,9	30,7	31,4	33,0	33,5	33,5	33,0	34,1	32,8	32,1	30,2	27,1	25,0	24,2	21,6
AISLONE_e2_j2	22,2	19,9	22,6	20,9	24,9	23,4	26,6	26,4	28,9	28,9	30,5	31,2	33,0	33,4	33,4	32,8	34,0	32,6	31,9	29,9	26,9	24,7	24,1	21,4
EVOLUTION_e4	22,2	19,9	22,5	20,8	24,8	23,3	26,4	26,2	28,7	28,7	30,5	31,1	32,8	33,2	33,3	32,7	33,9	32,5	31,9	30,0	27,0	24,8	24,0	21,3
EVOLUTION_j4	22,7	20,2	23,0	21,3	25,5	23,9	27,2	26,9	29,5	29,5	31,1	31,6	33,6	33,9	34,0	33,3	34,7	33,1	32,4	30,3	27,4	25,1	24,6	21,8
EVOLUTION_e4_j4	22,7	20,5	23,0	21,4	25,2	23,9	26,9	26,8	29,0	29,0	30,8	31,6	33,2	33,7	33,7	33,3	34,3	33,1	32,3	30,5	27,4	25,4	24,4	21,9
EVOLUTION_e4_j2	22,5	20,2	22,8	21,2	25,1	23,7	26,7	26,6	28,9	28,9	30,7	31,4	33,1	33,6	33,6	33,1	34,2	32,9	32,1	30,3	27,2	25,1	24,3	21,7
EVOLUTION_e2_j2	22,3	19,9	22,6	21,0	25,0	23,5	26,7	26,5	28,9	28,9	30,6	31,2	33,0	33,4	33,5	32,9	34,1	32,7	31,9	30,0	27,0	24,8	24,1	21,5
FIXIT222_e4	22,4	20,3	22,7	21,1	24,9	23,5	26,6	26,4	28,7	28,7	30,6	31,3	32,9	33,4	33,5	32,9	34,0	32,8	32,1	30,3	27,3	25,2	24,2	21,6
FIXIT222_e4_j4	22,9	20,5	23,2	21,6	25,6	24,1	27,3	27,1	29,5	29,5	31,2	31,8	33,6	34,1	34,1	33,5	34,7	33,3	32,5	30,6	27,6	25,4	24,8	22,0
FIXIT222_e4_j2	23,0	20,8	23,2	21,8	25,4	24,2	27,0	27,0	29,2	29,2	31,0	31,8	33,3	34,0	33,8	33,5	34,4	33,3	32,5	30,8	27,7	25,8	24,6	22,2
FIXIT222_e2_j2	22,8	20,7	23,1	21,5	25,3	24,0	26,9	26,9	29,1	29,1	30,9	31,7	33,2	33,8	33,7	33,3	34,3	33,2	32,4	30,6	27,5	25,5	24,5	22,0
FIXIT222_e2_j2	22,6	20,4	22,9	21,3	25,2	23,8	26,8	26,7	29,0	29,0	30,7	31,5	33,1	33,6	33,6	33,1	34,2	33,0	32,2	30,3	27,3	25,2	24,3	21,8
Hemp_e4	21,9	19,5	22,2	20,4	24,5	22,9	26,3	25,9	28,6	28,3	30,3	30,7	32,7	33,0	33,2	32,4	33,7	32,2	31,5	29,5	26,6	24,3	23,7	20,9
Hemp_j4	21,9	19,4	22,2	20,5	24,7	23,0	26,4	26,1	28,7	28,5	30,3	30,8	32,8	33,1	33,2	32,5	33,8	32,2	31,5	29,4	26,5	24,2	23,8	21,1
Hemp_e4_j4	22,2	19,9	22,6	20,9	24,9	23,4	26,6	26,3	28,8	28,7	30,5	31,1	33,0	33,4	33,4	32,8	34,0	32,6	31,9	30,0	26,9	24,8	24,0	21,4
Hemp_e4_j2	22,1	19,7	22,4	20,7	24,8	23,2	26,5	26,2	28,8	28,5	30,4	31,0	32,9	33,2	33,3	32,6	33,9	32,4	31,8	29,8	26,8	24,5	23,9	21,2
Hemp_e2_j2	21,9	19,5	22,3	20,5	24,7	23,0	26,4	26,1	28,7	28,5	30,4	30,8	32,9	33,1	33,3	32,5	33,9	32,3	31,6	29,5	26,6	24,3	23,8	21,0

Anexo 8 - Temperaturas máximas com sombreamento

Solução	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro	
	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B
Int_ADIA	21,1	18,7	21,3	19,6	23,8	22,0	25,5	24,9	27,5	27,5	29,1	29,2	31,6	31,7	32,0	31,2	33,0	31,0	30,5	28,3	25,5	23,1	23,1	20,3
EXT-REF	21,8	18,9	21,9	19,9	24,5	22,4	26,2	25,4	28,3	28,3	29,9	29,8	32,4	32,3	32,9	31,8	33,8	31,5	31,2	28,8	26,2	23,6	23,8	20,7
ETICS_e4	22,1	19,9	22,2	20,4	24,5	22,8	25,9	25,5	27,7	27,7	29,6	30,0	32,0	32,3	32,7	32,0	33,5	31,9	31,5	29,6	26,7	24,5	23,8	21,2
ETICS_e6	22,3	20,1	22,4	20,7	24,6	23,0	26,0	25,6	27,8	27,8	29,7	30,2	32,1	32,4	32,8	32,2	33,6	32,0	31,7	29,8	27,0	24,9	24,0	21,4
ETICS_e8	22,5	20,4	22,5	20,8	24,7	23,2	26,1	25,7	27,8	27,8	29,8	30,3	32,1	32,5	32,9	32,3	33,7	32,2	31,9	30,0	27,2	25,1	24,1	21,6
P_dupla_EPS_4	22,5	20,1	22,6	20,7	24,9	23,2	26,3	25,8	28,2	28,2	30,1	30,4	32,4	32,6	33,1	32,4	34,0	32,2	32,0	30,0	27,2	24,9	24,3	21,5
P_dupla_EPS_6	22,7	20,4	22,7	20,9	25,0	23,3	26,4	25,9	28,2	28,2	30,1	30,5	32,4	32,7	33,2	32,5	34,0	32,3	32,1	30,1	27,4	25,1	24,4	21,7
P_dupla_EPS_8	22,8	20,5	22,8	21,0	25,0	23,4	26,4	26,0	28,2	28,2	30,1	30,6	32,4	32,8	33,2	32,6	34,0	32,4	32,2	30,3	27,5	25,3	24,5	21,8
ISODUR_e4	21,7	19,5	21,9	20,1	24,2	22,5	25,7	25,3	27,6	27,6	29,5	29,8	31,8	32,0	32,5	31,7	33,3	31,6	31,2	29,2	26,3	24,1	23,6	20,9
ISODUR_e4_j4	22,3	19,6	22,4	20,5	24,9	23,1	26,5	25,9	28,4	28,4	30,1	30,3	32,3	32,7	33,1	32,3	34,1	32,1	31,7	29,5	26,8	24,3	24,2	21,3
ISODUR_e4_j2	22,2	19,9	22,4	20,6	24,7	23,1	26,1	25,7	27,9	27,9	29,7	30,2	32,1	32,5	32,8	32,2	33,7	32,0	31,6	29,6	26,8	24,5	24,0	21,3
ISODUR_e2_j2	22,0	19,7	22,2	20,4	24,5	22,9	26,0	25,6	27,9	27,9	29,6	30,0	32,0	32,3	32,7	32,0	33,6	31,9	31,5	29,4	26,6	24,3	23,8	21,2
ISODUR_e2_j2	21,8	19,4	22,0	20,2	24,4	22,7	25,9	25,5	27,8	27,8	29,6	29,9	31,9	32,2	32,6	31,9	33,5	31,7	31,3	29,2	26,3	24,0	23,7	21,0
AISLONE_e4	21,9	19,6	22,0	20,3	24,3	22,7	25,8	25,4	27,7	27,7	29,5	29,9	31,9	32,1	32,5	31,9	33,4	31,7	31,4	29,3	26,5	24,3	23,7	21,0
AISLONE_j4	22,4	19,8	22,6	20,7	25,0	23,2	26,5	26,0	28,5	28,5	30,1	30,4	32,5	32,8	33,2	32,4	34,1	32,2	31,9	29,7	26,9	24,5	24,3	21,5
AISLONE_e4_j4	22,4	20,1	22,5	20,8	24,8	23,3	26,2	25,9	28,0	28,0	29,8	30,4	32,2	32,6	32,9	32,4	33,8	32,2	31,8	29,9	27,0	24,8	24,1	21,5
AISLONE_e2_j2	22,2	19,9	22,4	20,6	24,7	23,1	26,1	25,7	27,9	27,9	29,7	30,2	32,1											

Anexo 9 - Humidades relativas mínimas sem sombreamento

Solução	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro	
	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B
Int_ADIA	36,1	41,0	33,5	36,2	32,1	35,0	31,1	33,1	30,7	30,7	30,5	30,2	23,4	24,0	19,3	19,8	28,6	31,6	33,0	36,5	29,8	35,0	36,8	40,8
EXT-REF	34,7	40,2	32,2	35,3	30,7	34,1	29,3	31,9	29,2	29,2	29,2	29,1	22,2	23,0	18,4	19,0	27,5	30,7	31,5	35,4	28,7	34,1	35,3	39,9
ETICS_e4	34,4	38,5	31,6	33,8	30,9	33,3	29,7	31,7	29,4	29,4	29,6	28,8	22,2	22,2	18,6	18,8	27,5	29,8	31,2	33,8	28,4	32,7	34,7	37,9
ETICS_e6	33,9	37,8	31,2	33,3	30,6	32,9	29,4	31,3	29,2	29,2	29,4	28,5	22,0	21,9	18,5	18,6	27,3	29,4	30,7	33,3	28,1	32,2	34,1	37,3
ETICS_e8	33,6	37,4	30,9	33,0	30,4	32,7	29,2	31,1	29,0	29,0	29,3	28,4	21,8	21,7	18,4	18,5	27,1	29,1	30,4	32,9	27,9	31,8	33,8	36,9
P_dupla_EPS_4	33,4	37,8	30,8	33,2	30,1	32,7	28,7	31,0	28,6	28,6	28,9	28,2	21,5	21,6	18,1	18,3	26,9	29,2	30,4	33,1	27,8	32,1	33,8	37,3
P_dupla_EPS_6	33,2	37,4	30,6	32,8	30,0	32,4	28,6	30,7	28,5	28,5	28,8	28,1	21,5	21,4	18,1	18,2	26,8	28,9	30,1	32,7	27,6	31,7	33,5	36,8
P_dupla_EPS_8	33,0	37,1	30,4	32,6	29,8	32,2	28,6	30,6	28,4	28,4	28,8	27,9	21,4	21,3	18,1	18,2	26,7	28,8	29,9	32,4	27,5	31,4	33,2	36,5
ISODUR_e4	35,0	39,3	32,2	34,5	31,3	33,9	30,2	32,2	29,8	29,8	29,9	29,3	22,6	22,8	18,8	19,1	27,9	30,4	31,9	34,8	28,9	33,5	35,4	38,8
ISODUR_i4	34,1	39,0	31,5	34,2	30,3	33,3	29,1	31,2	28,9	28,9	28,9	28,4	21,9	22,2	18,1	18,5	27,1	29,8	31,0	34,3	28,1	32,9	34,3	38,6
ISODUR_e4_i4	34,4	38,7	31,7	33,9	30,9	33,3	29,8	31,5	29,4	29,4	29,4	28,6	22,2	22,2	18,5	18,7	27,5	29,7	31,3	34,1	28,3	32,8	34,6	38,1
ISODUR_e4_i2	34,7	39,0	31,9	34,2	31,1	33,6	30,0	31,8	29,6	29,6	29,6	28,9	22,4	22,5	18,6	18,8	27,6	30,0	31,6	34,5	28,6	33,1	35,0	38,5
ISODUR_e2_i2	35,0	39,6	32,3	34,7	31,3	33,9	30,2	32,0	29,9	29,9	29,7	29,1	22,6	22,8	18,7	19,0	27,8	30,4	32,0	35,0	28,8	33,6	35,3	39,1
AISLONE_e4	34,7	39,0	31,9	34,2	31,2	33,7	30,0	31,9	29,7	29,7	29,8	29,1	22,4	22,6	18,7	19,0	27,7	30,1	31,6	34,4	28,7	33,2	35,1	38,5
AISLONE_i4	33,8	38,6	31,3	33,9	30,2	33,0	29,0	31,0	28,8	28,8	28,8	28,2	21,8	22,0	18,1	18,4	27,0	29,6	30,9	34,0	28,0	32,6	34,1	38,2
AISLONE_e4_i4	34,0	38,1	31,3	33,4	30,7	33,0	29,5	31,2	29,2	29,2	29,3	28,4	22,0	22,0	18,4	18,5	27,3	29,4	30,9	33,6	28,1	32,3	34,2	37,6
AISLONE_e4_i2	34,4	38,6	31,6	33,8	30,9	33,3	29,8	31,5	29,4	29,4	29,4	28,6	22,2	22,2	18,5	18,7	27,5	29,7	31,2	34,0	28,3	32,7	34,6	38,0
AISLONE_e2_i2	34,7	39,1	32,0	34,3	31,1	33,6	30,0	31,8	29,7	29,7	29,6	28,9	22,4	22,6	18,6	18,9	27,7	30,1	31,7	34,6	28,6	33,2	35,0	38,6
EVOLUTION_e4	34,6	38,8	31,8	34,0	31,1	33,5	29,9	31,9	29,6	29,6	29,7	29,0	22,3	22,4	18,7	18,9	27,7	30,0	31,4	34,2	28,6	33,0	34,9	38,2
EVOLUTION_i4	33,8	38,5	31,2	33,8	30,2	33,0	28,9	30,9	28,7	28,7	28,8	28,1	21,7	22,0	18,1	18,4	27,0	29,5	30,8	33,9	27,9	32,5	34,0	38,1
EVOLUTION_e4_i4	33,9	38,0	31,2	33,3	30,6	32,9	29,5	31,2	29,2	29,2	29,2	28,3	22,0	21,9	18,4	18,5	27,2	29,3	30,8	33,4	28,0	32,2	34,1	37,4
EVOLUTION_e4_i2	34,3	38,4	31,5	33,7	30,8	33,2	29,7	31,4	29,4	29,4	29,4	28,5	22,1	22,1	18,5	18,6	27,4	29,6	31,1	33,8	28,2	32,6	34,4	37,8
EVOLUTION_e2_i2	34,6	39,0	31,9	34,2	31,1	33,6	29,9	31,7	29,6	29,6	29,5	28,8	22,3	22,5	18,6	18,8	27,6	30,0	31,6	34,4	28,5	33,1	34,9	38,5
FIXIT222_e4	34,1	38,1	31,3	33,5	30,8	33,1	29,6	31,5	29,3	29,3	29,5	28,7	22,1	22,0	18,6	18,7	27,4	29,5	30,9	33,5	28,3	32,4	34,4	37,5
FIXIT222_i4	33,5	38,0	30,9	33,3	30,0	32,6	28,8	30,6	28,5	28,5	28,7	27,9	21,6	21,7	18,0	18,2	26,8	29,2	30,5	33,4	27,7	32,0	33,6	37,5
FIXIT222_e4_i4	33,5	37,4	30,7	32,8	30,3	32,5	29,2	30,7	28,9	28,9	29,0	27,9	21,7	21,5	18,3	18,3	27,0	28,9	30,3	32,8	27,7	31,6	33,5	36,8
FIXIT222_e4_i2	33,7	37,7	31,0	33,1	30,5	32,7	29,4	31,0	29,1	29,1	29,1	28,2	21,9	21,7	18,4	18,4	27,1	29,2	30,6	33,2	27,9	31,9	33,9	37,1
FIXIT222_e2_i2	34,1	38,3	31,4	33,6	30,7	33,1	29,6	31,3	29,3	29,3	29,3	28,4	22,1	22,1	18,5	18,6	27,3	29,5	31,1	33,8	28,2	32,5	34,3	37,8
Hemp_e4	35,2	39,8	32,5	34,9	31,5	34,2	30,3	32,4	29,8	30,0	30,0	29,5	22,7	23,0	18,8	19,2	28,0	30,6	32,1	35,2	29,1	34,0	35,7	39,3
Hemp_i4	35,3	40,0	32,7	35,1	31,6	34,2	30,5	32,4	29,9	30,2	30,0	29,4	22,8	23,1	18,9	19,2	28,0	30,7	32,3	35,4	29,1	34,1	35,7	39,5
Hemp_e4_i4	34,7	39,1	32,0	34,3	31,2	33,7	30,0	31,9	29,7	29,7	29,6	29,0	22,3	22,5	18,6	18,9	27,7	30,0	31,6	34,5	28,6	33,3	35,0	38,6
Hemp_e4_i2	35,0	39,4	32,2	34,6	31,4	34,0	30,1	32,2	29,8	29,9	29,8	29,2	22,5	22,7	18,7	19,0	27,8	30,3	31,9	34,8	28,8	33,6	35,3	38,9
Hemp_e2_i2	35,2	39,9	32,5	35,0	31,5	34,2	30,3	32,3	29,8	30,0	29,9	29,4	22,7	23,0	18,8	19,1	28,0	30,6	32,2	35,3	29,0	34,0	35,6	39,4

Anexo 10 - Humidades relativas mínimas com sombreamento

Solução	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro	
	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B
Int_ADIA	38,6	41,2	34,3	36,6	32,9	35,5	31,8	34,2	32,1	32,1	31,6	31,7	24,6	25,2	20,2	20,6	29,2	32,3	33,9	37,3	30,2	35,5	37,2	41,1
EXT-REF	35,3	40,5	33,1	35,9	31,6	34,7	30,3	33,2	30,7	30,7	30,5	30,8	23,5	24,3	19,3	19,9	28,2	31,5	32,5	36,3	29,3	34,7	35,9	40,3
ETICS_e4	34,6	38,9	32,3	34,4	31,7	34,0	30,4	32,8	31,0	31,0	30,9	30,8	23,5	23,6	19,7	19,7	28,1	30,7	31,9	34,8	28,9	33,3	35,0	38,3
ETICS_e6	34,4	38,3	31,9	33,9	31,4	33,7	30,2	32,5	30,8	30,8	30,8	30,4	23,3	23,3	19,6	19,6	27,9	30,3	31,5	34,2	28,6	32,8	34,6	37,7
ETICS_e8	34,0	37,8	31,6	33,6	31,2	33,4	30,0	32,2	30,7	30,7	30,7	30,2	23,2	23,1	19,5	19,5	27,7	30,1	31,2	33,8	28,4	32,4	34,2	37,3
P_dupla_EPS_4	34,0	38,3	31,6	33,8	30,9	33,5	29,6	32,2	30,3	30,3	30,3	30,0	22,9	23,0	19,2	19,3	27,5	30,1	31,2	34,1	28,3	32,7	34,2	37,7
P_dupla_EPS_6	33,7	37,8	31,4	33,5	30,8	33,3	29,4	31,9	30,2	30,2	30,2	29,9	22,8	22,8	19,2	19,2	27,4	29,9	30,9	33,7	28,1	32,3	33,9	37,3
P_dupla_EPS_8	33,5	37,5	31,2	33,2	30,7	33,1	29,3	31,8	30,1	30,1	30,2	29,8	22,7	22,7	19,2	19,2	27,3	29,7	30,7	33,4	28,0	32,0	33,7	37,0
ISODUR_e4	35,4	39,6	33,0	35,1	32,1	34,6	30,9	33,4	31,4	31,4	31,1	31,0	23,8	24,1	19,8	20,0	28,5	31,2	32,6	35,6	29,3	34,1	35,8	39,2
ISODUR_i4	34,6	39,4	32,4	34,8	31,2	34,0	29,9	32,6	30,5	30,5	30,2	30,1	23,2	23,6	19,2	19,5	27,7	30,7	31,9	35,3	28,6	33,5	34,8	39,0
ISODUR_e4_i4	34,9	39,0	32,4	34,8	31,7	34,1	30,5	32,9	31,0	31,0	30,7	30,4	23,5	23,8	19,6	19,6	28,0	30,6	32,1	35,0	28,6	33,4	35,0	38,5
ISODUR_e4_i2	35,2	39,4	32,7	34,8	31,9	34,3	30,7	33,1	31,2	31,2	30,9	30,8	23,7	23,8	19,7	19,8	28,2	30,9	32,4	35,4	29,0	33,7	35,3	38,9
ISODUR_e2_i2	35,5	39,9	33,1	35,3	32,1	34,6	30,9	33,3	31,4	31,4	31,0	30,8	23,9	24,1	19,8	19,9	28,4	31,2	32,7	35,9	29,3	34,1	35,7	39,5
AISLONE_e4	35,2	39,3	32,7	34,8	31,9	34,4	30,7	33,2	31,3	31,3	31,1	30,8	23,7	23,9	19,8	19,9	28,3	31,0	32,3	35,3	29,1	33,8	35,5	38,9
AISLONE_i4	34,4	39,1	32,2	34,5	31,1	33,8	29,8	32,4	30,4	30,4	30,1	30,0	23,1	23,4	19,2	19,4	27,6	30,5	31,7	35,0	28,5	33,2	34,6	38,6
AISLONE_e4_i4	34,6	38,6	32,1	34,1	31,4	33,8	30,2	32,6	30,9	30,9	30,6	30,2	23,4	23,3	19,5	19,5	27,8	30,3	31,7	34,5	28,5	32,9	34,6	38,0
AISLONE_e4_i2	34,9	38,9	32,4	34,4	31,7	34,0	30,5	32,9	31,1	31,1	30,8	30,4	23,5	23,										

Anexo 11 - Humidades relativas máximas sem sombreamento

64,5	73,8	75,6	84,8	71,6	74,5	65,6	69,7	62,2	65,7	62,1	64,0	64,2	67,0	61,1	65,7	62,8	71,2	61,9	71,0	67,2	78,3	66,4	75,2
62,5	72,4	72,6	83,0	68,8	72,5	63,0	67,7	59,3	63,4	59,3	61,9	61,5	64,8	58,5	63,8	59,7	69,2	59,4	69,2	64,5	76,8	64,1	73,6
60,8	69,1	70,9	79,3	68,9	70,9	63,2	66,3	61,0	63,6	60,0	61,0	61,9	63,4	58,8	62,6	60,8	68,3	58,8	66,3	63,1	73,1	62,0	69,7
60,0	68,0	69,8	78,0	68,2	70,1	62,6	65,5	60,8	63,1	59,6	60,4	61,5	62,7	58,4	62,0	60,4	67,6	58,1	65,2	62,2	71,8	61,1	68,5
59,4	67,2	69,1	77,0	67,7	69,4	62,2	65,0	60,6	62,8	59,3	60,0	61,2	62,3	58,0	61,5	60,2	67,1	57,6	64,5	61,6	70,9	60,5	67,6
59,4	67,9	68,9	77,8	67,2	69,5	61,7	65,0	59,4	62,2	58,5	59,7	60,4	62,1	57,3	61,3	59,0	67,0	57,2	64,9	61,5	71,8	60,4	68,4
58,9	67,1	68,3	76,8	66,8	68,9	61,4	64,5	59,4	61,9	58,4	59,3	60,3	61,7	57,1	60,9	58,9	66,5	56,8	64,1	60,9	70,9	59,9	67,5
58,6	66,5	67,8	76,0	66,5	68,4	61,2	64,1	59,4	61,7	58,3	59,1	60,2	61,4	57,0	60,6	58,8	66,2	56,6	63,6	60,5	70,2	59,5	66,8
62,1	70,7	72,4	81,4	69,9	72,2	64,1	67,5	61,5	64,3	60,7	62,1	62,6	64,5	59,6	63,7	61,4	69,4	59,8	67,9	64,4	75,0	63,5	71,5
60,8	69,6	70,8	79,5	67,7	70,5	61,8	65,3	58,7	61,6	58,5	59,9	60,6	62,8	57,5	61,7	59,1	67,0	58,2	66,7	62,8	73,8	62,2	70,6
60,8	68,9	71,0	79,0	68,8	70,7	62,8	65,6	60,4	62,6	59,7	60,4	61,6	63,0	58,5	62,1	60,5	67,5	58,8	66,3	63,1	73,0	62,1	69,7
61,4	69,7	71,8	79,9	69,2	71,4	63,2	66,3	60,6	63,1	60,0	61,0	62,0	63,6	58,9	62,6	60,8	68,1	59,3	67,0	63,7	73,9	62,8	70,5
62,1	70,7	72,7	81,0	69,7	72,0	63,6	66,9	60,7	63,4	60,3	61,5	62,4	64,2	59,3	63,2	61,1	68,6	59,9	68,0	64,5	74,9	63,7	71,7
61,5	70,0	71,7	80,4	69,4	71,7	63,7	66,9	61,3	63,9	60,5	61,6	62,3	64,0	59,3	63,2	61,2	68,9	59,4	67,2	63,9	74,2	62,8	70,7
60,3	68,9	70,2	78,6	67,4	70,0	61,6	64,8	58,6	61,3	58,3	59,5	60,4	62,4	57,3	61,3	58,9	66,6	57,9	66,1	62,4	73,0	61,7	69,8
60,1	68,0	70,2	77,8	68,2	70,0	62,3	64,9	60,1	62,1	59,3	59,8	61,3	62,4	58,1	61,4	60,2	66,9	58,3	65,4	62,4	72,0	61,4	68,6
60,7	68,8	70,9	78,8	68,7	70,7	62,8	65,6	60,4	62,6	59,7	60,4	61,6	63,0	58,5	62,0	60,5	67,5	58,8	66,2	63,0	72,9	62,1	69,5
61,5	69,9	71,9	80,0	69,3	71,4	63,2	66,3	60,5	63,0	60,0	61,0	62,0	63,7	58,9	62,6	60,8	68,1	59,4	67,2	63,9	74,1	63,0	70,8
61,3	69,6	71,4	80,1	69,3	71,4	63,6	66,8	61,3	63,9	60,3	61,4	62,2	63,8	59,2	63,1	61,1	68,8	59,2	66,8	63,6	73,8	62,5	70,3
60,1	68,7	70,0	78,4	67,3	69,8	61,5	64,7	58,6	61,2	58,3	59,5	60,4	62,3	57,3	61,2	58,9	66,5	57,8	65,8	62,2	72,8	61,5	69,5
59,9	67,7	69,9	77,5	66,8	69,8	62,2	64,7	60,1	62,0	59,2	59,7	61,2	62,3	58,0	61,3	60,1	66,7	58,1	65,1	62,2	71,7	61,1	68,3
60,5	68,5	70,6	78,5	68,5	70,4	62,6	65,4	60,4	62,5	59,6	60,2	61,5	62,8	58,4	61,8	60,4	67,4	58,6	65,9	62,8	72,6	61,8	69,2
61,3	69,6	71,7	79,7	69,1	71,2	63,1	66,1	60,5	62,9	59,9	60,8	61,9	63,5	58,8	62,5	60,7	67,9	59,2	66,9	63,6	73,8	62,7	70,4
60,4	68,4	70,2	78,5	68,5	70,4	62,9	65,8	61,0	63,4	59,9	60,7	61,8	63,0	58,6	62,2	60,7	67,9	58,4	65,6	62,6	72,3	61,5	68,9
59,4	67,6	69,2	77,0	66,8	69,8	61,1	63,9	58,5	60,8	58,8	60,1	61,6	62,7	57,0	60,5	58,7	65,7	64,9	61,5	71,6	60,7	68,3	
59,0	66,5	68,8	75,9	67,2	68,7	61,5	63,7	59,7	61,4	58,6	58,9	60,7	61,5	57,4	60,4	59,6	65,8	57,4	64,0	61,2	70,3	60,2	67,0
59,5	67,2	69,4	76,9	67,7	69,4	61,9	64,4	60,0	61,8	59,0	59,4	61,0	62,0	57,8	61,0	60,0	66,4	57,8	64,6	61,8	71,1	60,7	67,8
60,3	68,3	70,5	78,2	68,4	70,2	62,5	65,1	60,2	62,2	59,4	60,0	61,4	62,6	58,3	61,6	60,3	67,1	58,5	65,7	62,7	72,4	61,7	69,0
62,6	71,3	73,1	82,4	70,4	73,0	64,4	68,1	61,5	64,7	60,9	62,5	62,8	64,9	59,8	64,2	61,6	69,9	60,2	68,6	65,0	75,9	64,0	72,4
62,8	71,5	73,5	82,1	70,4	72,9	64,3	67,7	61,2	64,0	60,9	62,2	62,9	65,0	59,8	63,9	61,6	69,3	60,4	68,7	65,2	75,9	64,4	72,6
61,4	69,9	71,9	80,4	69,5	71,8	63,4	66,5	60,7	63,3	60,1	61,1	62,0	63,6	59,0	62,8	60,9	68,4	59,3	67,1	63,7	74,1	62,8	70,6
62,0	70,6	72,5	81,3	69,9	72,3	63,8	67,2	61,0	63,8	60,4	61,7	62,3	64,2	59,3	63,3	61,2	69,0	59,7	67,8	64,3	75,0	63,4	71,5
62,6	71,5	73,2	82,2	70,2	72,8	64,1	67,7	61,0	64,0	60,6	62,1	62,6	64,7	59,6	63,8	61,3	69,4	60,2	68,6	65,0	75,9	64,1	72,5

Anexo 12 - Humidades relativas máximas com sombreamento

74,3	65,2	86,4	77,4	76,2	73,0	72,2	67,6	68,5	65,2	67,1	64,9	70,1	67,0	68,0	63,1	72,9	64,3	72,4	63,2	79,5	68,5	75,9	67,2
73,0	63,4	84,8	74,6	74,5	70,4	70,4	65,1	66,4	62,3	65,1	62,2	68,1	64,3	66,3	60,7	71,1	61,5	70,6	60,9	77,7	66,0	74,4	65,0
69,8	61,5	81,2	72,6	73,0	70,3	69,0	65,2	66,8	64,3	64,4	63,0	66,9	65,0	65,3	61,1	70,4	62,2	67,9	60,0	74,2	64,4	70,6	62,8
68,8	60,7	79,9	71,6	72,2	69,6	68,3	64,6	66,4	64,1	63,8	62,7	66,4	64,7	64,7	60,6	69,7	61,9	66,9	59,3	72,9	63,5	69,4	61,9
68,0	60,1	78,9	70,8	71,6	69,1	67,8	64,2	66,1	64,0	63,5	62,4	66,0	64,5	64,3	60,3	69,3	61,6	66,2	58,8	72,1	62,9	68,6	61,2
68,7	60,3	79,8	70,8	71,7	68,7	67,8	63,8	65,5	62,7	63,2	61,6	65,7	63,6	64,1	59,6	69,1	60,6	66,6	58,5	73,0	62,8	69,3	61,2
67,9	59,7	78,8	70,1	71,2	68,3	67,3	63,5	65,3	62,8	62,8	61,5	65,4	63,5	63,7	59,5	68,6	60,5	65,9	58,1	72,1	62,2	68,4	60,7
67,3	59,3	78,0	69,6	70,7	68,0	66,9	63,3	65,2	62,8	62,6	61,4	65,2	63,5	63,4	59,4	68,3	60,4	65,4	57,9	71,4	61,9	67,8	60,2
71,3	62,8	83,2	74,2	74,2	71,3	70,2	66,1	67,4	64,6	65,3	63,7	67,9	65,6	66,3	61,8	71,3	62,9	69,4	61,1	76,0	65,7	72,3	64,2
70,4	61,6	81,5	72,7	72,6	69,3	68,2	64,0	64,8	61,9	63,3	61,5	66,3	63,7	64,4	59,8	69,1	60,7	68,3	59,6	74,8	64,2	71,5	63,0
69,6	61,5	80,9	72,8	72,8	70,2	68,4	64,8	65,8	63,6	63,8	62,7	66,6	64,7	64,7	60,7	69,5	61,9	67,9	60,1	74,1	64,7	70,5	62,9
70,4	62,1	81,8	73,5	73,4	70,6	69,0	65,3	66,2	63,9	64,3	63,0	67,1	65,1	65,2	61,1	70,1	62,3	68,6	60,6	74,9	65,0	71,4	63,5
71,3	62,8	82,8	74,5	74,0	71,1	69,6	65,7	66,4	63,9	64,8	63,3	67,6	65,3	65,7	61,4	70,6	62,6	69,5	61,1	75,9	65,8	72,5	64,4
70,7	62,2	82,3	73,5	73,7	70,9	69,6	65,7	67,1	64,5	64,9	63,5	67,5	65,4	65,8	61,5	70,8	62,6	68,8	60,6	75,2	65,1	71,6	63,5
69,7	61,1	80,6	72,1	72,1	69,0	67,7	63,7	64,5	61,9	62,9	61,4	65,9	63,5	64,0	59,6	68,6	60,5	67,7	59,3	74,1	63,7	70,7	62,5
68,8	60,8	79,8	72,0	72,1	69,6	67,7	64,3	65,4	63,4	63,3	62,4	66,0	64,4	64,2	60,4	68,9	61,6	67,1	59,5	73,1	63,7	69,5	62,1
69,5	61,4	80,8	72,7	72,7	70,1	68,4	64,8	65,8	63,7	63,8	62,7	66,5	64,8	64,7	60,7	69,6	62,0	67,8	60,0	73,9	64,3	70,4	62,8
70,5	62,2	81,9	73,7	73,4	70,7	69,0	65,3	66,1	63,7	64,3	63,0	67,1	65,1	65,2	61,1	70,1	62,3	68,8	60,7	75,1	65,2	71,6	63,7
70,3	62,0	81,9	73,2	73,5	70,7	69,5	65,6	67,1	64,5	64,8	63,3	67,3	65,3	65,7	61,4	70,7	62,5	68,4	60,4	74,8	64,9	71,1	63,2
69,5	60,9	80,4	71,9	72,0	68,9	67,5	63,6	64,5	61,9	62,9	61,3	65,8	63,5	63,9	59,5	68,5	60,5	67,5	59,2	73,9	63,6	70,4	62,3
68,5	60,6	79,5	71,7	71,9	69,4	67,5	64,2	65,3	63,4	63,1	62,3	65,9	64,3	64,0	60,3	68,8	61,5	66,8	59,3	72,8	63,4	69,2	61,8
69,3	61,2	80,4	72,4	72,5	70,0	68,2	64,7	65,7	63,7	63,6	62,6	66,4	64,7	64,5	60,6	69,4	61,9	67,5	59,8	73,6	64,0	70,1	62,5
70,0	61,9	80,8	73,2	72,3																			

Anexo 13 - Dados utilizados para a definição dos materiais (HAMT) - Hemp

	Parâmetro	Valor	Fonte
Definição de material	Rugosidade (-)	Rugosidade média	-
	Condutibilidade Térmica (W/m.°C)	0,102	(Evrard and De Herde, 2009)
	Densidade (Kg/m ³)	304	(Barcla et al., 2014)
	Calor específico (J/Kg.°C)	1270	(Evrard, 2003), (Evrard and De Herde, 2009) e (Le et al., 2009)
	Coefficiente de absorção térmica	0,9	Pre- definição Energyplus
	Coefficiente de absorção solar	0,7	
	Coefficiente de absorção visível	0,7	

Características adicionais para a definição de um material no modelo HAMT	Porosidade do material (m ³ /m ³)	0,8				(Cérézo, 2005) , (Collet, 2004) e (Collet et al., 2013)
	Proporção do teor de água inicial (Kg/Kg);	0,09				-
	Curva isotérmica de sorção	Humidade relativa (-)	Teor de água (kg/m ³)	Humidade relativa (-)	Teor de água (kg/m ³)	(Evrard and De Herde, 2009)
		0	0	0,98	100	
		0,8	33	0,99	117	
		0,96	60	1	546	
	Valores para o coeficiente de difusão de líquidos em condições de sucção (Dws) em função do teor de água	Teor de água (kg/m ³)	Dws (m ² /s)	Teor de água (kg/m ³)	Dws (m ² /s)	(Evrard and De Herde, 2009)
		0	0	458	8 * 10 ⁻⁹	
		28	8 * 10 ⁻¹¹	546	8 * 10 ⁻⁸	
		63	4 * 10 ⁻⁹	-	-	
	Valores para o coeficiente de difusão de líquidos em condições de normais (Dww) em função do teor de água	Teor de água (kg/m ³)	Dww (m ² /s)	Teor de água (kg/m ³)	Dww (m ² /s)	(Evrard and De Herde, 2009)
		0	0	219	3 * 10 ⁻⁹	
		28	8 * 10 ⁻¹¹	297	6 * 10 ⁻¹⁰	
		101	6 * 10 ⁻¹⁰	-	-	
	Valores para o coeficiente de resistência à difusão do vapor de água (μ) em função da humidade relativa	Humidade relativa (-)	μ	Humidade relativa (-)	μ	(Collet, 2004) e (Barcla et al., 2014)
0		6,58	0,7	3,62		
0,3		6,58	0,8	1,88		
0,4		6,53	0,9	0,85		
0,5		6,28	1	0,46		
0,6		5,38	-	-		
Valores para a condutividade térmica em função do teor de água	Teor de água (kg/m ³)	Condutibilidade Térmica (W/m.°C)	Teor de água (kg/m ³)	Condutibilidade Térmica (W/m.°C)	(Evrard and De Herde, 2009)	
	0	0,072	546	0,102		

Anexo 14 - Dados utilizados para a definição dos materiais (HAMT) - Aislone

	Parâmetro	Valor	Fonte
Definição de material	Rugosidade (-)	Rugosidade média	-
	Condutibilidade Térmica (W/m.°C)	0,05	(Maia, 2019)
	Densidade (Kg/m ³)	320	(Maia, 2019)
	Calor específico (J/Kg.°C)	800	(Sanchez, 2017)
	Coefficiente de absorção térmica	0,9	Pre- definição Energyplus
	Coefficiente de absorção solar	0,7	
	Coefficiente de absorção visível	0,7	

Características adicionais para a definição de um material no modelo HAMT	Porosidade do material (m ³ /m ³)	0,38				(Maia, 2019)
	Proporção do teor de água inicial (Kg/Kg);	0,09				-
	Curva isotérmica de sorção	Humidade relativa (-)	Teor de água (kg/m ³)	Humidade relativa (-)	Teor de água (kg/m ³)	(Maia, 2019)
		0	0	0,9	8	
		0,8	2,5	0,98	346,5	
	Valores para o coeficiente de difusão de líquidos em condições de sucção (Dws) em função do teor de água	Teor de água (kg/m ³)	Dws (m ² /s)	Teor de água (kg/m ³)	Dws (m ² /s)	(Maia, 2019)
		0	0	250	2,5 * 10 ⁻⁹	
		125	0,1 * 10 ⁻¹⁰	275	4 * 10 ⁻⁹	
		150	0,1 * 10 ⁻⁹	300	7 * 10 ⁻⁹	
		175	0,5 * 10 ⁻⁹	325	1 * 10 ⁻⁸	
		200	0,7 * 10 ⁻⁹	350	2,4 * 10 ⁻⁸	
	Valores para o coeficiente de resistência à difusão do vapor de água (μ) em função da humidade relativa	Humidade relativa (-)	μ	Humidade relativa (-)	μ	(Maia, 2019)
		0	11,7	51	9,3	
		50	11,7	93	9,3	
	Valores para a condutividade térmica em função do teor de água	Teor de água (kg/m ³)	Condutibilidade Térmica (W/m.°C)	Teor de água (kg/m ³)	Condutibilidade Térmica (W/m.°C)	(Maia, 2019)
0		0,05	-	-		

Anexo 15 - Dados utilizados para a definição dos materiais (HAMT) - Reboco tradicional

	Parâmetro	Valor				Fonte
Definição de material	Rugosidade (-)	Rugosidade média				-
	Condutibilidade Térmica (W/m.°C)	1,5				(Sivinska and Garbalinska, 2011)
	Densidade (Kg/m3)	2000				(Mahattanatawe and Charuchaimontri, 2015)
	Calor específico (J/Kg.°C)	850				(Mahattanatawe and Charuchaimontri, 2015)
	Coefficiente de absorção térmica	0,9				Pre- definição Energyplus
	Coefficiente de absorção solar	0,7				
	Coefficiente de absorção visível	0,7				
Características adicionais para a definição de um material no modelo HAMT	Porosidade do material (m3/m3)	0,3				(Mahattanatawe and Charuchaimontri, 2015)
	Proporção do teor de água inicial (Kg/Kg);	0,14				(Mahattanatawe and Charuchaimontri, 2015)
	Curva isotérmica de sorção	Humidade relativa (-)	Teor de água (kg/m3)	Humidade relativa (-)	Teor de água (kg/m3)	(Azevedo, 2011)
		0	0	0,6	22	
		0,1	10	0,7	26	
		0,2	12	0,8	30	
		0,3	16	0,83	36	
		0,4	18	0,9	60	
		0,5	20	0,93	74	
	Valores para o coeficiente de difusão de líquidos em condições de sucção (Dws) em função do teor de água	Teor de água (kg/m3)	Dws (m2/s)	Teor de água (kg/m3)	Dws (m2/s)	(Arnold et al., 2009)
		0	0	28	4,75 * 10 ⁻¹¹	
		24	4,75 * 10 ⁻¹²	30	9 * 10 ⁻¹⁰	
		26	9,5 * 10 ⁻¹¹	-	-	
	Valores para o coeficiente de resistência à difusão do vapor de água (μ) em função da humidade relativa	Humidade relativa (-)	μ	Humidade relativa (-)	μ	(Details - WaterVaporDiffusion – Wufiwiki, 2019)
		3	19	50	18	
		50	19	93	18	
	Valores para a condutividade térmica em função do teor de água	Teor de água (kg/m3)	Condutibilidade Térmica (W/m.°C)	Teor de água (kg/m3)	Condutibilidade Térmica (W/m.°C)	(Sivinska and Garbalinska, 2011)
		0	1,5	0,55	1,95	
		0,05	1,55	0,6	2	
		0,1	1,6	0,65	2,1	
0,15		1,65	0,7	2,15		
0,2		1,7	0,75	2,2		
0,25		1,75	0,8	2,25		
0,3		1,77	0,85	2,4		
0,35		1,78	0,9	2,5		
0,4		1,8	0,95	2,75		
0,45		1,85	0,98	3		
0,5	1,9	-	-			

Anexo 16 - Dados utilizados para a definição dos materiais (HAMT) - Tijolo cerâmico furado 11 cm

	Parâmetro	Valor				Fonte
Definição de material	Rugosidade (-)	Rugosidade média				-
	Condutividade Térmica (W/m.K)	0,4				(Azevedo, 2011)
	Densidade (Kg/m3)	1900				(Mahattanatawe and Charuchaimontri, 2015)
	Calor específico (J/Kg.K)	970				(Mahattanatawe and Charuchaimontri, 2015)
	Coefficiente de absorção térmica	0,9				Pre- definição Energyplus
	Coefficiente de absorção solar	0,7				
	Coefficiente de absorção visível	0,7				
Características adicionais para a definição de um material no modelo HAMT	Porosidade do material (m3/m3)	0,24				(Mahattanatawe and Charuchaimontri, 2015)
	Proporção do teor de água inicial (Kg/Kg);	0,0526				(Mahattanatawe and Charuchaimontri, 2015)
	Curva isotérmica de sorção	Humidade relativa (-)	Teor de água (kg/m3)	Humidade relativa (-)	Teor de água (kg/m3)	(Azevedo, 2011)
		0	0	0,5	120	
		0,05	20	0,55	120	
		0,1	40	0,6	120	
		0,15	50	0,65	120	
		0,2	60	0,7	120	
		0,25	70	0,75	150	
		0,3	80	0,8	170	
		0,35	100	0,85	180	
		0,4	120	0,9	200	
		0,45	120	0,92	300	
	Valores para o coeficiente de difusão de líquidos em condições de sucção (Dws) em função do teor de água	Teor de água (kg/m3)	Dws (m2/s)	Teor de água (kg/m3)	Dws (m2/s)	(Arnold et al., 2009)
		0	0	150	1,1 * 10 ⁻⁹	
		110	1,1 * 10 ⁻¹⁰	170	2,2 * 10 ⁻⁹	
		120	2,2 * 10 ⁻¹⁰	-	-	
	Valores para o coeficiente de resistência à difusão do vapor de água (μ) em função da humidade relativa	Humidade relativa (-)	μ	Humidade relativa (-)	μ	(Details - WaterVaporDiffusion – Wufiwiki, 2019)
		3	9,5	51	8	
		50	9,5	93	8	
Valores para a condutividade térmica em função do teor de água	Teor de água (kg/m3)	condutividade térmica (W/m.K)	Teor de água (kg/m3)	condutividade térmica (W/m.K)	(Azevedo, 2011)	
	0	0,38	200	0,45		
	100	0,38	300	0,55		
	110	0,4	330	1		
	120	0,42	350	1,3		
	170	0,44	-	-		

Anexo 17 - Equações que definem o modelo HAMT

Descrição do modelo HAMT

Ao longo deste anexo são enunciadas e explicadas as equações que definem o modelo “*Heat and Moisture Transfer*” do EnergyPlus. As equações seguintes foram retiradas do próprio site do EnergyPlus, que, por sua vez, foram desenvolvida a partir da equação de Kunzel (1995): equação teórica de transferência de calor e de vapor de água através de um material que é definida pela Equação (5).

$$\frac{\partial H}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k^w \frac{\partial T}{\partial x} \right) + h_v \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\delta}{\mu} \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (5)$$

Os termos da Equação (6) são referentes ao armazenamento, ao transporte e à geração de calor, pela mesma ordem.

$$\frac{\partial w}{\partial \phi} \frac{\partial \phi}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D^w \frac{\partial w}{\partial \phi} \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\delta}{\mu} \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (6)$$

O coeficiente de difusão do vapor de água no ar (δ) é calculado através da aplicação da Equação (7).

$$\delta = \frac{(2 \times 10^{-7} \times (T + 273,15)^{0,81})}{P_{ambiente}} \quad (7)$$

Através da análise da Equação (5) é possível compreender que a capacidade de armazenamento de calor ($\frac{\partial H}{\partial T}$) depende o teor de humidade do material e é cálculo pela aplicação da Equação (8).

$$\frac{\partial H}{\partial T} = (c\rho + c^w w) \quad (8)$$

Por sua vez, o teor de humidade (w) e o coeficiente de resistência à permeabilidade ao vapor de água (μ) são dependentes da humidade relativa no interior do material. Adicionalmente, também os parâmetros $\frac{\partial w}{\partial \phi}$, k^w , D^w são função da humidade relativa.

Transferência de calor no modelo HAMT

O modelo HAMT recorre à Equação (9) para calcular o armazenamento de calor e a transferência do mesmo através de uma célula i .

$$(c_i \rho_i + c^w w_i) \Delta V_i \frac{T_i^{p+1} - T_i^p}{\Delta \tau} = \sum_j k_{ij}^w A_{ij} \frac{T_j^{p+1} - T_i^{p+1}}{x_{ij}} + \sum_j h_v \frac{\delta_{ij}}{\mu_{ij}} A_{ij} \frac{p_j^{p+1} - p_i^{p+1}}{x_{ij}} \quad (9)$$

Aplicando a Equação (9) a um caso unidimensional, o calor gerado pela vaporização (q_i^v) de duas células adjacentes (j) pode ser calculado pela aplicação da Equação (10).

$$q_i^v = \sum_j h_v \frac{\delta_{ij}}{\mu_{ij}} A_{ij} \frac{p_j^{p+1} - p_i^{p+1}}{x_{ij}} \quad (10)$$

Reorganizando a Equação (10) e adicionando outras fontes de calor (como por exemplo: radiação de elementos adjacentes) a temperatura da célula i no instante $p + 1$ é calculada pela aplicação da Equação (11).

$$T_i^{p+1} = \frac{\sum_j \frac{T_j^{p+1}}{R_{ij}^h} + q_i^v + q_i^{adds} + C_i^h \frac{T_i^p}{\Delta\tau}}{\frac{C_i^h}{\Delta\tau} + \sum_j \frac{1}{R_{ij}^h}} \quad (11)$$

Em que C_i^h é a capacitância térmica da célula i (Equação (12)).

$$C_i^h = (c_i \rho_i + c^w w_i) \Delta V_i \quad (12)$$

E R_{ij}^h a resistência térmica entre as células i e j (Equação (13)).

$$R_{ij}^h = \frac{x_{ij}}{k_{ij} A_{ij}} \quad (13)$$

A Equação (9) é resolvida pela aplicação do método iterativo de Gauss-Seidel e termina quando a diferença de temperatura entre dos cálculos consecutivos é inferior a 0,002°C.

Transferência de vapor de água no modelo HAMT

A Equação (14) tem em conta os dois mecanismos de transferência de humidade através de um material: transferência de líquidos e o transferência de vapor de água. O potencial de transferência de líquidos está associado à diferença de humidades relativas e o potencial de transferência de vapor de água está relacionado com a diferença nas pressões de vapor. Adicionalmente, os materiais são dotados da capacidade de armazenar humidade. A Equação (14) tem em conta os mecanismo anteriormente descritos para uma célula discreta de um material contínuo.

$$\frac{dw}{d\phi_i} \Delta V_i \frac{\phi_i^{p+1} - \phi_i^p}{\Delta\tau} = \sum_j k_{ij} A_{ij} \frac{\phi_j^{p+1} - \phi_i^{p+1}}{x_{ij}} + \sum_j \frac{\delta_{ij}}{\mu_{ij}} A_{ij} \frac{p_j^{p+1} - p_i^{p+1}}{x_{ij}} \quad (14)$$

A Equação (14) pode ser rearranjada para a Equação (15) de modo a ser possível calcular a humidade relativa da célula i no instante $p + 1$.

$$\phi_i^{p+1} = \frac{\sum_j \frac{\phi_j^{p+1}}{R_{ij}^w} + \sum_j \frac{p_j^{p+1}}{R_{ij}^v} + C_i^w \frac{\phi_i^p}{\Delta\tau}}{\frac{C_i^w}{\Delta\tau} + \sum_j \frac{1}{R_{ij}^w} + \sum_j \frac{p_i^{sat}}{R_{ij}^v}} \quad (15)$$

A “capacitância de humidade” da célula i é calculada através da Equação (16).

$$C_i^w = \frac{dw}{d\phi_i} \Delta V_i \quad (16)$$

E R_{ij}^w a resistência à humidade entre as células i e j [Equação (17)].

$$R_{ij}^w = \frac{x_{ij}}{A_{ij} D_{ij}^w \frac{dw}{d\phi}} \quad (17)$$

R_{ij}^w corresponde à resistência ao vapor de água entre as células i e j [(Equação (18))].

$$R_{ij}^v = \frac{\mu_{ij} x_{ij}}{A_{ij} \delta_{ij}} \quad (18)$$

Anexo 18 - Condensações superficiais exteriores no reboco térmico Hemp

		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
EX_REF com sombreamento	HR	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cp	N	0	3,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	18,15	8,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hemp_e4 com sombreamento	HR	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cp	N	0	0,55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S	0	1,45	1,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hemp_14 com sombreamento	HR	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cp	N	0	3,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	5,65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hemp_e2_12 com sombreamento	HR	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cp	N	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S	0	0	0,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hemp_e4_12 com sombreamento	HR	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cp	N	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S	0	1,05	1,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hemp_e2_14 com sombreamento	HR	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cp	N	0	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S	0	0	0,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hemp_e4_14 com sombreamento	HR	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cp	N	0	0,6	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S	0	1,25	1,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ext_Ref sem sombreamento	HR	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cp	N	5,45	6,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	15,7	7,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hemp_e4 sem sombreamento	HR	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cp	N	34,35	43	28,35	1	0	0,15	0	0	0	0,2	7,9	6,1
		S	2,1	5,45	2,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hemp_14 sem sombreamento	HR	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cp	N	5,5	7,55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,8
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	3,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hemp_e2_12 sem sombreamento	HR	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cp	N	10,85	17,5	9,55	0	0	0	0	0	0	0	8,8	8,1
		S	0	0,9	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hemp_e4_12 sem sombreamento	HR	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cp	N	22,1	35,1	26,4	0,9	0	0	0	0	0	2	18	27
		S	0,2	4,05	2,8	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hemp_e2_14 sem sombreamento	HR	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cp	N	13,4	21,6	12,35	0	0	0	0	0	0	0	12,55	12,9
		S	0	0,9	1,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hemp_e4_14 sem sombreamento	HR	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cp	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hemp_e4_14 sem sombreamento	HR	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cp	N	27,2	43,8	28,7	0,95	0	0,05	0	0	0	2,7	26,6	32,9
		S	0,2	4,25	2,85	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo 19 – Condensações superficiais exteriores no reboco térmico Aislone

		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro		
Aislone_e4 com sombreamento	φ = 100 %	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	CP > 0	N	0	1,3	1,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	11,6	13,05	13,25	0,75	1,2	0,65	0	0	0	0	0,3	0	
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		O	104,15	102,05	75,75	10,55	10,2	2,15	0	0	0	6,25	33,8	22,55	
	Aislone_i4 com sombreamento	φ = 100 %	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CP > 0		N	0	3,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		O	0	7,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aislone_e2_i2 com sombreamento		φ = 100 %	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CP > 0	N	0	1,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	0,15	2,4	1,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		O	32,05	42,95	29,05	0	0	0	0	0	0	1,35	14,35	9,45	
	Aislone_e4_i2 com sombreamento	φ = 100 %	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CP > 0		N	0	1,15	1,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	6,1	12,35	13,75	0,8	1,4	0,65	0	0	0	0	2	0	
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		O	86,2	98,9	73,9	8,85	9,65	2,05	0	0	0	10,35	74	58,85	
Aislone_e2_i4 com sombreamento		φ = 100 %	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CP > 0	N	0	2,05	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	0,1	2,95	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		O	37,3	53,8	34,8	0	0	0	0	0	0	1,8	19,7	15,75	
	Aislone_e4_i4 com sombreamento	φ = 100 %	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CP > 0		N	0	1,75	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		S	6,4	13	15,85	0,85	1,95	0,75	0	0	0	0	2,2	0	
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		O	96,65	104,6	77,15	10,05	9,85	2,1	0	0	0	12,05	86,3	70,75	
Aislone_e4 sem sombreamento		φ = 100 %	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CP > 0	N	79,2	61,55	51,8	8,65	8	2	0,35	0	0	6,45	38,75	36,85	
		S	21,7	23,75	26,35	3,65	5	1,1	0	0	0	0,85	3,55	0,3	
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		O	100,5	100,25	73,1	8,8	8,65	1,8	0	0	0	5,45	29,45	19,7	
	Aislone_i4 sem sombreamento	φ = 100 %	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CP > 0		N	6,9	8,3	0	0	0	0	0	0	0	0	1,25	4,8	
		S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		O	0	7,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aislone_e2_i2 sem sombreamento		φ = 100 %	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CP > 0	N	32,05	43,15	33,2	0,9	0,3	0	0	0	0	2,95	24,7	34,3	
		S	1,25	5,55	4,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		O	30,15	39,8	27,3	0	0	0	0	0	0	1,2	12,85	8,05	
	Aislone_e4_i2 sem sombreamento	φ = 100 %	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CP > 0		N	66,5	59,7	52,3	8,7	8,2	2,45	0,5	1,2	0,95	14,65	60,45	56,05	
		S	15,2	19,9	25,75	3,7	5,65	1,1	0	0	0	1,9	9,35	2,65	
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		O	81,8	94,25	72,4	7,3	8,45	1,8	0	0	0	9,65	68,6	54,85	
Aislone_e2_i4 sem sombreamento		φ = 100 %	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CP > 0	N	43,55	52	36,3	1,05	1,05	0	0	0	0	3,65	40,5	43,4	
		S	1,4	6,25	5,3	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0	
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		O	34,8	50,15	32,9	0	0	0	0	0	0	1,5	18,1	13,65	
	Aislone_e4_i4 sem sombreamento	φ = 100 %	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CP > 0		N	78,45	63	56,15	10,1	8,9	3,2	1,35	1,7	2,1	16,9	68,85	62,05	
		S	15,55	21,5	27,4	3,8	6	1,6	0	0	0	2,05	10,25	2,6	
		E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		O	94,25	102,35	74,95	7,55	8,9	1,9	0	0	0	11	83,3	68,4	

Anexo 20 - Condensações superficiais interiores em rebocos térmicos

a) Referência e Hemp

		Solução	Critério	N	S	E	O
Com sombreamento	ext_REF		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Hemp_e4		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Hemp_i4		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Hemp_e2_i2		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Hemp_e4_i2		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Hemp_e2_i4		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Hemp_e4_i4		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
Sem sombreamento	ext_REF		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Hemp_e4		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Hemp_i4		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Hemp_e2_i2		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Hemp_e4_i2		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Hemp_e2_i4		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Hemp_e4_i4		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0

b) Aislone

		Solução	Critério	N	S	E	O
Com sombreamento	Aislone_e4		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Aislone_i4		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Aislone_e2_i2		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Aislone_e4_i2		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Aislone_e2_i4		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Aislone_e4_i4		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
Sem sombreamento	Aislone_e4		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Aislone_i4		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Aislone_e2_i2		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Aislone_e4_i2		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Aislone_e2_i4		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0
	Aislone_e4_i4		$\varphi = 100 \%$	0	0	0	0
			$CP > 0$	0	0	0	0

Anexo 21 - Necessidades energéticas úteis de climatização em paredes simples

Condições de sombreamento	Solução de parede simples com isolamento térmico	Necessidades energéticas de aquecimento [KWh/m2]						Necessidades energéticas de arrefecimento [KWh/m2]						Necessidades energéticas totais [KWh/m2]							
		Zona A			Zona B			Zona A			Zona B			Zona A			Zona B				
		Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu
com elementos de sombreamento	EXT_REF	1.36	1.20	6.08	5.99	12.64	10.00	12.64	10.00	10.38	8.45	30.46	25.65	7.19	18.46						
	Aislone_e4	0.39	0.32	2.50	2.39	11.90	8.94	11.04	8.50	25.84	20.14	26.59	20.55	2.78	17.77						
	Aislone_i4	0.43	0.35	2.55	2.43	12.26	9.13	11.35	8.64	26.21	19.67	25.62	19.51	2.13	17.54						
	Aislone_e2_i2	0.42	0.24	2.58	1.89	12.03	9.00	11.17	8.55	25.78	19.61	25.28	19.08	1.74	17.34						
	Aislone_e4_i2	0.29	0.24	2.01	1.89	11.97	8.82	11.35	8.56	27.51	22.28	28.08	22.60	4.53	18.07						
	Aislone_e2_i4	0.30	0.25	2.02	1.91	12.04	8.86	11.42	8.59	27.89	22.54	27.02	21.54	3.82	17.71						
	Aislone_e4_i4	0.21	0.18	1.55	1.56	12.00	8.74	11.53	8.60	27.23	21.65	26.60	20.92	3.27	17.65						
	Hemp_e4	0.77	0.64	3.96	3.86	12.10	9.33	10.68	8.45	34.73	27.93	30.49	22.54	2.22	20.32						
	Hemp_i4	0.78	0.66	3.98	3.88	12.40	9.50	10.92	8.57	31.34	22.98	30.88	22.75	2.33	20.42						
	Hemp_e2_i2	0.80	0.67	4.04	3.94	12.26	9.42	10.80	8.51	30.24	21.95	28.08	21.54	1.71	20.24						
	Hemp_e4_i2	0.63	0.52	3.40	3.30	12.09	9.21	10.90	8.51	30.45	22.05	30.15	21.54	1.36	20.18						
	Hemp_e2_i4	0.63	0.52	3.40	3.30	12.21	9.27	10.99	8.56	31.91	24.59	32.57	24.93	3.89	21.05						
	Hemp_e4_i4	0.51	0.42	2.95	2.84	12.08	9.11	11.06	8.54	32.33	24.85	31.53	23.87	3.23	20.64						
	EXT_REF	1.07	0.93	5.55	5.45	15.21	11.57	12.90	9.98	31.78	24.00	31.20	23.28	2.73	20.55						
Aislone_e4	0.29	0.24	2.10	1.98	14.21	10.23	13.89	10.09	34.73	27.93	30.49	22.54	2.22	20.32							
Aislone_i4	0.32	0.27	2.15	2.03	14.63	10.43	14.24	10.24	31.34	22.98	30.88	22.75	2.33	20.42							
Aislone_e2_i2	0.32	0.26	2.18	2.07	14.35	10.29	14.03	10.13	30.24	21.95	30.15	21.54	1.36	20.18							
Aislone_e4_i2	0.19	0.17	1.51	1.54	14.25	10.07	14.28	10.17	31.91	24.59	32.57	24.93	3.89	21.05							
Aislone_e2_i4	0.20	0.18	1.56	1.55	14.33	10.11	14.36	10.20	30.45	22.05	30.15	21.54	1.36	20.18							
Aislone_e4_i4	0.15	0.13	1.21	1.23	14.26	9.96	14.53	10.22	31.91	24.59	32.57	24.93	3.89	21.05							
Hemp_e4	0.58	0.48	3.47	3.37	14.49	10.72	13.36	10.01	32.33	24.85	31.53	23.87	3.23	20.64							
Hemp_i4	0.60	0.50	3.49	3.39	14.85	10.91	13.63	10.14	31.78	24.00	31.20	23.28	2.73	20.55							
Hemp_e2_i2	0.61	0.51	3.55	3.45	14.68	10.82	13.49	10.07	32.33	24.85	31.53	23.87	3.23	20.64							
Hemp_e4_i2	0.48	0.39	2.94	2.84	14.46	10.56	13.65	10.08	31.53	23.87	31.78	24.00	3.24	20.76							
Hemp_e2_i4	0.48	0.40	2.95	2.84	14.60	10.63	13.75	10.13	31.78	24.00	31.20	23.28	2.73	20.55							
Hemp_e4_i4	0.39	0.32	2.52	2.41	14.43	10.43	13.87	10.12	31.20	23.28	31.20	23.28	2.73	20.55							

Anexo 22 - Necessidades energéticas úteis de climatização em paredes duplas

Condições de sombreamento	Solução de parede dupla com isolamento térmico	Necessidades energéticas de aquecimento [KWh/m2]						Necessidades energéticas de arrefecimento [KWh/m2]						Necessidades energéticas totais [KWh/m2]					
		Zona A			Zona B			Zona A			Zona B			Zona A			Zona B		
		Ano	Arr. Aqu	Ano	Arr. Aqu	Ano	Arr. Aqu	Ano	Arr. Aqu	Ano	Arr. Aqu	Ano	Arr. Aqu	Ano	Arr. Aqu	Ano	Arr. Aqu	Ano	Arr. Aqu
com elementos de sombreamento	EXT_REF	1,14	0,98	5,32	5,22	12,57	9,85	10,54	8,50	8,50	29,57	24,56	6,21	18,35					
	Aislone_e4	0,36	0,29	2,36	2,24	11,90	8,91	11,10	8,51	25,73	19,96	2,54	17,42						
	Aislone_i4	0,39	0,32	2,41	2,29	12,27	9,10	11,41	8,65	26,48	20,37	2,61	17,75						
	Aislone_e2_i2	0,39	0,32	2,44	2,33	12,03	8,97	11,23	8,56	26,10	20,18	2,65	17,53						
	Aislone_e4_i2	0,25	0,22	1,80	1,81	11,97	8,81	11,39	8,57	25,41	19,41	2,03	17,38						
	Aislone_e2_i4	0,29	0,23	1,94	1,82	12,05	8,85	11,46	8,60	25,73	19,50	2,06	17,45						
	Aislone_e4_i4	0,20	0,17	1,50	1,50	12,00	8,73	11,56	8,60	25,25	19,01	1,68	17,33						
	Hemp_e4	0,67	0,56	3,61	3,51	12,09	9,26	10,78	8,48	27,15	21,80	4,07	17,74						
	Hemp_i4	0,69	0,57	3,63	3,53	12,39	9,43	11,02	8,60	27,72	22,13	4,10	18,03						
	Hemp_e2_i2	0,70	0,58	3,68	3,58	12,24	9,35	10,90	8,54	27,53	22,05	4,16	17,89						
	Hemp_e4_i2	0,56	0,46	3,15	3,05	12,09	9,16	10,98	8,53	26,78	21,19	3,51	17,68						
	Hemp_e2_i4	0,56	0,46	3,15	3,05	12,21	9,22	11,07	8,57	26,99	21,31	3,51	17,80						
	Hemp_e4_i4	0,46	0,38	2,76	2,65	12,08	9,07	11,13	8,56	26,43	20,66	3,03	17,63						
	EXT_REF	0,88	0,75	4,80	4,70	15,11	11,37	13,12	10,05	33,91	26,86	5,45	21,41						
Aislone_e4	0,24	0,37	1,85	2,74	14,21	10,19	13,96	10,11	30,26	23,41	3,10	20,30							
Aislone_i4	0,30	0,24	2,02	1,91	14,63	10,40	14,32	10,26	31,26	22,80	2,15	20,66							
Aislone_e2_i2	0,29	0,24	2,05	1,94	14,35	10,25	14,11	10,15	30,80	22,58	2,18	20,40							
Aislone_e4_i2	0,18	0,16	1,44	1,46	14,25	10,05	14,34	10,18	30,20	21,85	1,62	20,23							
Aislone_e2_i4	0,19	0,17	1,48	1,48	14,33	10,09	14,41	10,21	30,41	21,95	1,65	20,30							
Aislone_e4_i4	0,15	0,13	1,16	1,18	14,26	9,95	14,56	10,22	30,13	21,47	1,30	20,17							
Hemp_e4	0,51	0,42	3,14	3,03	14,46	10,63	13,50	10,04	31,61	24,13	3,45	20,67							
Hemp_i4	0,52	0,43	3,15	3,05	14,82	10,82	13,78	10,17	32,27	24,47	3,48	20,99							
Hemp_e2_i2	0,53	0,44	3,21	3,11	14,65	10,73	13,64	10,10	32,03	24,38	3,55	20,83							
Hemp_e4_i2	0,42	0,35	2,70	2,60	14,45	10,49	13,76	10,10	31,34	23,54	2,94	20,60							
Hemp_e2_i4	0,43	0,35	2,70	2,60	14,59	10,57	13,87	10,15	31,58	23,67	2,95	20,72							
Hemp_e4_i4	0,35	0,29	2,34	2,23	14,42	10,38	13,96	10,14	31,08	23,04	2,52	20,52							
sem elementos de sombreamento	EXT_REF	0,88	0,75	4,80	4,70	15,11	11,37	13,12	10,05	33,91	26,86	5,45	21,41						
	Aislone_e4	0,24	0,37	1,85	2,74	14,21	10,19	13,96	10,11	30,26	23,41	3,10	20,30						
	Aislone_i4	0,30	0,24	2,02	1,91	14,63	10,40	14,32	10,26	31,26	22,80	2,15	20,66						
	Aislone_e2_i2	0,29	0,24	2,05	1,94	14,35	10,25	14,11	10,15	30,80	22,58	2,18	20,40						
	Aislone_e4_i2	0,18	0,16	1,44	1,46	14,25	10,05	14,34	10,18	30,20	21,85	1,62	20,23						
	Aislone_e2_i4	0,19	0,17	1,48	1,48	14,33	10,09	14,41	10,21	30,41	21,95	1,65	20,30						
	Aislone_e4_i4	0,15	0,13	1,16	1,18	14,26	9,95	14,56	10,22	30,13	21,47	1,30	20,17						
	Hemp_e4	0,51	0,42	3,14	3,03	14,46	10,63	13,50	10,04	31,61	24,13	3,45	20,67						
	Hemp_i4	0,52	0,43	3,15	3,05	14,82	10,82	13,78	10,17	32,27	24,47	3,48	20,99						
	Hemp_e2_i2	0,53	0,44	3,21	3,11	14,65	10,73	13,64	10,10	32,03	24,38	3,55	20,83						
	Hemp_e4_i2	0,42	0,35	2,70	2,60	14,45	10,49	13,76	10,10	31,34	23,54	2,94	20,60						
	Hemp_e2_i4	0,43	0,35	2,70	2,60	14,59	10,57	13,87	10,15	31,58	23,67	2,95	20,72						
	Hemp_e4_i4	0,35	0,29	2,34	2,23	14,42	10,38	13,96	10,14	31,08	23,04	2,52	20,52						

Anexo 23 - Influência de palas de sombreamento nas necessidades energéticas úteis

Solução de isolamento térmico	Diferença de gastos energéticos entre paredes simples com e sem sombreamento [KWh/m2]		Diferença de gastos energéticos entre paredes duplas com e sem sombreamento [KWh/m2]	
	Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu
EXT_REF	-4,26	-2,29	-4,34	-2,31
Aislone_e4	-4,66	-2,40	-4,54	-3,45
Aislone_i4	-4,75	-2,42	-4,78	-2,44
Aislone_e2_i2	-4,67	-3,08	-4,71	-2,40
Aislone_e4_i2	-4,62	-2,44	-4,80	-2,45
Aislone_e2_i4	-4,67	-2,44	-4,69	-2,45
Aislone_e4_i4	-4,86	-2,46	-4,88	-2,46
Hemp_e4	-4,40	-2,31	-4,46	-2,32
Hemp_i4	-4,49	-2,33	-4,55	-2,35
Hemp_e2_i2	-4,43	-2,31	-4,50	-2,33
Hemp_e4_i2	-4,51	-2,34	-4,56	-2,35
Hemp_e2_i4	-4,54	-2,34	-4,60	-2,36
Hemp_e4_i4	-4,60	-2,36	-4,65	-2,38

Anexo 24 - Comparação das necessidades energéticas úteis entre paredes simples e duplas

Condições de sombreamento	Solução de parede dupla com isolamento térmico	Necessidades energéticas totais parede simples [KWh/m2]		Necessidades energéticas totais parede dupla [KWh/m2]		Diferença de necessidades energéticas entre parede simples e dupla [KWh/m2]	
		Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu	Ano	Arr_Aqu
com elementos de sombreamento	EXT_REF	30,46	25,65	29,57	24,56	0,89	1,09
	Aislone_e4	25,84	20,14	25,73	19,96	0,11	0,18
	Aislone_i4	26,59	20,55	26,48	20,37	0,11	0,19
	Aislone_e2_i2	26,21	19,67	26,10	20,18	0,11	-0,51
	Aislone_e4_i2	25,62	19,51	25,41	19,41	0,21	0,11
	Aislone_e2_i4	25,78	19,61	25,73	19,50	0,06	0,11
	Aislone_e4_i4	25,28	19,08	25,25	19,01	0,03	0,07
	Hemp_e4	27,51	22,28	27,15	21,80	0,36	0,47
	Hemp_i4	28,08	22,60	27,72	22,13	0,36	0,48
	Hemp_e2_i2	27,89	22,54	27,53	22,05	0,36	0,49
	Hemp_e4_i2	27,02	21,54	26,78	21,19	0,25	0,35
Hemp_e2_i4	27,23	21,65	26,99	21,31	0,25	0,35	
Hemp_e4_i4	26,60	20,92	26,43	20,66	0,17	0,26	
sem elementos de sombreamento	EXT_REF	34,73	27,93	33,91	26,86	0,82	1,07
	Aislone_e4	30,49	22,54	30,26	23,41	0,23	-0,86
	Aislone_i4	31,34	22,98	31,26	22,80	0,08	0,17
	Aislone_e2_i2	30,88	22,75	30,80	22,58	0,08	0,17
	Aislone_e4_i2	30,24	21,95	30,20	21,85	0,04	0,10
	Aislone_e2_i4	30,45	22,05	30,41	21,95	0,04	0,10
	Aislone_e4_i4	30,15	21,54	30,13	21,47	0,02	0,06
	Hemp_e4	31,91	24,59	31,61	24,13	0,30	0,46
	Hemp_i4	32,57	24,93	32,27	24,47	0,29	0,46
	Hemp_e2_i2	32,33	24,85	32,03	24,38	0,30	0,47
	Hemp_e4_i2	31,53	23,87	31,34	23,54	0,19	0,33
Hemp_e2_i4	31,78	24,00	31,58	23,67	0,19	0,33	
Hemp_e4_i4	31,20	23,28	31,08	23,04	0,13	0,24	