

## **Caracterização experimental do comportamento físico de argamassas de desempenho térmico melhorado**

Humberto Fernandes Sequeira Borges de Melo

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

### **Engenharia Civil**

Orientadores: Professora Doutora Maria da Glória de Almeida Gomes

Professora Doutora Inês dos Santos Flores Barbosa Colen

### **Júri**

Presidente: Professor Doutor Albano Luís Rebelo da Silva das Neves e Sousa

Orientador: Professora Doutora Maria da Glória de Almeida Gomes

Vogal: Professora Doutora Maria Paulina Santos Forte de Faria Rodrigues

**Março de 2014**

## **Caracterização experimental do comportamento físico de argamassas de desempenho térmico melhorado**

Dissertação elaborada no âmbito do projecto NANORENDER

*-Performance of silica nanoaerogel – based renders-*

Projeto FCT PTDC / ECM / 118262 /2010



União Europeia

Feder



Governo da República Portuguesa

**FCT** Fundação para a Ciência e a Tecnologia

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E DO ENSINO SUPERIOR

Portugal



## Agradecimentos

Apesar desta dissertação se apresentar como uma componente de avaliação individual, na verdade, não teria sido possível realizá-la sem a partilha de conhecimentos, companheirismo e o auxílio e cooperação de algumas pessoas. Por isso, não posso deixar de manifestar o meu agradecimento a todos os que, nas várias áreas e fases de estudo, contribuíram para a concretização deste meu trabalho.

À professora Inês Flores-Colen e à professora Maria da Glória Gomes, orientadoras científicas da minha dissertação, pela rigorosa orientação, partilha de conhecimentos e informação científica, pela pronta disponibilidade e incansável confiança demonstrada.

Ao meu amigo e colega engenheiro António Soares, bolseiro de investigação científica no Instituto Superior Técnico, pela incansável dedicação e apoio técnico, e pela solidária partilha de conhecimentos e de experiência académica.

Aos senhores Leonel Silva e João Lopes do Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico, em particular, pela colaboração e ajuda operacionais prestadas na realização dos ensaios necessários para esta dissertação.

Ao meu colega de curso e amigo Henrique Vale, que desenvolveu a sua dissertação em paralelo com a minha, pela permuta de informação e dados técnicos, companheirismo e amizade, ao longo de todo o trabalho desenvolvido.

Às empresas Weber, Secil e Diasen, pela disponibilização das argamassas industriais em pó.

À FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia), dado o trabalho ter sido desenvolvido no âmbito do projecto de investigação FCT PTDC/ECM/11826/2010 NANORENDER – Performance of sílica nanoaerogel – *based renders*.

A todos os meus amigos e namorada que, de uma forma ou de outra, me transmitiram confiança e incentivaram na conclusão de mais uma etapa académica.

E por último, mas não menos importante, à minha família. Em especial à minha mãe e ao meu pai, à minha irmã Ana, ao meu irmão Miguel e ao meu tio Armando, pela amizade, pela motivação, pela constante preocupação e pelo constante acompanhamento demonstrados durante o percurso académico. Sem eles não seria possível a minha formação universitária.



## Resumo

Os revestimentos de paredes, com argamassas de desempenho térmico melhorado, através da adição de agregados isolantes nas argamassas, podem contribuir para a reabilitação energética na construção, sem haver perda de área útil. As argamassas com desempenho térmico melhorado surgem no âmbito da construção sustentável, com intuito de reduzir as trocas de calor pela envolvente e as pontes térmicas do edifício, criando uma envolvente termicamente mais eficiente.

O presente trabalho pretende caracterizar o comportamento físico de argamassas com desempenho térmico melhorado, através da incorporação de cortiça e de EPS. Para o efeito, foram produzidas, em laboratório, quatro argamassas industriais com propriedades térmicas e duas argamassas tradicionais, em que a areia foi substituída por agregados com propriedades isolantes (cortiça e de EPS). Foi produzida, também, uma argamassa de referência para fins comparativos.

Foram realizados ensaios da massa volúmica aparente no estado fresco e endurecido, teor de ar, porosidade, absorção de água por capilaridade e sob baixa pressão, índice de secagem e ensaios de condutibilidade térmica. Por último, fez-se uma análise crítica comparativa dos resultados obtidos para as diferentes argamassas.

Em suma, foi possível verificar que são necessárias quantidades superiores a 70%, em volume, de incorporação de agregados isolantes (cortiça e EPS) nas argamassas, de modo a obter-se um decréscimo significativo da condutibilidade térmica das mesmas. A incorporação de granulado de cortiça e EPS, em quantidades superiores a 70%, provocou significativas alterações no comportamento físico destas argamassas. Segundo a norma EN 998-1 (CEN, 2010), as argamassas térmicas têm coeficientes de condutibilidade térmica inferiores ou iguais a 0,2 W/m.K. Ao contrário das argamassas industriais, as argamassas tradicionais não atingiram os requisitos para argamassas térmicas da norma, apesar de apresentarem melhorias significativas na condutibilidade térmica face à argamassa de referência.

Palavras-Chave: Agregados isolantes térmicos; cortiça e EPS; comportamento físico; condutibilidade térmica.



## **Abstract**

Mortar coating with thermal behaviour, by incorporating lightweight insulation aggregates may contribute to building's energetic rehabilitation without loss of usable area. Mortars with improved thermal performance arise in the context of sustainable construction, in order to reduce heat exchange and thermal bridges in buildings, creating an immersive more thermally efficient.

The present work aims to characterize of physical behavior of mortars with improved thermal performance, with incorporation of cork and EPS. For this purpose, four industrial mortars with thermal properties and two traditional mortars were produced in the laboratory, where the sand was replaced by aggregates with insulating properties (cork and EPS). Finally, a reference traditional mortar, without insulating aggregates, has also produced for comparative purposes.

Bulk density in fresh and hardened mortars, air content, open porosity, water absorption under low pressure, water absorption coefficient due to capillary, drying rate and thermal conductivity tests were performed in all mortars. In the end, the obtained results for the different mortars were compared and critically analyzed.

In conclusion, the results shown the need to incorporate a large amount, over 70% of volume, of insulating aggregates (cork and EPS), in order to obtain a significant decrease in the thermal conductivity. The incorporation of these aggregates causes significant changes in the physical behavior of these mortars. Only the industrial thermal mortars have coefficients of thermal conductivity low or equal to 0,2 W/m.K, the requirement for thermal mortars according to EN 998-1 (CEN, 2010).

**KEYWORDS:** Thermal insulating aggregates; cork and EPS; physical behavior; thermal conductivity.





# Índice

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>XV</b>
<b>SIMBOLOGIA</b> .....	<b>XVII</b>
<b>ARGAMASSAS</b> .....	<b>XVII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. Considerações iniciais .....	1
1.2. Objectivos e metodologia da dissertação .....	2
1.3. Estrutura da dissertação .....	2
<b>2. ARGAMASSAS</b> .....	<b>3</b>
2.1. Considerações gerais .....	3
2.2. Enquadramento histórico .....	3
2.3. Argamassas de revestimento.....	4
2.3.1. Exigências funcionais das argamassas de revestimento .....	4
2.4. Classificação das argamassas.....	5
2.4.1. Argamassas tradicionais .....	6
2.4.2. Argamassas industriais .....	8
2.5. Constituintes das argamassas .....	9
2.5.1. Ligantes.....	10
2.5.2. Agregados pétreos .....	11
2.5.3. Água.....	12
2.5.4. Adjuvantes e adições .....	13
2.6. Argamassas térmicas ou de desempenho térmico melhorado.....	14
2.6.1. Revestimento de desempenho térmico melhorado .....	14
2.6.2. Características das argamassas térmicas.....	16
2.6.3. Materiais isolantes .....	17
2.6.4. Estudos já realizados sobre argamassas com comportamento térmico melhorado.....	23

2.6.4.1 Argamassas Tradicionais	23
2.6.4.2 Argamassas Industriais	25
2.6.4.2 Análise comparativa	27
2.7. Síntese do capítulo .....	27
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DO TRABALHO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>29</b>
3.1. Considerações gerais .....	29
3.2. Descrição geral do plano de ensaios .....	29
3.3. Caracterização dos materiais constituintes das argamassas .....	30
3.3.1. Argamassas tradicionais .....	30
3.3.2. Argamassas industriais .....	32
3.4. Produção das argamassas .....	33
3.4.1. Mistura .....	33
3.4.2. Provetes .....	35
i) Provete prismático - 40x40x160 mm <sup>3</sup> .....	37
ii) Provete prismático - 80x70x25 mm <sup>3</sup> .....	38
iii) Provete prismático - 300x300x50 mm <sup>3</sup> .....	39
3.5. Plano de ensaios .....	38
3.6. Caracterização das argamassas no estado fresco .....	39
3.6.1. Consistência por espalhamento .....	39
3.6.2. Massa volúmica aparente da argamassa em pasta .....	40
3.6.3. Teor de ar .....	41
3.7. Caracterização das argamassas no estado endurecido .....	42
3.7.1. Porosidade aparente e massa volúmica aparente .....	42
3.7.2. Secagem .....	45
3.7.3. Permeabilidade à água líquida sob baixa pressão – <i>Tubo de Karsten</i> .....	46
3.7.4. Absorção de água por capilaridade .....	48
3.7.5. Ensaio da condutibilidade térmica .....	50
3.8. Síntese do capítulo .....	53
<b>4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>55</b>
4.1. Considerações gerais .....	55

4.2.	Constituintes das argamassas .....	55
4.2.1.	Baridade.....	55
4.3.	Argamassa no estado fresco .....	56
4.3.1.	Massa volúmica aparente no estado fresco .....	56
4.3.2.	Consistência por espalhamento .....	57
4.3.3.	Teor de ar.....	58
4.4.	Argamassas no estado endurecido .....	59
4.4.1.	Massa volúmica aparente no estado endurecido .....	60
4.4.2.	Porosidade aparente .....	62
4.4.3.	Ensaio de absorção de água por capilaridade .....	63
4.4.4.	Absorção de água sob baixa pressão – <i>Tubo Karsten</i> .....	67
4.4.5.	Ensaio da secagem.....	69
4.4.6.	Condutibilidade térmica.....	71
4.5.	Correlações entre as diferentes características.....	78
4.6.	Conclusão do capítulo.....	81
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....</b>	<b>85</b>
5.1.	Considerações finais .....	85
5.2.	Conclusões gerais.....	85
5.3.	Propostas de desenvolvimentos futuros .....	88
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>89</b>
	ANEXOS .....	1
	ANEXO A.3.1 – FICHA DA AREIA.....	2
	ANEXO A.4.1 - ENSAIO DA BARIDADE .....	3
	ANEXO A.4.2 – MASSA VOLÚMICA APARENTE, NO ESTADO FRESCO .....	4
	ANEXO A4.3 – CONSISTÊNCIA POR ESPALHAMENTO .....	4
	ANEXO A4.4 – TEOR DE AR .....	5
	ANEXO A4.5 - MASSA VOLÚMICA APARENTE NO ESTADO ENDURECIDO (MÉTODO GEOMÉTRICO E MÉTODO DE PESAGEM HIDROSTÁTICO) .....	5
	ANEXO A4.6 – POROSIDADE APARENTE .....	8
	ANEXO A4.7 – ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE .....	9
	ANEXO A4.8 – ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO – TUBO DE <i>KARSTEN</i> .....	16
	ANEXO A4.9 – COEFICIENTE DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA .....	20



# Índice de Figuras

Figura 2.1 História das argamassas - Linha do tempo [W2].....	4
Figura 2.2 - Evolução da utilização das argamassas industriais ([W4]).....	8
Figura 2.3 - Esquema indicativo do processo de produção industrial de argamassas ([W9]) .....	9
Figura 2.4 - Granulado de Cortiça .....	19
Figura 2.5 -Granulado de poliestireno expandido.....	20
Figura 3.1 - Enchimento do recipiente.....	31
Figura 3.2 - Nivelamento da superfície.....	31
Figura 3.3 - Pesagem do recipiente.....	31
Figura 3.4 - Peneiração do granulado de cortiça.....	31
Figura 3.5 - Pesagem do granulado de cortiça.....	31
Figura 3.6 - Pesagem do granulado de EPS .....	32
Figura 3.7 - Movimento de rotação.....	34
Figura 3.8 - Remoção do material aderente às paredes do recipiente .....	34
Figura 3.9 - Pesagem do produto em pó .....	35
Figura 3.10 - Mistura do produto em pó .....	35
Figura 3.11 - Mistura manual do produto.....	35
Figura 3.12 - Repouso da argamassa .....	35
Figura 3.13 - Moldes com 3 provetes prismáticos .....	36
Figura 3.14 – Provette para o equipamento <i>Isomet 2114</i> .....	36
Figura 3.15 - Equipamento <i>Isomet 2114</i> .....	36
Figura 3.16 - Moldes dos provetes para o <i>Isomet 2114</i> .....	36
Figura 3.17 - Provette 300x300x50 mm <sup>3</sup> .....	37
Figura 3.18 - Equipamento Rapid-K.....	37
Figura 3.19 - Molde construído no laboratório .....	37
Figura 3.20 - Tijolo com furação horizontal .....	37
Figura 3.21 – Cofragens de madeira .....	38
Figura 3.22 - Camada de 4 cm de argamassa sobre o tijolo .....	38
Figura 3.23 - Molde centrado com o disco .....	39
Figura 3.24 - Compactação da primeira camada do molde.....	39

Figura 3.25 - Rotação manual do manípulo da mesa de espalhamento .....	40
Figura 3.26 - Medição do diâmetro da argamassa espalhada.....	40
Figura 3.27 - Massa do copo cilíndrico .....	41
Figura 3.28 - Compactação da primeira camada da argamassa fresca .....	41
Figura 3.29 - Pesagem do conjunto m2.....	41
Figura 3.30 - Manómetro .....	42
Figura 3.31 - Exsicador .....	43
Figura 3.32 - Sílica gel.....	43
Figura 3.33 - Provetes submersos em água.....	44
Figura 3.34 - Pesagem hidrostática para obtenção da massa M2.....	44
Figura 3.35 - Ensaio de secagem nos provetes prismáticos normalizados .....	46
Figura 3.36 - Ensaio do tubo de <i>Karsten</i> .....	47
Figura 3.37 - Estufa a 60 C° .....	49
Figura 3.38 - - Provetes na tina com água .....	49
Figura 3.39 - Tina coberta para evitar a evaporação de água .....	49
Figura 3.40 - Medição da condutibilidade térmica com o equipamento <i>Isomet 2114</i> .....	50
Figura 3.41 - <i>Rapid-K</i> .....	52
Figura 3.42 - Provetes 300 x300 x 50 mm3 de todas as argamassas.....	52
Figura 4.1 - Provetes a flutuar quando colocado em água.....	60
Figura 4.2- Curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas tradicionais, aos 28 dias de idade... 63	63
Figura 4.3 - Curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas industriais, aos 28 dias de idade.... 64	64
Figura 4.4 - Curvas de absorção de água por capilaridade, na fase de absorção rápida..... 64	64
Figura 4.5 - Relação entre coeficiente de absorção capilar calculado pelo declive inicial da curva de absorção e pela norma EN 1015-18..... 65	65
Figura 4.6 - Volume de água absorvido sob baixa pressão em função do tempo, aos 28 dias..... 68	68
Figura 4.7 - Curvas de secagem de todas as argamassas produzidas .....	69
Figura 4.8 - Medição do coeficiente de condutibilidade térmica nos provetes (80x70x2,5mm <sup>3</sup> ) com o equipamento <i>Isomet 2114</i> ..... 71	71
Figura 4.9 - Condutibilidade térmica das argamassas industriais..... 72	72
Figura 4.10 - Condutibilidade térmica das argamassas tradicionais..... 72	72
Figura 4.11 - Face 1 dos provetes da argamassa G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub> ..... 74	74

Figura 4.12 - Face 2 dos provetes da argamassa $G_{EPS}^{Trad}$ .....	74
Figura 4.13 - Coeficiente de condutibilidade térmica das argamassas produzidas aos 28 dias.....	75
Figura 4.14 - Equipamento <i>Rapid-k</i> .....	76
Figura 4.15 - Provetos tipo 2 ensaios com o <i>Isomet 2114</i> .....	76
Figura 4.16 - Relação dos valores obtidos com os diferentes equipamentos, nos provetes tipo 2, aos 14 dias, 28 dias e com o provete seco.....	77
Figura 4.17 - Medição do coeficiente térmica da argamassa aplicada em tijolo com o <i>Isomet 2114</i> .....	78
Figura 4.18 - Valores do coeficiente de condutibilidade térmica das argamassas aplicadas em tijolo.....	78
Figura 4.19 - Correlação entre massa volúmica, no estado endurecido e o coeficiente de condutibilidade térmica.....	79
Figura 4.20 - Correlação entre a R.C. e o coeficiente de condutibilidade térmica das argamassas.....	80
Figura 4.21 - Correlação entre a massa volúmica aparente no estado endurecido com a porosidade aparente ..	80





## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Classificação das argamassas relativamente a vários factores (LOURENCI, 2003).....	6
Tabela 2.2 - Classificação do cimento (IPQ, 2008) .....	10
Tabela 2.3 - Compostos principais do cimento <i>Portland</i> (VIEIRA, 2010) .....	11
Tabela 2.4 - Classificação dos agregados (MENDONÇA, 2007; VEIGA, 2001).....	12
Tabela 2.5-Alguns tipos de adjuvantes (COUTINHO, 1998; GALVÃO, 2009).....	13
Tabela 2.6 - Requisitos para argamassas térmicas, no estado endurecido (norma EN 998-1, (CEN, 2010) .....	16
Tabela 2.7 - Componentes constituintes da cortiça (FORTES, 2004; [W7]).....	18
Tabela 2.8 - Características dos aglomerados de cortiça usados na construção civil (GIL, 2007; FORTES, 2004) .....	19
Tabela 2.9 - Características dos granulados de poliestireno expandido usados na construção civil (BHUTTA, 2008; [W8]; [W5]).....	21
Tabela 2.10 – Características físicas das argamassas estudadas por BRÁS et al. (2013) .....	23
Tabela 2.11 - Características físicas das argamassas estudadas por ALI (2011) .....	24
Tabela 2.12 - Características físicas de uma argamassa estudada por MARTINS (2010).....	24
Tabela 2.13 - Características físicas da argamassa estudada por GOLÇALVES et al. (2012) .....	25
Tabela 2.14 - Características físicas da argamassa estudada por FRADE et al. (2012).....	25
Tabela 2.15 - Características físicas das argamassas industriais de acordo com os respetivos catálogos .....	25
Tabela 2.16 - Características físicas das argamassas com incorporação de agregados isolantes, tradicionais e industriais .....	28
Tabela 3.1 - Características das argamassas tradicionais produzidas em laboratório .....	32
Tabela 3.2 - Constituintes das argamassas industriais produzidas em laboratório .....	33
Tabela 3.3 - Relação dos valores da massa volúmica aparente no estado fresco com o espalhamento (EN 1015-2 (CEN, 1998a).....	40
Tabela 4.1 - Baridades de todos os materiais utilizados .....	55
Tabela 4.2 - Massa volúmica, no estado fresco, das argamassas produzidas.....	56
Tabela 4.3 – Resultados médios do ensaio de consistência por espalhamento .....	57
Tabela 4.4 - Percentagem de teor de ar das argamassas produzidas .....	59
Tabela 4.5 - Massa volúmica aparente aos 28 dias .....	60
Tabela 4.6 - Porosidade aparente das argamassas aos 28 dias.....	62

Tabela 4.7 - Comparação dos resultados do coeficiente de absorção de água por capilaridade através da EN 1015-18 (CEN (2002)) e o declive do troço inicial para o intervalo estipulado .....	65
Tabela 4.8 - Valores expectáveis e valores obtidos do valor de C .....	66
Tabela 4.9 - Resultados médios da absorção de água sob baixa pressão, aos 28 dias, das argamassas aplicadas em tijolos .....	68
Tabela 4.10 - Valor do índice de secagem e respectivo desvio padrão .....	70
Tabela 4.11- Coeficiente de condutibilidade térmica em função do teor de água .....	73
Tabela 4.12 - Variações do coeficiente de condutibilidade térmica com a percentagem de água nos provetes tipo 1 .....	73
Tabela 4.13 - Valores da condutibilidade térmica de todas as argamassas, medido com o <i>Isomet 2114</i> , nas 2 fases, aos 28 dias de idade .....	74
Tabela 4.14 - Coeficiente de condutibilidade térmica, nos provetes tipo 2, obtidos no <i>Isomet 2114</i> e no <i>Rapid-k77</i>	
Tabela 4.15 - Matriz de correlações entre características físicas das argamassas .....	79
Tabela 4.16 – Características físicas das argamassas estudadas .....	83

# Simbologia

## Argamassas

$A_{EPS}^{ind}$  - Argamassa industrial com incorporação de EPS

$B_{EPS}^{ind}$  - Argamassa industrial com incorporação de EPS

$C_{Cort}^{ind}$  - Argamassa industrial com incorporação de cortiça

$D_{Cort}^{ind}$  - Argamassa industrial com incorporação de cortiça

$E^{ref}$  - Argamassa tradicional de referência

$F_{cort}^{trad}$  - Argamassa tradicional com incorporação de cortiça

$G_{EPS}^{trad}$  - Argamassa tradicional com incorporação de EPS

## Outros

CV - Coeficiente de Variação

DP - Desvio Padrão

EPS - Poliestireno expandido

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

$\lambda$  - Condutibilidade térmica (W/(m.K))

$\rho$  - Massa volúmica aparente (kg/m<sup>3</sup>)

$R^2$  - Coeficiente de determinação



# 1. Introdução

## 1.1. Considerações iniciais

A construção civil é uma das atividades humanas mais antiga e importante, na história da humanidade. As técnicas de construção foram-se desenvolvendo à medida que as construções deixaram de servir, apenas, de abrigo (PEREIRA, 2009).

O desenvolvimento sustentável, satisfaz as necessidades atuais, sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Assim sendo, foi introduzido o conceito de construção sustentável, com base em seis princípios básicos [W1]:

- minimizar o consumo de recursos;
- maximizar a reutilização dos recursos;
- reciclar materiais em fim de vida e utilizar recursos recicláveis e renováveis;
- proteger o ambiente natural;
- eliminar materiais tóxicos e os subprodutos em todas as fases de ciclo de vida;
- fomentar a qualidade ao criar ambiente construído.

Os revestimentos de paredes, em particular os exteriores, constituem a primeira barreira aos agentes de degradação. Ao longo do tempo, o seu desempenho reduz-se progressivamente, perdendo capacidade ao nível das suas características funcionais de protecção e acabamento (MARTINS, 2010; GIL, 2007). Estes mesmos revestimentos devem conferir à parede características de planeza, verticalidade e regularidade e contribuir para a estanqueidade à água (LUCAS, 1990).

As características exigidas a estes revestimentos de paredes são cada vez mais exigentes, ao nível do comportamento térmico. Tem-se observado, com maior frequência, a aposta em conseguir um comportamento térmico melhorado das argamassas, pela introdução, na sua constituição, de materiais isolantes, nomeadamente de granulado de cortiça e de EPS.

Com a entrada em vigor do RCCTE, em 1990, a sua actualização em 2006 e principalmente a sua actualização em 2013, juntamente com a total implementação da certificação energética em 2009, apareceram novos materiais e soluções construtivas, de modo a melhorar o desempenho térmico dos edifícios (VEIGA, 2010). As argamassas com desempenho térmico melhorado surgem como uma solução eficaz para um bom desempenho térmico dos edifícios, garantindo, ainda assim, um bom comportamento mecânico e físico das mesmas. A formulação de uma argamassa para revestimento com características térmicas implica não só um conhecimento profundo dos seus constituintes, mas também os efeitos por eles provocados. Nesta dissertação, foi realizada uma campanha experimental que visa estudar as alterações, nas características físicas das argamassas, provocadas pela introdução de materiais isolantes (cortiça e EPS).

## **1.2. Objectivos e metodologia da dissertação**

A presente dissertação pretende analisar o comportamento físico de argamassas com desempenho térmico melhorado, tendo em conta estudos já realizados sobre o tema.

Foram analisadas argamassas industriais, comercializadas em Portugal, bem como argamassas tradicionais produzidas em laboratório.

Os principais objetivos da presente dissertação são:

- estudar experimentalmente argamassas de reboco com comportamento térmico melhorado, através da introdução de granulado de cortiça e de EPS;
- perceber a influência do granulado de cortiça e de EPS na constituição de argamassas de desempenho térmico melhorado;
- caracterizar o comportamento físico destas argamassas e ver quais as características mais influenciadas pelos agregados isolantes;
- comparar o desempenho físico das argamassas tradicionais com incorporação de agregado isolante, mas sem adições, com argamassas térmicas industriais;
- avaliar aplicações e restrições das argamassas.

## **1.3. Estrutura da dissertação**

Esta dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos, bibliografia e anexo.

No capítulo 1, fez-se a abordagem inicial e enquadramento do tema, referindo a sua importância na atualidade.

No capítulo 2, caracteriza-se o desempenho das argamassas de revestimento, focalizando as suas características físicas. Analisam-se, também, as características de argamassas com desempenho térmico melhorado e os materiais isolantes que as constituem.

No capítulo 3, é descrito o trabalho experimental realizado, desde a caracterização dos materiais utilizados até aos ensaios físicos realizados às argamassas, no estado fresco e no estado endurecido.

No capítulo 4, são apresentados os resultados do trabalho experimental, descrito no capítulo 3, bem como uma análise crítica comparativa aos mesmos.

No capítulo 5, estão as conclusões finais do trabalho, bem como as propostas para desenvolvimento futuro. No final da dissertação, são indicadas as referências bibliográficas utilizadas, assim como as normas e regulamentos. Nos anexos, apresentam-se os resultados individuais dos ensaios realizados.

## 2. Argamassas

### 2.1. Considerações gerais

Neste capítulo, apresenta-se uma análise ao estado de arte, tendo por objetivo adquirir e consolidar conhecimentos gerais sobre o tema. Evidenciam-se conceitos básicos sobre a térmica, os modos de transmissão de calor, bem como sobre argamassas de revestimento, sua constituição e características. São também abordados os materiais isolantes, com ênfase para a cortiça e o EPS e as argamassas com desempenho térmico melhorado. Para estas, efetuou-se uma pesquisa no mercado e analisou-se o seu comportamento físico.

### 2.2. Enquadramento histórico

O homem primitivo, na tentativa de melhorar a sua qualidade de vida, procurou dentro dos recursos naturais criar condições favoráveis para se proteger, passando a edificar abrigos. Inicialmente, estas edificações eram frágeis, porém com a evolução do conhecimento dos materiais existentes passou-se a edificar construções mais sólidas. As primeiras argamassas foram produzidas e utilizadas há mais de 10.000 anos, sendo o gesso o primeiro aglutinante não hidráulico a surgir (SANTOS, 2009; BRANCO, 1981).

As misturas de aditivos e adjuvantes (como resinas, proteínas e cinzas) com os ligantes e agregados são também conhecidas, desde a Antiguidade e Idade Média, com intuito de controlar o tempo de presa, conferir hidráulicidade e aumentar a durabilidade das construções (GALVÃO, 2009; LANAS et al, 2004)

A degradação das construções em ambientes marítimos e fluviais impulsionou o desenvolvimento de ligantes hidráulicos. O estudo dos referidos ligantes foi desenvolvido pelo engenheiro inglês John Smeaton (1724-1792), sendo o estudo aplicado no farol de Eddystone (Plymouth, Inglaterra). Este farol foi a primeira construção realizada com argamassas constituídas por ligantes hidráulicos (MONTEIRO, 2008; SANTOS, 2009).

O desenvolvimento da produção e estudo das propriedades do cimento deveu-se a John Smeaton, contudo foi Joseph Aspdin que, em 1824, patenteou o cimento *Portland* (nome dado devido à semelhança da pedra que se extraí das minas na península de *Portland*, no sul de Inglaterra) (SANTOS, 2009). A Figura 2.1, mostra a evolução histórica das argamassas.

Em Portugal, o isolamento térmico é utilizado na construção de edifícios desde a década de 1950 e é hoje um componente essencial para o bom desempenho energético dos edifícios, conforto interior e durabilidade das construções.



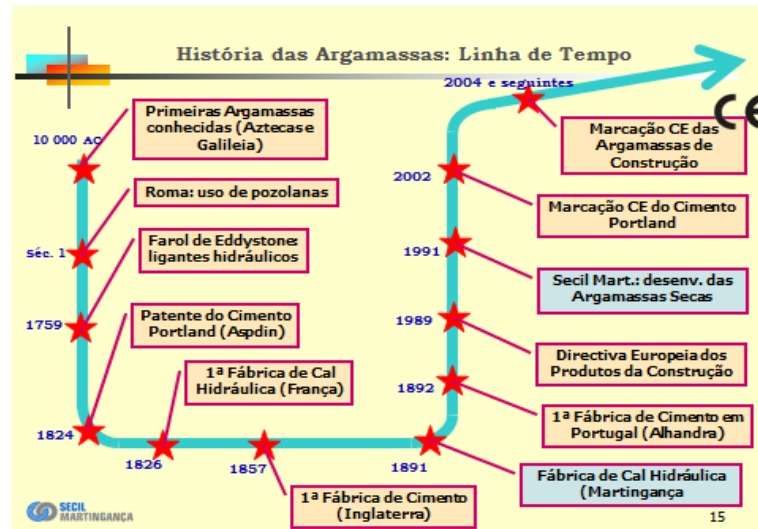


Figura 2.1 História das argamassas - Linha do tempo [W2]

O RCCTE, que surgiu na década de 1990, foi o primeiro regulamento que impôs requisitos ao projeto de novos edifícios e de grandes remodelações, de modo a garantir as condições de conforto térmico no interior dos edifícios (VEIGA, 2010).

As argamassas com desempenho térmico melhorado surgem no âmbito da construção sustentável, com intuito de reduzir as trocas de calor pela envolvente e as pontes térmicas do edifício, criando uma envolvente, termicamente, mais eficiente.

## 2.3. Argamassas de revestimento

### 2.3.1. Exigências funcionais das argamassas de revestimento

Na construção, os revestimentos e acabamentos são a primeira camada de proteção dos edifícios, face às acções agressivas, quer sejam de natureza química ou mecânica e contribuem para um adequado desempenho de um edifício como um todo. Para garantir um bom desempenho de argamassas de revestimento, devem ser adequadas à base onde são aplicadas; ter resistência mecânica suficiente; serem relativamente deformáveis, de modo a absorverem deformações naturais a que uma estrutura está sujeita; ter impermeabilidade suficiente; um bom comportamento aos sais; garantir um bom acabamento ao paramento revestido e conceber uma aparência estética agradável. (APPLETON, 2003; VEIGA, 2002; RECENA, 2008).

A qualidade de uma argamassa é importante para a durabilidade das construções, pois é a argamassa de revestimento o primeiro material a ser atacado pelos agentes de deterioração externos. Os revestimentos à base de argamassas são os revestimentos mais utilizados na construção, daí serem exigidas características cada vez mais rigorosas, quer a nível físico, térmico ou acústico. Têm-se desenvolvido estudos de forma a introduzir novos materiais na constituição das argamassas, com objetivo de melhorar o seu comportamento térmico, mantendo ou até, em muitos casos, melhorando características físicas (FRADE et al., 2012).

As características de desempenho de rebocos exteriores estão relacionadas com o comportamento mecânico e com o comportamento face à água. Em relação ao comportamento face à água, são relevantes características como a permeabilidade à água líquida, a capilaridade e a secagem (FLORES-COLEN, 2009). No âmbito desta dissertação, estas características serão testadas assim como outras de carácter físico.

## **2.4. Classificação das argamassas**

Na indústria da construção, o termo argamassa representa uma mistura de água, areia natural, agregadas por um ligante, entre os quais a cal aérea, a cal hidráulica e o cimento, os mais usados em Portugal. As argamassas são, geralmente, usadas para unir tijolos e blocos, bem como para acabamentos superficiais, interior e exterior (SMITH et al., 2011).

A qualidade de uma argamassa não está apenas dependente do seu traço, mas também das características dos seus constituintes e da sua quantidade. Torna-se, por isso, necessário um bom conhecimento sobre esses constituintes, para que seja possível proporcionar premeditadamente características específicas à argamassa a produzir.

O traço de uma argamassa não é mais do que a proporção dos componentes relativamente ao ligante. Usualmente calcula-se em massa, convertendo-se no traço em volume, o mais usado em obras de construção civil. O traço de uma argamassa, “1: x”, significa que para uma dada medida em volume do ligante (cimento), adiciona-se “x” medidas, em volume, de agregado miúdo (areia) (LOURENCI, 2003)

As argamassas possuem variadas aplicações, entre as quais se destacam (RECENA, 2008; [W3]):

- assentamento de alvenaria;
- revestimento de paredes e tetos;
- refechamento de juntas;
- assentamento de ladrilhos e azulejos;
- assentamentos de placas de pedra;
- assentamentos de manilhas e tubagens;
- betonilhas;
- execução de remates e acabamentos;
- reparações.

As argamassas podem ser classificadas de diversos modos, quanto à sua aplicação, tipo de ligante, número de elementos ativos, dosagem e consistência, tal como se demonstra na Tabela 2.1 (LOURENCI, 2003).

Tabela 2.1 - Classificação das argamassas relativamente a vários factores (LOURENCI, 2003)

<b>Classificação da argamassa quanto:</b>				
<b>À aplicação</b>	<b>Ao tipo de ligante</b>	<b>Ao número de elementos activos</b>	<b>À dosagem</b>	<b>À consistência</b>
<b>Comuns</b> (para rejuntamentos, revestimentos, pisos, injeções)	<b>Aéreas</b> (cal aérea, gessa)	<b>Simple</b> (um ligante)	<b>Pobres ou magras</b> (volume de pasta insuficiente para preencher vazios)	<b>Secas</b>
<b>Refractárias</b> (para fornos, revestimentos térmicos)	<b>Hidráulicas</b> (cal hidráulica, cimento)	<b>Bastarda</b> (mais de um ligante)	<b>Ricas ou gordas</b> (excesso de pasta)	<b>Plásticas</b>
	<b>Mistas</b> (cimento e cal aérea)		<b>Cheias</b> (quantidade suficiente de pasta)	<b>Fluidas</b>

Para melhorar as propriedades da argamassa, para além da quantidade e qualidade dos componentes, também é frequente o uso de adições e adjuvantes, por forma a torná-la mais eficiente. As argamassas devem apresentar as seguintes características (RECENA, 2008):

- trabalhabilidade adequada à função a que se destinam;
- eficiente capacidade de retenção de água;
- durabilidade compatível com a vida útil prevista para a edificação;
- estabilidade química face aos agentes de deterioração;
- estabilidade física, a partir da resistência mecânica compatível com as solicitações determinadas por ciclos de molhagem/secagem;
- capacidade de aderir ao suporte formando um sistema com resistência de aderência compatível com as solicitações;
- módulo de elasticidade o mais baixo possível quanto o necessário para a argamassa ter capacidade de absorver tensões internas, geradas pelo movimentação da estrutura e/ou materiais que a compõem.

As argamassas podem ser produzidas em obra, argamassas tradicionais, ou produzidas em unidades fabris, argamassas industriais. O acabamento final pode ser revestido de cerâmica, pintura ou uma diversidade de acabamentos com cores variadas e texturas especiais. Podem, ainda, ter propriedades térmicas melhoras, com a adição de agregados para o efeito.

#### **2.4.1. Argamassas tradicionais**

As argamassas são conhecidas há 10000 anos e até ao período pós-guerra eram todas produzidas em obra. As matérias-primas eram transportadas e armazenadas num estaleiro, até à data de utilização das mesmas. As matérias-primas são misturadas em obra e aplicadas logo de seguida [W4].

Os revestimentos tradicionais de ligantes hidráulicos são executados a partir de argamassas doseadas e preparadas em obra, utilizando usualmente a areia existente na região. São constituídos por duas ou três camadas; o crespido (se necessário), camada de base e a camada de acabamento. O número de camadas depende do tipo de acabamento e do grau de proteção pretendido. O crespido existirá quando o suporte não garantir, por si só, uma boa aderência ao revestimento [W4].

O emboço ou camada de base é a camada de regularização da superfície, que deverá garantir a planeza, a verticalidade, a regularidade e a impermeabilização, não devendo ter uma espessura superior a 2 cm. Há situações em que é necessário duas camadas base, nomeadamente quando: o suporte do revestimento for uma armadura metálica; a espessura de regularização da parede for superior a 15 mm; a camada de acabamento não for contínua; e em condições severas de exposição, não existir crespido (MENDONÇA, 2007; [W4]).

As argamassas com forte teor de ligante são de boa trabalhabilidade, boa aderência ao suporte, boa compacidade mas têm elevada tendência para a fissuração de retracção. No entanto, as argamassas com baixa dosagem de ligante fazem com que o revestimento seja demasiado poroso, pouco aderente ao suporte e com baixa trabalhabilidade. Os revestimentos tradicionais têm mais uma camada, designada por acabamento, que possui uma pequena espessura e tem como função preparar a superfície para receber o acabamento final. Esta camada deve igualmente proteger a parede à penetração da água (RECENA, 2008; [W4]).

Para a aplicação das argamassas em obra, é necessário o transporte e armazenamento das matérias-primas, para se proceder ao seu fabrico, no local onde irão ser aplicadas, *in situ*. As argamassas são produzidas no momento, sendo necessário afectar mão-de-obra unicamente para a tarefa de doseamento de matérias-primas e preparação das argamassas, não garantindo a similaridade e qualidade das argamassas, devido à difícil quantificação das matérias-primas introduzidas na mistura (MONTEIRO, 2008).

Actualmente o insucesso que se aponta aos revestimentos tradicionais deve-se essencialmente: (LOURENCI, 2003; HENZ, 2009):

- ao desaparecimento de mão-de-obra com domínio da tecnologia do tradicional;
- à utilização imponderada, como ligante único, o cimento *Portland* nas argamassas, com abandono da cal;
- à utilização dos agregados existentes em cada região que podem não ser os mais adequados;
- à execução demasiado rápida sem se respeitar o trabalho de preparação do suporte;
- à insuficiência de humedecimento prévio do suporte ou à falta de humedecimento posterior à execução das diversas camadas do revestimento.
- à insuficiência de espaço no estaleiro (por exemplo, armazenamento de materiais).

## 2.4.2. Argamassas industriais

Com o passar dos anos foi necessário industrializar os processos construtivos no setor da Construção Civil, visando a melhoria da produtividade, com conseqüente redução do custo de mão-de-obra, estimulando a utilização de produtos fabris, levando ao aparecimento das argamassas industriais (ARROMBA, 2011).

As argamassas industriais são doseadas e misturadas em fábrica. Dentro das argamassas industriais, existem as pré-misturadas, cujos componentes são doseados e misturados em fábrica e em obra são adicionados outros componentes que o fabricante especifica ou também fornece. Por outro lado, existem as argamassas pré-doseadas, que são aquelas cujos componentes são doseados em fábrica e em obra são misturados com água, segundo instruções do fabricante (NASCIMENTO, 2006).

Atualmente, assiste-se a uma crescente utilização de argamassas fabris ou industriais. São obtidas através de um processo controlado, pois o doseamento e a mistura das várias matérias-primas são estudados de forma a melhorar a qualidade da argamassa. Têm inúmeras vantagens quando comparadas com as argamassas tradicionais: possuem matérias-primas adequadas; permitem uma maior garantia de qualidade; diminuem a possibilidade de ocorrência de erros humanos; permitem um maior controlo da operação e conferem ao estaleiro um melhor aproveitamento do espaço disponível (PAULO, 2006: [W4]). A Figura 2.2 mostra a evolução da utilização das argamassas industriais, expressa em toneladas:

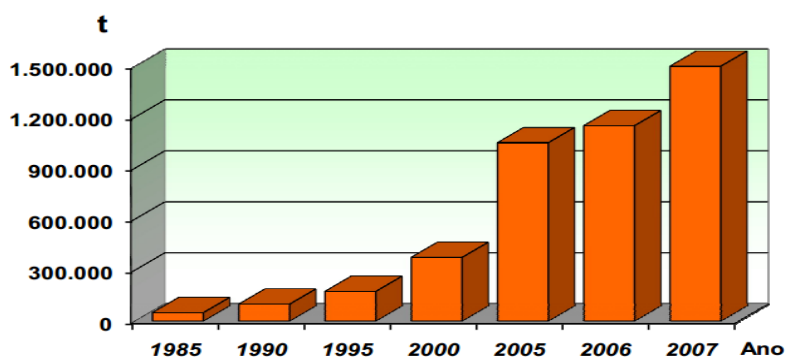


Figura 2.2 - Evolução da utilização das argamassas industriais ([W4])

Hoje em dia, a indústria de construção tem como principais preocupações a racionalização dos custos, o cumprimento de prazos, a qualidade e durabilidade do trabalho e a limpeza e arrumação do estaleiro, principalmente nos centros urbanos, devido à falta de espaço. Conseqüentemente, a partir de 1950, o método tradicional de preparação das argamassas em obra foi progressivamente substituído pela produção industrial (Figura 2.3). A mistura das várias matérias-primas é realizada em instalações fabris de um modo controlado, garantindo a consistência e a qualidade desejada ([W4]).

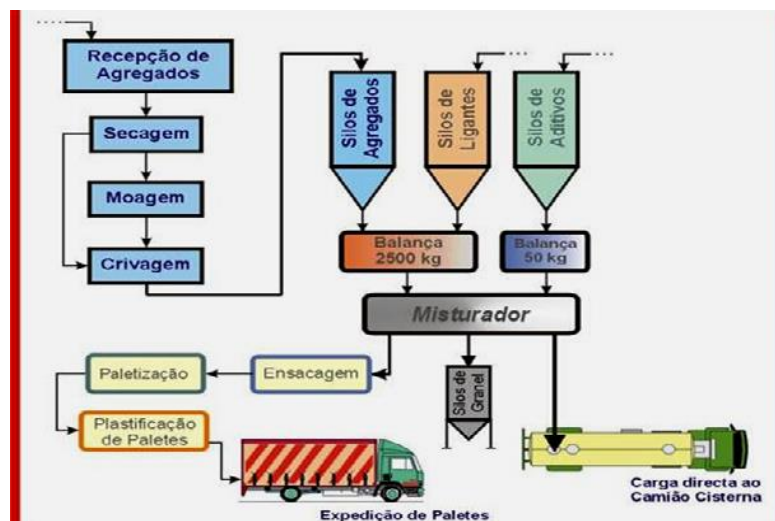


Figura 2.3 - Esquema indicativo do processo de produção industrial de argamassas ([W9])

De entre todas as vantagens já referidas, ainda podemos controlar, de uma forma bastante rigorosa, a introdução de aditivos, que podem ser adicionados na constituição das argamassas, nomeadamente, introdutórios de ar, agentes hidrófugos, retardadores de presa, entre outros. Existem vários tipos de argamassas industriais no mercado português, como por exemplo, argamassas para assentamento de alvenaria, argamassas para reboco, cimento-cola, massas para juntas e argamassas para regularização dos pavimentos (betonilhas) (NASCIMENTO, 2006; [W4]).

A principal vantagem das argamassas de construção industriais, centra-se na, cada vez maior necessidade de produzir materiais de construção com finalidades específicas focalizadas num objectivo. Para tal, torna-se necessário um doseamento em quantidades controladas, com o auxílio de aditivos e adjuvantes. A qualidade dos revestimentos influencia as condições de habitabilidade do local onde vivemos e trabalhamos, sendo por isso crucial a sua escolha. Em termos funcionais devem contribuir para a estabilidade, a segurança contra incêndios, a higiene, a proteção contra ruído, a economia de energia e ainda assegurar o efeito estético da fachada (MONTEIRO, 2008; [W4]). A otimização de argamassas, que conduzam a um melhor desempenho térmico do edificado, obedece a uma abordagem profunda da função de cada um dos seus componentes e interações entre si (LEAL, 2012).

Apesar do método tradicional estar a cair em desuso, ainda se verifica a produção de argamassas *in situ*, sendo este um dos principais responsáveis pelos problemas inerentes à qualidade das argamassas (MONTEIRO, 2008).

## 2.5. Constituintes das argamassas

A argamassa hidráulica é a que contém um ligante mineral hidráulico e a que possui a característica de endurecer na presença de água. Também pode ser constituída por um ligante aéreo, tal como a cal aérea, que reage com uma pozolana (MENDONÇA, 2007; [W3]). Os constituintes fundamentais para a formulação de uma argamassa hidráulica são caracterizados em vários grupos:

os ligantes hidráulicos, os agregados pétreos e a água. Outros constituintes, tal como adjuvantes e adições, poderão fazer parte das argamassas com o objetivo de alterar e/ou melhorar as suas propriedades (GALVÃO, 2009).

Actualmente as cais são maioritariamente utilizadas em obras de reconstrução e reabilitação, destacando-se o cimento como o ligante mais utilizado nas construções novas, sobretudo devido à sua resistência mecânica (MARTINS, 2010).

Antes de se iniciar a produção de uma argamassa, como regra de boa prática, devem analisar-se o(s) ligante(s) utilizado(s), o traço da argamassa, a granulometria e a natureza dos agregados, assim como a trabalhabilidade pretendida (MARTINS, 2010).

### 2.5.1. Ligantes

Designam-se como ligantes hidráulicos as substâncias com capacidades de aglutinar, potenciando uma ligação entre as partículas constituintes de uma argamassa e garantindo a sua aderência ao suporte. Os ligantes devem também garantir que os rebocos apresentem estabilidade, quando em contato com o meio ambiente que se inserem (GALVÃO, 2009). Os ligantes mais utilizados em argamassas, para revestimentos, são o cimento, a cal aérea e as cais com propriedades hidráulicas. Em acabamentos interiores também se utiliza o gesso (FARIA, 2012). Os ligantes são apresentados sob a forma de pó fino, caracterizando-se os ligantes hidráulicos por ganharem presa e endurecerem através de reacções de hidratação, ou seja, através de reacções desencadeadas, quando o ligante entra em contacto com a água (MARTINS, 2010).

O cimento caracteriza-se por ser um material inorgânico, finamente moído que, uma vez amassado com água, forma uma pasta e através de reacções de hidratação, faz presa, endurece e mantém a sua resistência e estabilidade, tanto ao ar como na água. (BOTAS, 2009). É o ligante hidráulico mais utilizado na produção de argamassas, uma vez que quando comparado com as cais apresenta melhor resistência mecânica, menor sensibilidade às condições ambientais e menor tempo de presa, permitindo otimizar o rendimento da mão-de-obra (MARTINS, 2010). O cimento, conforme se salienta na Tabela 2.2, pode ser classificado segundo disposições legais.

Tabela 2.2 - Classificação do cimento (IPQ, 2008)

<b>Tipos de cimento</b>	Portland Portland Composto Alto-Forno Pozolânico
<b>Classes de resistência</b>	32,5 MPa 42,5 MPa 52,5 MPa
<b>Características</b>	Poderá ser classificado consoante características específicas

O cimento *Portland* é essencialmente constituído por clínquer, sendo este composto por quatro minerais principais, apresentados na Tabela 2.3 assim como as percentagens comuns e abreviaturas.

Tabela 2.3 - Compostos principais do cimento *Portland* (VIEIRA, 2010)

Nome do composto	Composição	Abreviatura	Percentagem
Silicato tricálcico ou alite	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$	20% a 80%
Silicato bicálcico ou belite	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$	10% a 55%
Aluminato tricálcico ou celite	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$	0% a 15%
Aluminoferrato tetracálcico ou felite	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$	5% a 15%

O  $\text{C}_3\text{S}$  e o  $\text{C}_2\text{S}$  são compostos semelhantes, diferenciados pelo  $\text{C}_3\text{S}$  ter uma taxa de reacção de hidratação mais alta que o  $\text{C}_2\text{S}$ . No cimento *Portland* o  $\text{C}_3\text{S}$  domina o processo de hidratação com uma fracção a rondar os 50%. O  $\text{C}_3\text{A}$  e o  $\text{C}_4\text{AF}$  têm uma influência importante nos primeiros instantes de hidratação do cimento, sendo responsáveis pelo comportamento reológico. Os sulfatos de cálcio são introduzidos na composição do cimento com o objectivo de retardar uma presa instantânea nos instantes iniciais, provocados pelo  $\text{C}_3\text{A}$  e pelo  $\text{C}_4\text{AF}$  (VIEIRA, 2010; NASCIMENTO, 2006).

Na norma portuguesa EN 197-1 (IPQ, 2008), referente ao cimento, são apresentadas as composições dos diferentes tipos, as suas especificações e critérios de conformidade para os 27 cimentos correntes, tal como, os requisitos mecânicos, físicos e químicos, classes de resistência e de durabilidade.

## 2.5.2. Agregados pétreos

Os agregados são materiais granulares, constituídos por misturas de partículas de diversos tamanhos, que não intervêm na reacção de endurecimento das argamassas, funcionando como “esqueleto” da argamassa aumentando a sua resistência à compressão e compactidade e melhorando a permeabilidade ao vapor de água e a resistência a ciclos gelo-degelo. É geralmente o constituinte maioritário de uma argamassa, contribuindo também para a diminuição da retração e da quantidade de ligante (BAUER, 2000; VEIGA, 2001; PENAS, 2008).

Nas argamassas os agregados pétreos mais utilizados são as areias. Devem ter uma dimensão compreendida entre os 0,063 mm e os 4 mm. A areia é um material granular obtido através da desagregação natural ou da britagem de rochas (MARTINS, 2010; (IPQ, 2010). Em Portugal, estes agregados, são geralmente areias naturais, extraídas do leite dos rios ou de areiros, de natureza siliciosa, calcária ou argilosa (VEIGA, 2001).

Para uma redução da tendência para a fendilhação devem utilizar-se areias grossas, enquanto para a redução da porosidade e da absorção de água devem utilizar-se areias finas. Para argamassas com areias finas é necessário maiores quantidades de água, para a mesma trabalhabilidade (MARTINS, 2010; BOTAS, 2009).



Quanto à composição, as areias são constituídas predominantemente por quartzo que, sendo um mineral frequente na maioria das rochas granulares, pela sua dureza, durabilidade e insolubilidade é um componente desejável nos agregados finos. A contribuição dos agregados torna-se mais eficaz, caso estejam isentos de sais ou matéria orgânica. A presença de argila também se torna prejudicial, pois o excesso contribui para uma maior retração (AGOSTINHO, 2008; MARTINS, 2010). Os agregados podem ser classificados como indicado na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Classificação dos agregados (MENDONÇA, 2007; VEIGA, 2001)

Origem	Dimensão	Massa volúmica
<b>Naturais</b> - Utilizados com a forma que são encontrados na natureza (areia, cascalho);	<b>Fino</b> - as areias, naturais ou britadas, com partículas de menores dimensões, usualmente com máxima granulometria inferior a 4 mm;	Conforme a densidade do material que constitui as partículas, os agregados são classificados em leves, normais e pesados.
<b>Industrializados</b> - Composição específica obtida por processos industriais;		
<b>Reciclado</b> - Resultam do processamento de material inorgânico já usado na construção.	<b>Grosso</b> - seja rolado ou britado (sendo que as argamassas não incluem agregados grossos).	

### 2.5.3. Água

A água é um elemento fundamental na formulação das argamassas, pois promove as reacções de hidratação, desencadeando as propriedades aglutinantes do ligante. A quantidade de água utilizada é sempre superior à necessária para a hidratação do ligante, para garantir fluidez da argamassa necessária à sua aplicação e contar ainda com eventual sucção do suporte e evaporação (HENZ, 2009; MARTINS, 2010).

O excesso de água reduz a resistência da argamassa mas, por outro lado, a carência da mesma provoca o aparecimento de fendas e uma fraca aderência ao suporte.

A água que contenha cloretos ou sulfatos, em quantidades superiores, 1% e 0,3%, respetivamente, não deve ser utilizada, dado que prejudica a resistência das argamassas (MENDONÇA, 2007). A água de amassadura deve encontrar-se limpa e isenta de impurezas, especialmente sais, para não comprometer o desempenho da argamassa, devido a uma degradação acelerada (MARTINS, 2010).

A quantidade de água a utilizar numa amassadura é calculada através da relação água/cimento (a/c). Esta relação deve ser criteriosamente calculada, visto ter influência no seu estado fresco, trabalhabilidade, aderência ao suporte e facilidade de aplicação da argamassa e no estado endurecido, porosidade, absorção de água, retração de secagem, resistência mecânica, entre outras (HENZ, 2009).

## 2.5.4. Adjuvantes e adições

### i) Adjuvantes

Adjuvante é uma substância utilizada no fabrico de argamassas numa percentagem inferior a 5% da massa ligante. É adicionado durante a amassadura, com o intuito de alterar propriedades no estado fresco, no estado endurecido, ou na passagem de um estado para o outro.

Os adjuvantes podem controlar e induzir propriedades específicas nas argamassas e pastas de cimento; contudo, não devem ser utilizados para corrigir uma argamassa de baixa qualidade (BOTAS, 2009; VIEIRA, 2010).

Os custos inerentes à utilização de adjuvantes não devem ser vistos como um custo adicional, pois poderá ser compensado na redução dos custos de mão-de-obra para a realização da compactação, no teor de cimento que seria necessário ou na melhoria da durabilidade (VIEIRA, 2010).

Os adjuvantes podem caracterizar-se em materiais orgânicos ou inorgânicos, existindo uma vasta gama de tipos de adjuvantes, como se apresenta na Tabela 2.5 (GALVÃO, 2009; COUTINHO, 1998; [W3]).

Tabela 2.5-Alguns tipos de adjuvantes (COUTINHO, 1998; GALVÃO, 2009)

<b>Promotores de aderência</b>	Melhoram a aderência sem aumentar o teor de ligante, diminuindo a retracção e a susceptibilidade à fendilhação.
<b>Hidrófugos de massa</b>	Melhoram a capacidade de impermeabilização obstruindo os capilares, impedindo a penetração e circulação de água no revestimento.
<b>Introdutores de ar</b>	Melhoram a capacidade de impermeabilização, a resistência ao gelo-degelo e aos sais pois as bolhas de ar introduzidas promovem um corte de capilaridade.
<b>Plastificantes (1ª geração)</b>	Aumentam a trabalhabilidade da argamassa, permitindo a diminuição da quantidade de água de amassadura e, eventualmente, de ligante. Redução a/c entre 6% e 12%.
<b>Superplastificantes (1ª e 3ª geração)</b>	São maiores redutores de água que os plastificantes. 2ª geração reduz a/c entre 12% e 20%, 3ª geração reduz A/L acima dos 20%.
<b>Retentores de água</b>	Limitam o risco de uma evaporação prematura de água da argamassa, contribuindo para uma hidratação mais completa.
<b>Fungicidas</b>	Impedem a fixação de micro-organismos nas argamassas.
<b>Pigmentos</b>	Permitem a coloração da massa. São utilizados em quantidades inferiores a 5% da massa do ligante.

### ii) Adições

A adição é um material finamente dividido, que é utilizado no betão ou em argamassas com a finalidade de melhorar ou alcançar certas propriedades especiais, como por exemplo, cinzas volantes, sílica fumo e material pozolânico (IPQ, 2010). Várias propriedades podem ser modificadas com as adições, podendo elas ser físicas, químicas ou mecânicas. Ao aplicar uma adição com determinada finalidade, tem que se ter em atenção todas as propriedades da argamassa, pois a adição poderá estar a melhorar certa propriedade, em detrimento de outra não menos importante. É

fundamental um rigoroso controlo de todas as propriedades das argamassas, pois são estas que reflectem a sua qualidade final (LEAL, 2012; HEINZ, 2009).

## **2.6. Argamassas térmicas ou de desempenho térmico melhorado**

### **2.6.1. Revestimento de desempenho térmico melhorado**

Verifica-se um esforço na construção de modo a melhorar o conforto térmico e a eficiência energética dos edifícios. É assim, necessário melhorar as propriedades dos materiais existentes, e simultaneamente o conforto do ambiente interior e o impacto ambiental (LABRINCHA, 2006). As características dos revestimentos das paredes, nomeadamente, das argamassas, estão cada vez mais restritas, tanto no que diz respeito às características mecânicas e físicas, bem como no que se refere à térmica, devido à grande preocupação com o meio ambiente, na sociedade atual (BRÁS et al., 2012).

A construção sustentável introduz as responsabilidades da indústria da construção, nomeadamente na criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em conta os princípios ecológicos e a utilização eficiente dos recursos.

A construção sustentável tem como objectivo: a criação de edifícios que utilizem materiais renováveis, ou seja, edifícios que, após a sua demolição, permita reaproveitar os materiais; utilização de materiais eficientes e projectados, tendo em conta a durabilidade e adaptabilidade e a promoção do conforto, bem-estar e saúde dos ocupantes.

Em relação à energia consumida por um edifício, deve ser proveniente de recursos renováveis, devem ser utilizados equipamentos com baixo consumo, o edifício deve ser provido de iluminação natural e, na construção, deve ser tida em conta a utilização de material isolante térmico e janelas de alto rendimento (KIBERT, 1994).

As soluções de isolamento térmico, pelo exterior, podem ser dos seguintes tipos (VEIGA, 2012):

- revestimentos compósitos de isolamento térmico pelo exterior – ETICS;
- revestimentos constituídos por painéis isolantes fixados directamente ao suporte – *Vêtures*;
- revestimentos de fachada ventilada com isolante na caixa de ar;
- revestimentos aderentes constituídos por argamassas isolantes.

O isolamento térmico pelo exterior é hoje reconhecido, de forma incontestável, como uma solução técnica de alta qualidade, pois permite (LABRINCHA, 2006):

- reduzir as pontes térmicas;
- diminuir o risco de condensações;
- aumentar a inércia térmica interior dos edifícios;
- economizar a energia devido à redução das necessidades de aquecimento e de arrefecimento do ambiente interior;
- diminuir a espessura das paredes exteriores com consequente aumento da área útil habitável;
- reduzir o peso das paredes e das cargas permanentes sobre a estrutura;
- aumentar a protecção conferida ao tosco das paredes face às solicitações dos agentes atmosféricos;
- diminuir o gradiente térmico;
- melhorar a impermeabilização das paredes;
- uma grande variedade de soluções de acabamento;
- uma poupança energética e conforto interior.

Pode definir-se por ponte térmica uma parte da envolvente do edifício onde a resistência térmica, de outro modo uniforme, é significativamente alterada. As pontes térmicas são zonas com resistência térmica inferior à da restante envolvente do edifício, conduzindo a perdas de calor mais acentuadas do que na zona corrente da envolvente, devido a fatores como a existência de zonas com elementos estruturais; à diferença entre áreas internas e externas, como ocorre em ligações entre paredes e pavimentos e entre paredes e tetos; existência de materiais com condutibilidade térmica diferente na envolvente do edifício; existência de zonas onde o isolamento é interrompido; à mudança de espessura dos elementos construtivos ou problemas nas ligações entre os diferentes elementos de construção (RODRIGUES et al., 2009; [W5]).

De modo a ter um conhecimento mais claro sobre o isolamento térmico, é necessário compreender o conceito de transmissão de calor. O calor é uma forma de energia que um corpo possui em virtude do movimento das suas moléculas ou dos seus átomos. Nas substâncias sólidas faz que estas se dilatam ou fundam; nos fluídos faz com que se evaporem, ou aumentem a pressão, no caso de ser um gás. Quando um corpo aquece, a energia térmica fica retida nos seus átomos que passam a vibrar de forma continuada. Quanto maior as vibrações, mais quente o corpo se torna (RODRIGUES, 2009; [W5]). A transferência de calor faz-se sempre no sentido do elemento de temperatura mais elevada para o de temperatura mais baixa, segundo três modos fundamentais: condução, convecção e radiação. Há conservação de energia, ou seja, a quantidade de calor que o elemento “quente” cede, é igual à quantidade de energia que o elemento mais “frio” recebe (RODRIGUES, 2009; [W6]). O interesse do estudo de argamassas térmicas ou com desempenho térmico melhorado, está no desafio de se conseguir uma argamassa que reduza ao máximo as pontes térmicas, ou seja, as trocas de calor entre o interior e o exterior mantendo as características físicas, de tal forma que cumpra as suas funções de revestimento.

## 2.6.2. Características das argamassas térmicas

A crise energética fez aumentar a necessidade de poupar energia de climatização dos edifícios. A melhoria do isolamento térmico, nomeadamente de paredes e vãos envidraçados e a correcção de pontes térmicas, é um dos campos de atuação indispensável para a redução do consumo de energia, a par de outras acções ao nível das exigências e de mecanismos de renovação do ar dos espaços, da utilização de energias renováveis e da regulação dos equipamentos de climatização (KIBERT, 1994). Neste contexto, surgem as argamassas térmicas, com intuito de reduzir as necessidades térmicas do edificado, sem esta perder as suas características mecânicas e físicas. Para tal, a solução passa pela introdução, na composição da argamassa, de materiais de origem sustentável, com um baixo coeficiente de condutibilidade térmica. Esta solução, apesar de apresentar um custo inicial superior aos rebocos normais, torna-se vantajosa a longo prazo, na medida em que os edifícios tendem a consumir mais energia e o preço desta tem vindo a aumentar (BRÁS et al., 2012)

A principal característica de uma argamassa térmica é, sem perder as suas funções de revestimento, ter um coeficiente de condutibilidade térmica reduzido. A condutibilidade térmica é uma propriedade física dos materiais, que quantifica a capacidade dos materiais em conduzir energia térmica (calor). Numericamente equivale à quantidade de calor transmitida através de um objecto, por unidade de tempo, uma camada de espessura e área unitárias desse material por unidade de diferença de temperaturas entre as suas faces, numa direcção normal à superfície de área. A condutibilidade térmica varia consoante o tipo de material, a fase em que se encontra, massa volúmica, porosidade, humidade e temperatura, entre outros. De uma maneira mais concreta e no caso dos materiais utilizados na construção de edifícios, a massa volúmica e o teor de humidade são os fatores com maior relevância, fazendo com que a condutibilidade aumente no mesmo sentido dos parâmetros em questão (RODRIGUES et al., 2009; LOW et al., 2010; [W5]; [W6]).

Segundo a norma EN 998-1 (CEN, 2010), as argamassas não são classificadas somente por um baixo valor de coeficiente de condutibilidade térmica. Na Tabela 2,6, apresentam-se os requisitos das argamassas térmicas.

Tabela 2.6 - Requisitos para argamassas térmicas, no estado endurecido (norma EN 998-1, (CEN, 2010)

Argamassas térmicas	Propriedades	Categoria	Valores
	Resistência à compressão		CS I
		CS II	1,5 a 5 MPa
		CS III	3,5 a 7,5 MPa
		CS IV	≥6 MPa
Absorção de água por capilaridade		W 0	não especificado
		W 1	$C \leq 0,4 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
		W 2	$C \leq 0,2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
Condutibilidade térmica		T 1	$\leq 0,1 \text{ W/m.K}$
		T 2	$\leq 0,2 \text{ W/m.K}$

Também, segundo a norma EN 998-1 (CEN, 2010), os rebocos de paredes recorrentes a argamassas, devem ter um coeficiente de absorção capilar inferior ou igual a  $0,2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$ , no caso de estarem expostas a condições meteorológicas severas e inferior ou igual a  $0,4 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$  no caso de condições meteorológicas moderadas. O limite de  $0,4 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$  pode ser excedido nas situações em que exista mais uma camada de acabamento de outro material que lhe confira proteção adicional à sucção capilar. FLORES-COLEN (2009) sugere um valor de coeficiente de absorção capilar inferior ou igual a  $0,15 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$  se as paredes estiverem expostas a choques ou em locais contíguos a vias de tráfego e um valor de coeficiente de absorção capilar inferior ou igual a  $0,2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$  em condições meteorológicas severas ou se o reboco estiver aplicado na base das paredes.

### **2.6.3. Materiais isolantes**

#### **2.6.3.1. Cortiça**

A cortiça é proveniente do sobreiro, uma árvore de crescimento lento e de grande longevidade, capaz de atingir 250-350 anos, embora o seu período mais produtivo seja até aos 150-200 anos de idade. Constitui o revestimento exterior do tronco e ramos do sobreiro, sendo extraída, em Portugal, habitualmente no Verão, com uma periodicidade legal mínima de nove anos. É extraída sob a forma de pranchas semi-tubulares, com espessura adequada ao seu processamento industrial, sendo que a sua exploração apenas poderá ter início quando a árvore atingir aproximadamente 0,7 m de perímetro, a 1,3 m da superfície solo, de acordo com o Decreto-Lei 11/97, de 14 de Janeiro (MARTINS, 2010; ALVES, 2010; GIL, 2007).

A União Europeia é o maior produtor de cortiça, com cerca de 80%, sobretudo nos países do Sul do Mediterrâneo.

Em Portugal, com uma produção superior a 50% da total produção europeia, os sobreiros ocupam 720 mil hectares, cerca de 22% da área florestal do país, tendo a sua estrutura cerca de 40% das árvores na fase “jovem” ou “jovem passando a adulto” (MARTINS, 2010; ALVES, 2010; GIL, 2007)

A produção de cortiça é sustentável e, devido a ser um recurso com bastante exploração em Portugal, torna-se um produto razoavelmente económico.

#### ➤ Características da Cortiça

As características da cortiça, relativamente à sua composição química, estão relacionadas com os seus componentes, que se dividem em cinco grupos apresentados na Tabela 2.7 (FORTES, 2004; [W6]).

Tabela 2.7 - Componentes constituintes da cortiça (FORTES, 2004; [W7])

Componente	Percentagem	Função
Suberina	45%	Principal componente das paredes das células, responsável pela compressibilidade e elasticidade;
Lenhina	27%	Composto isolante;
Polissacáridos	12%	Componente que ajuda a definir a textura da cortiça;
Ceróides	6%	Composto hidrofóbico, repele a água e contribui para a impermeabilização;
Taninos	5%	Composto polifenólico, responsável pela cor e protecção/conservação do material.

A cortiça é um material anisotrópico, devendo assim ser analisada segundo três direcções principais, apesar das suas propriedades serem semelhantes nas duas direcções não-radiais. Possui um conjunto de características únicas, comparativamente a outros produtos extraídos da natureza, donde se destacam as seguintes: leveza, flutuabilidade, compressibilidade, elasticidade, vedante, imputrescível, inodora, durabilidade, resistente ao fogo, reciclável e biodegradável, baixa condutibilidade térmica, grande capacidade de absorção de energia (impacto), antivibrático (grande capacidade de dissipação de energia em vibrações, elevado coeficiente de atrito, resistente ao desgaste e boa capacidade de recuperar a forma inicial após submetida à compressão (MARTINS, 2010; ALVES, 2010; GIL, 2007).

A cortiça apresenta baixa condutibilidade térmica juntamente com uma razoável resistência à compressão, o que a torna um material perfeito para onde se pretenda um bom isolamento térmico com ligeiras forças de compressão (BRÁS et al., 2013).

No que respeita à estrutura da cortiça, esta é constituída por materiais celulares, constituídos por células ocas, abertas ou fechadas, sendo o volume de sólido das células inferior a 30%. As células da cortiça apresentam-se em forma de prismas hexagonais, empilhados em colunas ou fiadas, segundo a direcção radial (MARTINS, 2010; SILVA, 2005).

Designam-se granulados de cortiça os fragmentos compreendidos entre os 0,25 mm e 45 mm de diâmetro. As partículas inferiores a 0,25mm são consideradas pó de cortiça. O granulado de cortiça surge de desperdícios, nomeadamente pó, aparas, rolhas defeituosas, bocados, que representam 75 a 80% do peso inicial da cortiça preparada (GIL, 2007; FORTES, 2004).

Para aplicação na construção civil, os granulados de cortiça, Figura 2.4, podem ser usados como função de isolamento térmico, nos pavimentos flutuantes obtidos a partir dos granulados com massa volúmica superior a 200 kg/m<sup>3</sup> e no enchimento de espaços vazios entre paredes duplas ou sobre o teto do último piso. São também utilizados na preparação de argamassas e betões com intuito de aligeirar o peso dos elementos da construção bem como garantir um bom isolamento térmico, como foi o caso em estudo (GIL, 2007; FORTES, 2004).



Figura 2.4 - Granulado de Cortiça

Na Tabela 2.8 apresentam-se algumas características dos granulados de cortiça utilizadas na construção civil (GIL, 2007; FORTES, 2004).

Tabela 2.8 - Características dos aglomerados de cortiça usados na construção civil (GIL, 2007; FORTES, 2004)

Características médias do aglomerado de cortiça	
Massa Volúmica	100-140 kg/m <sup>3</sup>
Coeficiente de condutibilidade térmica	0,039-0,045 W/m.°C
Calor específico (a 20°C)	1,7-1,8 KJ/kg.°C
Coeficiente de expansão térmica	25-50 X 10 <sup>-6</sup>
Pressão máxima em condições elásticas	50 KPa
Módulo de elasticidade	19-28 MPa
Difusividade térmica	0,18-1,20 X 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s
Coeficiente de poisson	0-0,02
Permeabilidade ao vapor de água	0,002-0,006 g/m.h.mmHg
Tensão de rotura à flexão	1,4-2,0 MPa
Tensão de rotura à tracção transversal	0,6-0,9 MPa
Tensão de rotura à tracção longitudinal	0,5-0,8 MPa
Variação dimensional 23-32°C, 50-90% HR	0,30%
Oxigénio index	26%
Tensão de deformação a 10% (compressão)	1,5-1,8 MPa
Deformação sob temperatura (80°C)	1,4 a 2,4% (espessura)

➤ Influência da introdução do granulado de cortiça nas argamassas

A introdução de granulado de cortiça em substituição da areia, nas argamassas, altera as suas características, no estado fresco e no estado endurecido. Estas alterações serão devidas à diferente forma, granulometria e às próprias características físicas, químicas e mecânicas da cortiça. Assim surgem diferenças na organização dos agregados, no interior da argamassa, com influência na compacidade e na porosidade da mesma (LEAL, 2012).

Tendo a areia função estrutural na argamassa, é de esperar, ao ser substituída por granulado de cortiça, uma redução significativa da resistência mecânica da argamassa. Relativamente às características térmicas, da argamassa com incorporação de cortiça, estas são bastante benéficas,



devido à baixa condutibilidade térmica da cortiça, face à da areia (FRADE et al., 2012; MARTINS, 2012; PANESAR et al., 2012). Sendo a cortiça um material com uma massa volúmica inferior à da areia, são de esperar argamassas mais leves.

Devido à capacidade de deformação da cortiça, esperam-se argamassas com um módulo de elasticidade dinâmico inferior, quando comparados com argamassas sem esta substituição, ou seja, prevêem-se argamassas com uma capacidade de deformação superior às que apenas contêm areia como agregado, antes de atingirem a rotura (LEAL, 2012; FORTES, 2004).

### 2.6.3.2. EPS

O EPS é um polímero termoplástico, rígido e resistente de células fechadas, com uma estrutura celular obtida através da expansão do poliestireno (PS), originando esferas celulares com paredes celulares muito finas, Figura 2.5. Geralmente, é de cor branca e tem boas características térmicas. É um material artificial, ultra leve e não absorvente (POLETTTO, 2009; BRÁS et al., 2013).



Figura 2.5 -Granulado de poliestireno expandido

Nas instalações dos produtores de EPS, durante o processo de fabrico, a matéria-prima é sujeita a um processo de transformação física, já não sendo em qualquer altura alteradas as suas propriedades químicas. Este processo de fabrico divide-se em três fases ([W5]):

- Pré-expansão – Num pré-expansor através de aquecimento por contacto com vapor de água, processa-se a expansão do PS expansível. O agente expansor incha o PS, cerca de 50 vezes acima do seu volume original, originando um granulado de partículas de EPS constituídas por pequenas células fechadas, que são armazenadas para estabilização.
- Armazenamento intermédio – Efectua-se o armazenamento do EPS para a sua posterior transformação. Nesta fase de estabilização, o granulado de EPS arrefece, criando uma depressão no interior das células. No decorrer deste processo o espaço dentro das células é preenchido pelo ar circundante.

- Moldagem – Nesta fase introduz-se o granulado produzido em moldes, sendo os grânulos novamente expostos ao vapor de água, provocando a soldadura do mesmo. Deste modo obtém-se um material expandido que é rijo, contendo em simultâneo uma grande quantidade de ar.

As principais aplicações do EPS são como isolamento térmico para edifícios e como embalagens industriais e alimentares, entre outras aplicações, tendo um consumo mundial superior a 2.000.000 toneladas/ano ([W9]).

O poliestireno expandido é muito utilizado, na construção, como isolante térmico bem como elemento de aligeiramento e enchimento, substrato para a realização de formas decorativas de acabamentos, entre outros. O EPS é constituído por 98% de ar e 2% de plástico, daí ser um material especialmente utilizado no isolamento térmico, substituindo os elementos construtivos “tradicionais”, com intuito de se obter edifícios com uma melhor eficiência energética, logo um melhor comportamento face ao meio ambiente. O poliestireno expandido pode-se apresentar contido num sistema de reboco, designado por ETICS (POLETTO, 2009; [W5]; [W9]). Na Tabela 2.9 apresentam-se algumas características do granulado de poliestireno expandido (BHUTTA, 2008; [W8]; [W5]).

Tabela 2.9 - Características dos granulados de poliestireno expandido usados na construção civil (BHUTTA, 2008; [W8]; [W5])

<b>Características dos granulados de poliestireno expandido usados na construção civil</b>	
Massa volúmica	10-30 kg/m <sup>3</sup>
Granulometria	0,15-20 mm
Condutibilidade térmica	0,038-0,04 W/m.K
Resistência compressão	10 MPa
Resistência à tracção por flexão	24 MPa

#### ➤ Características EPS

Este material detém o seguinte conjunto de características (POLETTO, 2009; [W5]; [W9]):

- leve (massa volúmica entre 10-30 kg/m<sup>3</sup>, permitindo uma redução relevante do peso das construções);
- elevada resistência mecânica;
- baixa absorção de água;
- não é higroscópico (não retém humidade);
- apenas absorve pequenas quantidades de água quando submerso;
- garante as suas características térmicas e mecânicas mesmo sob a acção da humidade;

- fácil de manusear e colocar, devido ao seu reduzido peso;
- quimicamente compatível com a maioria dos materiais utilizados na construção;
- versátil, capacidade de se apresentar numa vasta gama de tamanhos e formas, ajustáveis às necessidades das construções;
- resistência ao envelhecimento (conserva as suas propriedades ao longo da vida útil do edifício);
- não apodrece;
- não adquire bolor;
- não é solúvel em água;
- não liberta substâncias para o ambiente;
- baixa condutibilidade térmica (resistente à passagem do calor).

➤ Influência da introdução de EPS na argamassa

O EPS incorporado nas argamassas, em substituição da areia, traz consequências similares ao granulado de cortiça. Desta forma influenciará as características no estado fresco e no estado endurecido das argamassas devido à diferente forma, granulometria e às próprias características físicas, químicas e mecânicas do EPS. A substituição de areia por EPS acarreta a diminuição da resistência mecânica, uma melhoria das características térmicas das argamassas e maior leveza das argamassas. (LEAL, 2012).

### 2.6.3.3. Outros materiais

Têm sido testados e usados outros materiais na constituição de betões e argamassas com vista a um melhoramento térmico dos mesmos.

A título de exemplo, apresenta-se os seguintes materiais, com respectivos trabalhos sobre o tema:

- PCM – Os materiais de mudança de fase (*Phase change material*), têm como principal característica a mudança de fase, ou seja, da fase líquida para a fase sólida e vice-versa, a uma temperatura constante. Quando a temperatura ambiente que rodeia o PCM aumenta e passa o ponto de fusão do material, este passa do estado sólido para o estado líquido, absorvendo e armazenando a energia calorífica ambiente. Por outro lado, quando a temperatura baixa, e passa o ponto de solidificação do PCM, este transita do estado líquido para o estado sólido, libertando a energia anteriormente armazenada (MESHGIN (2011); ZHANG (2012); CUNHA et al (2012).
- Aerogel – O nanoaerogel é um material sintetizado, geralmente a partir de sílica, sendo actualmente um dos sólidos conhecidos mais leves, com níveis de porosidade que podem ultrapassar os 90%. A aplicação do nanoaerogel no âmbito dos materiais de construção tem tirado partido essencialmente do seu elevado desempenho térmico,

sendo um dos exemplos mais recorrentes a utilização de grânulos de nanoaerogel em fachadas de vidro e em argamassas de revestimento (SOARES et al. (2012); STAHL et al. (2011)).

## 2.6.4. Estudos já realizados sobre argamassas com comportamento térmico melhorado

Como já foi anteriormente referido, actualmente, há uma grande preocupação em produzir argamassas com desempenho térmico melhorado, sem perderem as suas características mecânicas e físicas através da introdução, na composição das mesmas, de materiais de origem sustentável com baixo valor de coeficiente de condutibilidade térmica.

Neste capítulo anuncia-se alguns estudos, sobre argamassas com desempenho térmico melhorado.

### 2.6.4.1. Argamassas tradicionais

Brás et al. (2013) produziram várias formulações com diferentes dosagens de granulado de cortiça e EPS. No entanto, só serão foco as duas argamassas com incorporações de 80% em volume, em substituição do agregado areia. Foi ainda produzida uma argamassa de referência. Os autores utilizaram o cimento *Portland* CEM II B/L 32,5 N, areia siliciosa (0/1 mm), agregados de cortiça e EPS com granulometrias entre os 0,5-1 mm e os 2 mm, respetivamente e um superplastificante (PCE). O traço volumétrico utilizado foi de 1:3, sendo a relação a/c de 0,6 na argamassa com granulado de EPS (CE80) e de 0,75 na argamassa com granulado de cortiça (CC80). Realizaram-se ensaios de massa volúmica aparente, no estado endurecido, ensaios de absorção de água por capilaridade, da porosidade e da condutibilidade térmica. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 2.10.

Tabela 2.10 – Características físicas das argamassas estudadas por BRÁS et al. (2013)

	Espalhamento (mm)	MV (Estado endurecido) kg/m <sup>3</sup>	Coefficiente de absorção Capilar (kg/m <sup>2</sup> .√min)	Porosidade (%)	λ (W/m.K)
Ref	187,5	2050	0,325	30	1,6
CC 80	180	1480	0,2	26	0,41
CE 80	160	1510	0,3	20	0,63

Legenda: CC80 – Ref – argamassa de referência; CC 80 - argamassa com incorporação de 80% de granulado de cortiça; CE 80 – argamassa com incorporação de 80% de granulado de EPS.

Os autores observaram decréscimos na ordem dos 30% das massas volúmicas aparentes, em ambas as argamassas com incorporação de agregado isolante, em comparação à argamassa de referência. Apesar de menos significativo, houve uma redução do coeficiente de absorção capilar. Houve um decréscimo de cerca de 70% e 60% do coeficiente de condutibilidade térmica para as argamassas CC80 e para a CE80, respetivamente. O aumento das percentagens de material isolante

térmico contribui para a diminuição da condutibilidade térmica das argamassas, sendo mais expressivo nas argamassas com cortiça.

ALI (2011), produziu diferentes argamassas com diferentes dosagens de granulado de EPS, em substituição da areia. Só se vai dar ênfase à argamassa com incorporação de 85% de granulado de EPS, em volume (EM 26). Os materiais utilizados foram o *cimento Portland* tipo I, areia fina de origem siliciosa, com modelo de finura de 3,28, sílica de fumo, com massa volúmica de 250-350 kg/m<sup>3</sup>, um superplastificante (*Sikament 163 M*) e agregados de EPS, com granulometrias compreendidas entre os 2 e os 12 mm. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 - Características físicas das argamassas estudadas por ALI (2011)

	Espalhamento (mm)	MV (Estado endurecido) kg/m <sup>3</sup>	Coefficiente de absorção capilar kg/m <sup>2</sup> .√m	Porosidade (%)	λ (W/m.K)
Ref	-	2138	-	-	1,8
EM 26	-	970	-	-	0,16

Legenda: Ref- argamassa de referência; EM 26 – argamassa com incorporação de 85% de granulado de EPS.

O autor concluiu que a introdução de granulado de EPS nas argamassas provoca uma diminuição da massa volúmica aparente, no estado endurecido, sendo esta redução de 55%, na argamassa com 85% de EPS em substituição por areia. Salientou ainda o facto de haver uma redução bastante acentuada do coeficiente de condutibilidade térmica, cerca de 90%, face à respectiva argamassa de referência.

MARTINS (2010), estudou o efeito da granulometria do granulado negro de cortiça em argamassas de cal hidráulica e em argamassas bastardas (cal hidráulica e cimento). Utilizou três tipos de granulometria; fino, grosso e o pó de cortiça. Analisou-se só a argamassa bastarda, com traço volumétrico de 0,5:0,5:3, com relação a/c de 0,89 e com percentagens de substituição de 80% do volume de agregados. Os resultados são apresentados na Tabela 2.12.

Tabela 2.12 - Características físicas de uma argamassa estudada por MARTINS (2010)

	Espalhamento (mm)	MV (Estado endurecido) kg/m <sup>3</sup>	Absorção de água por capilaridade (kg/m <sup>2</sup> )	Porosidade (%)	λ (W/m.K)
Ref	-	1945	29,9	-	0,8
CH+C80	-	944	49,6	-	0,2

Legenda: Ref – argamassa de referência; CH+C80: argamassa com incorporação de 80% de granulado de cortiça de várias dimensões.

O autor concluiu que a massa volúmica aparente, no estado endurecido, decresce com a maior quantidade de incorporação de granulado de cortiça. Na argamassa em questão, o decréscimo médio verificado foi de cerca de 55%, em relação à respectiva argamassa de referência. Em relação à quantidade de água absorvida por capilaridade, MARTINS (2010), verificou um aumento de cerca de 65 %, em relação à argamassa de referência. O autor salientou o facto que a utilização de granulados de cortiça de pequenas dimensões, e principalmente de pó de cortiça, proporciona uma maior

absorção de água por capilaridade, face à utilização de agregados de maiores dimensões. O coeficiente de condutibilidade térmica diminuiu com o aumento da percentagem de incorporação de granulado de cortiça, havendo uma diminuição de 75%, da argamassa com 80% de granulado de cortiça, face à de referência.

#### 2.6.4.2. Argamassas industriais

GONÇALVES et al. (2012) apresentaram uma argamassa industrial com substituição, em volume, de 70% a 80%, de areia por granulado de EPS, cimento *Portland* branco como ligante e algumas adições, não pormenorizadas, de forma a controlar fenómenos como a absorção capilar, trabalhabilidade, entre outros. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2.13.

Tabela 2.13 - Características físicas da argamassa estudada por GOLÇALVES et al. (2012)

Designação	Espalhamento (mm)	MV (Estado endurecido) kg/m <sup>3</sup>	Coefficiente de absorção Capilar (kg/m <sup>2</sup> .√min)	Porosidade (%)	λ (W/m.K)
Isodur	-	250	0,05	-	0,07

FRADE et al. (2012) apresentaram uma argamassa industrial com incorporação de 70% a 80%, em volume, de granulado de cortiça em substituição do agregado areia. Da informação disponível, apenas se depreende o uso do cimento *Portland*, como ligante, e o uso de um hidrófugo. Os resultados são apresentados na Tabela 2.14.

Tabela 2.14 - Características físicas da argamassa estudada por FRADE et al. (2012)

Designação	Espalhamento (mm)	MV (estado endurecido) kg/m <sup>3</sup>	Coefficiente de absorção capilar (kg/m <sup>2</sup> .√min)	Porosidade (%)	λ (W/m.K)
RHP ecocork	136	910	0,05	46,63	0,163

Foi ainda recolhida informação de mais três argamassas industriais térmicas, presentes no mercado. As características e os valores apresentados são fornecidos nos catálogos das respectivas argamassas, Tabela 2.15.

Tabela .2.15 - Características físicas das argamassas industriais de acordo com os respetivos catálogos

Designação	Ligante	Mat. Isolante/% de substituição	Mv (kg/m <sup>3</sup> )	Coefficiente de absorção capilar (kg/m <sup>2</sup> .m <sup>0,5</sup> )	λ (W/m.K)
Weber,therm aislone	Cal / Cimento 52,5 N	EPS/100	260±50	0,4	0,05
Premix	Cal hidráulica natural	Cortiça/-	470±30	0,35	0,083
Evolution	Cal hidráulica natural	Cortiça/-	360±20	0,35	0,045

### 2.6.4.3. Análise comparativa

Tendo em conta os estudos encontrados e a presente investigação, foi elaborada a Tabela 2.16, que sintetiza as características físicas das argamassas industriais e tradicionais com incorporação de agregados isolantes. Não foi possível recolher informações acerca dos valores do coeficiente de absorção de água sob baixa pressão e do índice de secagem.

Após a análise dos estudos apresentados, verifica-se a necessidade de incorporações de agregado isolante na ordem dos 80%, com intuito de se obter uma argamassa térmica.

A massa volúmica aparente, no estado endurecido, sofre um decréscimo acentuado com a introdução de agregado isolante. Nas argamassas industriais, a massa volúmica aparente, no estado endurecido, varia entre os 250 kg/m<sup>3</sup> e os 910 kg/m<sup>3</sup> enquanto nas tradicionais varia entre 944 e os 1520 kg/m<sup>3</sup>. Há uma tendência para a massa volúmica ser inferior nas argamassas industriais. Note-se que todas as argamassas industriais contêm adições/adjuvantes.

Em relação à absorção capilar os valores obtidos não são conclusivos. No entanto, há a necessidade de utilização de produtos hidrófugos nas argamassas industriais, de modo a controlar a absorção de água por capilaridade. Note-se que, segundo a EN 998-1 (CEN, 2010), uma argamassa térmica, tem um valor máximo de coeficiente de absorção capilar máximo de de 0,4 kg/m<sup>2</sup>.√min.

No que diz respeito ao coeficiente de condutibilidade térmica, este varia de 0,16 e 0,6 W/m.K nas argamassas tradicionais e de 0,045 a 0,163 W/m.K nas argamassas industriais. O coeficiente de condutibilidade térmica é inferior nas argamassas industriais. Note-se, outra vez, que as argamassas industriais são dotadas de adições e adjuvantes, não sendo a informação totalmente fornecida pelos produtores. A incorporação de elevadas percentagens de agregado isolante, nas argamassas tradicionais, provoca uma elevada redução do coeficiente de condutibilidade térmica, chegando a haver reduções na ordem dos 90%.

Em geral, a introdução de agregados isolantes nas argamassas, provoca um elevado melhoramento térmico, bem como uma significativa redução da massa volúmica aparente, no estado endurecido, permitindo classificá-las como argamassas leves, segundo a EN 998-1, (CEN, 2010). As argamassas leves apresentam massas volúmicas inferiores a 1300 kg/m<sup>3</sup>.

Em relação às adições e adjuvantes utilizadas, nota-se que a presença de cinzas volantes e sílica de fumo provocam um rearranjo das partículas no interior da argamassa, dando azo a uma argamassa mais resistente, com maior massa volúmica aparente.

Os introdutores de ar provocam um aumento da porosidade da argamassa tornando-a mais leve e os produtos hidrófugos provocam uma redução do coeficiente de absorção de água por

capilaridade, tornando mais resistente face à presença de água e conseqüentemente um melhor desempenho térmico, dado que o coeficiente de condutibilidade térmica aumenta com o aumento do teor de água.

## **2.7. Síntese do capítulo**

As argamassas são os revestimentos de paredes mais utilizados na construção, sofrendo notórias evoluções, ao longo dos anos, de modo a acompanharem as exigências de cada época. Existem argamassas tradicionais e argamassas industriais. Estas últimas têm tido uma crescente procura, devido às várias vantagens que proporcionam em relação às argamassas tradicionais, nomeadamente, melhor controlo de produção, bem como da satisfação das características pretendidas e da necessidade de menor espaço em estaleiro, entre outras.

As características exigidas aos revestimentos de paredes são cada vez mais severas, nomeadamente ao nível do comportamento térmico, dado que grande parte do consumo de energia elétrica reside no aquecimento e arrefecimento de construções habitacionais. Tem-se observado, uma aposta maior em conseguir obter um comportamento melhorado das argamassas, pela introdução de novos e menos correntes materiais na sua constituição. As argamassas com desempenho térmico melhorado são uma solução existente para se garantir os objetivos a nível do comportamento térmico de paredes de edifícios. De acordo com a norma EN 998-1 (CEN, 2010), as argamassas térmicas caracterizam-se principalmente pelo seu baixo valor de coeficiente de condutibilidade térmica (inferior a 0,1 e 0,2 W/m.K) e resultam da introdução de agregados isolantes, tais como granulado de cortiça e de EPS, em substituição do agregado corrente. Estas argamassas, para além do seu baixo valor do coeficiente de condutibilidade térmica, devido à introdução de materiais isolantes, têm de continuar aptas para o uso a que foram destinadas, garantindo os requisitos físicos mínimos, estabelecidos pela norma EN 998-1, (CEN, 2010).

Pela análise dos resultados dos trabalhos já realizados sobre esta temática, constata-se um elevado decréscimo da massa volúmica aparente, no estado endurecido, das argamassas assim como no valor do seu coeficiente de condutibilidade térmica. É de salientar o facto, das argamassas industriais conterem adições e adjuvantes de modo a melhorarem as suas características, que no caso, o mais relevante é o hidrófugo, que permite um baixo valor de absorção de água por capilaridade. De modo a obter-se um conhecimento mais profundo e rigoroso das características físicas das argamassas com desempenho térmico melhorado, foi elaborada uma campanha experimental, produzindo quatro argamassas industriais térmicas, uma argamassa de referência e duas argamassas com incorporação de materiais isolantes (cortiça e EPS).



Tabela 2.16 - Características físicas das argamassas com incorporação de agregados isolantes, tradicionais e industriais

Argamassas	Referência	Aplicações	Material Isolante	% adição ( volume)	Adições/Adjuvantes	Ligante	$\rho$ - Estado endurecido ( $\text{kg/m}^3$ )	C1 ( $\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$ )	Porosidade (%)	$\lambda$ (W/m.K)
Tradicionais	BRÁS et al., (2013)	-	cortiça	80	superplastificante	Cimento	1480	0,2	26	0,41
			EPS	80	superplastificante		1510	0,3	20	0,63
	ALI (2011)	-	EPS	85	superplastificante; sílica de fumo	Cimento	970	-	-	0,16
	MARTINS (2010)	-	Cortiça	80	sem adições	Cimento / Cal hidráulica	944	-	-	0,2
Industriais	Catálogos e fichas técnicas dos fabricantes	Interior/Exterior (Intervenções de renovação de edifícios)	EPS	70 - 80	Com adições mas não especificadas	Cimento branco	250	0,05	-	0,07
		Interior e Exterior (reabilitação em construções antigas)	Cortiça	70 - 80	pó redispersível; hidrófugo em pó; agente introdutor de ar e controlo de tração; retentor de água	Cimento	910	0,05	46,63	0,163
		Paredes novas ou a reabilitar	EPS	100	polímero redispersível; hidrófugo; agente expansivo e retentor de água	Cimento/Cal	260 ± 50	0,4	-	0,05
		Interior e exterior	Cortiça	sem informação	aditivos naturais; fibras de polipropileno; introdutor de ar	Cal hidráulica natural	450 ± 20	0,35	-	0,083
			Cortiça	sem informação		Cal hidráulica natural	360 ± 20	0,35	-	0,045

Legenda: C1 – coeficiente de absorção de água por capilaridade; C2- Coeficiente de absorção de água sob baixa pressão; I.S. – índice de secagem

### 3. Caracterização do trabalho experimental

#### 3.1. Considerações gerais

A campanha experimental teve como objetivo principal analisar as argamassas térmicas, existentes no mercado português, submetendo-as a ensaios físicos, de modo a analisar o seu comportamento térmico. Neste capítulo descrevem-se as etapas associadas ao estudo das argamassas, desde a produção, aos ensaios que as mesmas foram sujeitas.

Numa primeira fase, fez-se a selecção e descrição dos materiais adotados na produção das argamassas de revestimento e das metodologias utilizadas para a sua caracterização.

Numa segunda fase, descreve-se o modo de preparação das argamassas, os provetes utilizados, assim como os ensaios preliminares, por forma a determinar a dosagem e a forma de produção adequada.

Numa última fase, são descritos os ensaios realizados em laboratório, com a finalidade de investigar o comportamento físico das argamassas produzidas, assim como a sua aplicabilidade como argamassa de revestimento.

#### 3.2. Descrição geral do plano de ensaios

A campanha experimental tem como objetivo comparar as características físicas das diferentes argamassas produzidas com desempenho térmico melhorado. Para tal, foram produzidas duas argamassas tradicionais e quatro argamassas industriais com desempenho térmico melhorado. Foi, ainda, produzida uma argamassa de referência, para fins de comparação, sem incorporação de agregados isolantes.

No que diz respeito às argamassas tradicionais, foram produzidas a argamassa  $F_{Cort}^{Trad}$ , com substituição de 80%, em volume, de areia por granulado cortiça e a argamassa  $G_{EPS}^{Trad}$ , com 85% de substituição de areia por granulado de EPS. Foi também produzida uma argamassa de referência,  $E^{ref}$ , sem agregados isolantes, para fins comparativos.

As percentagens de substituição basearam-se nos estudos de BRÁS et al. (2013) e ALI (2011), respetivamente. Todas as argamassas tradicionais produzidas têm um traço volumétrico de 1:3, sendo este o traço mais utilizado na produção de argamassas cimentícias em Portugal (MENDONÇA, 2007; VEIGA, 2001). Todas as argamassas tradicionais têm apenas o cimento como único ligante.

Em relação às argamassas industriais, foram produzidas duas com incorporação de granulado de cortiça (argamassas  $C_{Cort}^{ind}$  e  $D_{Cort}^{ind}$ ) e duas com incorporação de granulado de EPS ( $A_{EPS}^{ind}$ ,  $B_{EPS}^{ind}$ ).

Numa primeira fase, procedeu-se à caracterização dos materiais constituintes das argamassas tradicionais. Foram determinadas as baridades da areia, do cimento, da cortiça e do EPS. Em relação às argamassas industriais, apenas foi determinada a baridade do produto em pó.

Para se determinar as características físicas, foram realizados ensaios às argamassas no estado fresco: teor de ar, massa volúmica aparente e consistência por espalhamento e ensaios no estado endurecido: massa volúmica aparente, porosidade aparente, permeabilidade à água líquida, absorção de água por capilaridade, secagem e condutibilidade térmica.

### 3.3. Caracterização dos materiais constituintes das argamassas

#### 3.3.1. Argamassas tradicionais

##### 3.3.1.1. Areia

No trabalho experimental, foi utilizada areia lavada da Mesquita com dimensão 0/2 mm. A ficha técnica da areia encontra-se no anexo A3.1. Este ensaio permite determinar a massa volúmica aparente do agregado, através do conhecimento da massa de agregado que preenche, em condições de compactação definidas, um recipiente de capacidade conhecida.

O ensaio da determinação da baridade ou massa volúmica aparente foi realizado de acordo com a NP 955 (IPQ, 1973), devido aos equipamentos do laboratório estarem em conformidade com esta, e os procedimentos respeitarem os mesmos princípios da norma NP EN 1097-3 (IPQ, 2002).

Neste procedimento, começou por ser lançado no recipiente o agregado até 5 cm da sua boca (Figura 3.1). O enchimento foi dado como concluído, quando o agregado transbordou o recipiente. No final do processo, nivelou-se a superfície do agregado pelo topo do recipiente (Figura 3.2) e pesou-se o recipiente cheio (Figura 3.3). Não houve compactação do agregado.

Com o molde cheio, pesou-se e registou-se a massa do conjunto recipiente + areia, correspondente à massa  $m_2$ . O valor da baridade é dado pela equação 3.1 (IPQ, 1973). O resultado foi obtido através da média aritmética de três ensaios.

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{v} \times 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \quad (3.1)$$

Com:

- $m_1$  → Massa do recipiente [kg];  
 $m_2$  → Massa do recipiente cheio com agregado [kg];  
 $v$  → Capacidade do recipiente [ $\text{dm}^3$ ].



Figura 3.1 - Enchimento do recipiente



Figura 3.2 - Nivelamento da superfície



Figura 3.3 - Pesagem do recipiente

### 3.3.1.2. Cimento

O cimento utilizado foi o cimento *Portland* composto do tipo CEM II B/L 32,5N, por ser o mais utilizado na preparação de argamassas de revestimento em Portugal. Procedeu-se à determinação da baridade do mesmo, seguindo os mesmos procedimentos utilizados na areia.

### 3.3.1.3. Cortiça

Antes da determinação da baridade, a cortiça foi peneirada, como se ilustra na Figura 3.4, de modo a obterem-se agregados de dimensões entre os 1 e 2 mm - mesma dimensão utilizada por BRÀS et al. (2013). A baridade foi medida com um processo semelhante ao utilizado na areia e no cimento (Figura 3.5).



Figura 3.4 - Peneiração do granulado de cortiça



Figura 3.5 - Pesagem do granulado de cortiça

### 3.3.1.4. EPS

O granulado de EPS, foi peneirado de modo a se obter granulados com as mesmas dimensões utilizadas por BRÁS et al. (2013) (2 mm). Não se tendo conseguido o objectivo pré-definido, utilizou-se granulado de EPS com dimensões entre os 3,4 - 4 mm. O ensaio da baridade realizou-se com procedimentos semelhantes aos utilizados nos outros materiais (Figura 3.6).



Figura 3.6 - Pesagem do granulado de EPS

Na Tabela 3.1 estão todas as características das argamassas tradicionais produzidas. Não se utilizou qualquer tipo de adição/adjuvante.

Tabela 3.1 - Características das argamassas tradicionais produzidas em laboratório

Argamassas tradicionais	Ligante	Agre. isolante/% adição (em volume)	Dimensão do agre. isolante	Outros agregados	Relação a/c	Adição/adjuvante
E <sup>Ref</sup>	CEM II B/L 32,5 N	-	-	Areia Mesquita	0,8	-
F <sup>Trad Cort</sup>	CEM II B/L 32,5 N	80% de cortiça	1-2 mm	Areia Mesquita	0,7	-
G <sup>Trad EPS</sup>	CEM II B/L 32,5 N	85% de EPS	3,4 - 4 mm	Areia Mesquita	0,5	-

### 3.3.2. Argamassas industriais

Antes da produção das argamassas industriais, determinou-se a massa volúmica aparente do produto em pó, um processo semelhante ao utilizado para determinar a massa volúmica aparente da areia, do cimento e dos materiais isolantes térmicos.

Na Tabela 3.2, são apresentados os constituintes das argamassas industriais, assim como, o tipo, a dimensão e a percentagem de agregado isolante utilizado. É de salientar o facto de os fabricantes não facultarem toda a informação disponível.

A quantidade de água utilizada, para a produção de cada a argamassa, e as adições e adjuvantes que as constituem, também se encontram na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Constituintes das argamassas industriais produzidas em laboratório

Argamassa Industriais	Ligante	% (em volume)	Dimensão agregado isolante (mm)	Outros Agregados	Aplicação	Relação a/c	Quantidade e água por saco (L/kg)	Adições / Adjuvantes
A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	Cal / CEM I 52,5 N	100 % EPS	≤ 3	sem incorporação	Interior/Exterior (paredes novas ou a reabilitar)	si	1,14	Polímero redispersível; hidrófugo; Agente expansivo; retentor de água
B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	Cal / Cimento branco e ligantes sintéticos	70-80 % EPS	1,5 - 2	Areia (cálcarea e siliciosa)	Interior/Exterior (Intervenções de renovação de edifícios)	si	0,7	Não especificado
C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	Cimento Portland	70-80 % cortiça	1,5 - 2	Areia (cálcarea e siliciosa)	Interior/Exterior (reabilitação em construções antigas)	si	0,33	Pó redispersível; hidrófugo em pó; agente introdutor de ar e controlo de tração; retentor de água
D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	Cal hidráulica natural	cortiça/ -	≤ 3	Terra diatomácea/argila	Interior/Exterior	si	0,55	Aditivos naturais; fibras de polipropileno; introdutores de ar

Legenda: si- sem informação.

### 3.4. Produção das argamassas

#### 3.4.1. Mistura

Para a correta produção das argamassas, foi necessário a utilização de alguns equipamentos e utensílios, como uma balança e recipientes para acomodar os constituintes sólidos e líquidos no procedimento de pesagem, bem como uma misturadora mecânica e o respetivo recipiente de mistura, espátula de borracha e colher de plástico. Devido a algumas diferenças nas etapas produtivas das argamassas tradicionais e das argamassas industriais, estas descreveram-se em separado. Sempre que possível, o tempo de mistura, o tempo de introdução de constituintes, o modo de misturar, os equipamentos a utilizar e a técnica empregue foram os mesmos em todas as misturas, pois os fatores mencionados têm influência nas propriedades da argamassa, tanto no estado fresco como no estado endurecido (LEAL, 2012).

As argamassas tradicionais foram produzidas, segundo as especificações da norma NP EN 196-1 (IPQ, 2006), prosseguindo os seguintes passos:

1. pesagem do cimento, areia e água com balança com precisão de 0,001g;
2. introdução de água e cimento no recipiente misturador;

3. mistura com velocidade de rotação baixa durante 30s;
4. adição dos agregados com velocidade de rotação lenta durante 30s;
5. mistura com velocidade de rotação rápida durante 30s (Figura 3.7);
6. paragem de rotação;
7. junção à massa do material aderente às paredes do recipiente com ajuda de um raspador de borracha durante 15s (Figura 3.8);
8. repouso da massa durante 60s;
9. mistura com velocidade de rotação rápida durante 60s.



Figura 3.7 - Movimento de rotação



Figura 3.8 - Remoção do material aderente às paredes do recipiente

Em relação à argamassa de referência,  $E^{Ref}$ , adotou-se uma relação a/c de 0,8. Este valor foi obtido após várias tentativas, de modo ao valor do espalhamento estivesse conforme com a norma EN 1015-2 (CEN 1998a). Na argamassa  $F^{Trad}_{Cort}$ , utilizou-se uma relação a/c de 0,7, tendo como ponto de partida a relação de 0,75, utilizada por BRÁS et al. (2013). Na produção da argamassa  $G^{Trad}_{EPS}$ , adotou-se a relação a/c de 0,5, tendo por base o valor de 0,45 utilizado por ALI (2011).

A produção de argamassa industrial foi realizada em consonância com as recomendações do fabricante, estando os equipamentos utilizados em conformidade com a NP EN 196-1 (IPQ, 2006). Processou-se como indicado na sequência elencada de seguida:

1. pesagem do produto em pó (Figura 3.9);
2. pesagem da água (relação da quantidade de água para a quantidade de produto varia consoante a argamassa em questão);
3. junção da água com o produto em pó no recipiente misturador (Figura 3.10);
4. mistura manual do produto com auxílio de uma colher de plástico (Figura 3.11);
5. mistura mecânica em velocidade de rotação lenta durante 30s;
6. limpeza e remoção das partes não misturadas com uma espátula;
7. junção das partes anteriores e mistura manual com uma colher de plástico;
8. mistura mecânica em velocidade de rotação baixa durante 1 min;

9. repouso entre 10 a 15min (Figura 3.12).



Figura 3.9 - Pesagem do produto em pó



Figura 3.10 - Mistura do produto em pó com água



Figura 3.11 - Mistura manual do produto



Figura 3.12 - Repouso da argamassa

### 3.4.2. Provetes

Para cada argamassa foram produzidos um total de 13 provetes prismáticos: 9 de dimensões  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ ; 3 de dimensões  $80 \times 70 \times 25 \text{ mm}^3$  e 1 de dimensões  $300 \times 300 \times 50 \text{ mm}^3$ . Aplicou-se ainda, cada argamassa, em 2 tijolos, em camadas de 4 cm, de modo serem ensaiadas aos 14 e aos 28 dias de idade.

As condições de cura foram idênticas para todos os provetes e foi realizada numa câmara, condicionada a uma temperatura de  $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  e a uma humidade relativa de  $65\% \pm 5\%$ . A desmoldagem ocorreu ao fim de 7 dias de idade, devido ao facto de serem argamassas menos resistentes.

i) Provete prismático -  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$

Cada molde normalizado é constituído por 3 cofragens prismáticas com as dimensões  $160 \times 40 \times 40 \text{ [mm}^3]$ , em conformidade com a norma NP EN 196-1 (IPQ, 2006). Para a realização dos provetes prismáticos, (Figura 3.13) seguiu-se o procedimento descrito de seguida:

- limpam-se todas as superfícies das peças do molde e aplicou-se óleo descofrante nas mesmas;
- montaram-se as peças do molde;
- aplicou-se a argamassa nos moldes em duas camadas, ambas compactadas 25 vezes com o auxílio de um pilão destinado para o efeito;



- alisou-se a superfície do molde com uma colher de pedreiro, ao longo do seu comprimento;
- colocou-se cada molde dentro de um saco de polietileno numa câmara a uma temperatura de  $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  com  $65\% \pm 5\%$  de humidade relativa durante 7 dias;
- após o sétimo dia, desmoldaram-se e retiraram-se os provetes prismáticos dos sacos, deixando-os na câmara até perfazerem os 14 e os 28 dias;



Figura 3.13 - Moldes com 3 provetes prismáticos

ii) Provede prismático -  $80 \times 70 \times 25 \text{ mm}^3$

Os provetes prismáticos ( $80 \times 70 \times 25 \text{ mm}^3$ ) (Figura 3.14) foram produzidos com o intuito de realizar o ensaio da condutibilidade térmica, com o equipamento *Isomet 2114* (Figura 3.15). A produção destes provetes é semelhante à dos provetes prismáticos ( $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ ).

Não existindo moldes com estas dimensões, foi necessário adaptar os moldes existentes. (Figura 3.16).



Figura 3.14 – Provede para o equipamento *Isomet 2114*



Figura 3.15 - Equipamento *Isomet 2114*



Figura 3.16 - Moldes dos provetes para o *Isomet 2114*

iii) Provete prismático -  $300 \times 300 \times 50 \text{ mm}^3$

Estes provetes (Figura 3.17), foram produzidos para serem ensaios com o equipamento *Rapid-K*, para a determinação do coeficiente de condutibilidade térmica. (Figura 3.18). O procedimento de produção destes provetes foi idêntico aos anteriores e os moldes foram construídos no laboratório (Figura 3.19).



Figura 3.17 - Provete  $300 \times 300 \times 50 \text{ mm}^3$



Figura 3.18 - Equipamento Rapid-K



Figura 3.19 - Molde construído no laboratório

Os provetes  $300 \times 300 \times 50 \text{ mm}^3$  foram também sujeitos a ensaios com o equipamento *Isomet 2114*, para confrontação de resultados.

iv) Tijolos

Os tijolos utilizados são cerâmicos e designados por tijolos com furação horizontal, com dimensões  $300 \times 200 \times 110 \text{ [mm}^3]$ , estando de acordo com a norma NP 834-1971 (IPQ, 1971) (Figura 3.20).



Figura 3.20 - Tijolo com furação horizontal

As cofragens utilizadas são de madeira, executadas no laboratório (Figura 3.21). Antes da aplicação da argamassa no tijolo, este foi pulverizado duas vezes com água, pois os modelos aplicados com dupla pulverização são os que apresentam melhores resultados (ARROMBA, 2011).

A espessura mínima de um reboco térmico recomendada é de 4 cm (VEIGA, 2012). Sendo assim, aplicou-se uma camada com 4 cm de espessura sobre o tijolo (Figura 3.22) de modo a realizar os ensaios de comportamento físico do reboco aplicado.



Figura 3.21 – Cofragens de madeira



Figura 3.22 - Camada de 4 cm de argamassa sobre o tijolo

### 3.5. Plano de ensaios

Os ensaios foram realizados em quatro argamassas industriais, uma argamassa de referência e duas argamassas tradicionais com adição de materiais isolantes (cortiça e EPS).

Ao longo do trabalho, para se designar as argamassas industriais adopta-se a nomenclatura argamassa  $A_{EPS}^{ind}$ ,  $B_{EPS}^{ind}$ ,  $C_{Cort}^{ind}$  e  $D_{Cort}^{ind}$  e para as argamassas tradicionais, com adição de granulado de cortiça e EPS, argamassa  $F_{Cort}^{Trad}$  e  $G_{EPS}^{Trad}$ , respetivamente. A argamassa de referência é designada por argamassa  $E^{Ref}$ .

A caracterização das argamassas foi efetuada no estado fresco e no estado endurecido. No estado fresco, após a determinação da relação a/c, foram efectuados três ensaios: de consistência por espalhamento, de massa volúmica aparente e do teor de ar. As argamassas no estado endurecido foram ensaiadas aos 14 e 28 dias, sendo também analisadas em provetes secos e saturados. Para a determinação dos parâmetros físicos, foram realizados, no estado endurecido, os ensaios de:

- massa volúmica aparente;
- porosidade aparente;
- permeabilidade à água líquida sob baixa pressão – Tubo de *Karsten*;
- absorção de água por capilaridade;
- secagem;
- condutibilidade térmica.

## 3.6. Caracterização das argamassas no estado fresco

### 3.6.1. Consistência por espalhamento

Este ensaio foi realizado com base na norma EN 1015-3 (CEN, 1999a), e teve como finalidade estimar a quantidade de água a adicionar à mistura dos constituintes sólidos, de modo a se obter a consistência pretendida para a argamassa no estado fresco. Para a realização deste ensaio foi necessário o seguinte equipamento:

- mesa de espalhamento;
- molde cónico truncado;
- colher de pedreiro;
- espátula;
- craveira;
- pilão.

A execução do ensaio seguiu as seguintes etapas:

- limpou-se a superfície do disco e das paredes do molde cónico;
- colocou-se o molde, centrado com o disco (Figura 3.23) e introduziu-se a argamassa em duas camadas, cada uma compactada por 10 pancadas com o pilão, de modo a garantir o enchimento do molde (Figura 3.24);
- retirou-se o excesso de argamassa do molde com a espátula, limpou-se a área do disco e secou-se, tendo o cuidado de não deixar água na área envolvente ao molde;
- após aproximadamente 15 segundos, ergueu-se o molde lentamente na vertical;
- por rotação manual do manípulo da mesa de espalhamento, a argamassa foi compactada com 15 pancadas, com uma frequência constante de uma pancada por segundo, fazendo com que a argamassa se espalhe no disco (Figura 3.25);
- para finalizar, com uma craveira mediu-se o diâmetro da argamassa espalhada em quaisquer duas direcções perpendiculares (Figura 3.26).



Figura 3.23 - Molde centrado com o disco



Figura 3.24 - Compactação da primeira camada do molde



Figura 3.25 - Rotação manual do manípulo da mesa de espalhamento



Figura 3.26 - Medição do diâmetro da argamassa espalhada

Os resultados do ensaio exprimem-se pela média de duas medições, em milímetros, de quaisquer duas direções perpendiculares. Segundo a norma EN 1015-2 (CEN, 1998a), o valor do diâmetro médio está relacionado diretamente com a massa volúmica, no estado fresco, da argamassa (Tabela 3.3). Assim, para se obter um diâmetro médio no intervalo estipulado, nas argamassas tradicionais, foi necessário efectuar várias amassaduras, fazendo variar a quantidade de água. Nas argamassas industriais, utilizou-se o valor médio do intervalo da quantidade de água recomendada pelo fabricante. Com a quantidade de água estimada por amassadura, foi possível determinar a relação água/cimento.

Tabela 3.3 - Relação dos valores da massa volúmica aparente no estado fresco com o espalhamento (EN 1015-2 (CEN, 1998a)

Massa volúmica kg/m <sup>3</sup>	Espalhamento (mm)
> 1200	175±10mm
>600 a <1200	160±10mm
>300 a <600	140±10mm
<300	120±10mm

### 3.6.2. Massa volúmica aparente da argamassa em pasta

A massa volúmica aparente de uma argamassa, no estado fresco, pode ser determinada de forma expedita, através do quociente entre a massa da amostra e o volume por ela ocupado, para condições de compactação definidas. Os procedimentos adotados para a realização deste ensaio basearam-se na norma EN 1015-6 (CEN, 1998b).

Este ensaio necessita do seguinte equipamento:

- recipiente cilíndrico com capacidade de 1l;
- colher de pedreiro;
- balança com precisão de 0,001g;
- espátula.

Antes de se iniciar o ensaio é necessário determinar a massa do copo cilíndrico, obtendo-se assim a massa  $m_1$  (Figura 3.27).

Em seguida, com uma espátula, aplica-se uma primeira camada, até aproximadamente metade da capacidade do copo, seguindo-se a compactação do conteúdo (Figura 3.28), com 10 pancadas efetuadas a partir da oscilação do recipiente em lados alternados. Prossegue-se enchendo o copo até um pouco mais da sua capacidade e repete-se o processo de compactação.



Figura 3.27 - Massa do copo cilíndrico



Figura 3.28 - Compactação da primeira camada da argamassa fresca



Figura 3.29 - Pesagem do conjunto  $m_2$

Por fim, alisa-se a superfície, com auxílio de uma espátula, de modo a remover o excesso de argamassa para que a superfície fique plana. Limpa-se convenientemente a superfície exterior do recipiente e pesa-se o conjunto, obtendo assim a massa  $m_2$  (Figura 3.29).

Tendo em conta que a massa de argamassa é dada pela diferença entre a massa do conjunto ( $m_2$ ) e a massa do recipiente vazio ( $m_1$ ), a massa volúmica aparente da argamassa pode ser determinada pela equação 3.2.

$$\rho_m = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (3.2)$$

em que:

$\rho_m$  - massa volúmica da argamassa no estado fresco ( $\text{kg/m}^3$ );

$m_2$  - massa do recipiente com argamassa (kg);

$m_1$  - massa do recipiente (kg);

$V$  - volume do recipiente ( $\text{m}^3$ ).

### 3.6.3. Teor de ar

Para a realização do ensaio de teor de ar, em argamassas no estado fresco, considerasse a norma EN 1015-7 (CEN,1998c). Para medir o teor de ar das argamassas utilizou-se um manómetro (Figura 3.30). Este método determina o teor de ar de uma argamassa baseando-se na variação de volume da pasta, causada por um aumento de pressão.

O procedimento de ensaio foi o seguinte:

- encheu-se o molde em quatro camadas, com aproximadamente a mesma quantidade de argamassa, cada uma delas compactada com 10 pancadas, de modo a que fique uniforme e bem distribuída;
- retirou-se com uma espátula o excesso de argamassa, deixando a superfície lisa até ao topo do molde;
- tapou-se o molde com a respetiva tampa;
- introduziu-se água no seu interior até o selar hidricamente;
- bombeou-se ar para dentro da câmara fechada até a pressão estabilizar, através da válvula introdutora;
- abrindo-se a válvula extratora e, uma vez que o mostrador da medição de pressão está calibrado, em termos de percentagem de ar, ler a percentagem de ar contida na argamassa.



Figura 3.30 - Manómetro

### 3.7. Caracterização das argamassas no estado endurecido

#### 3.7.1. Porosidade aparente e massa volúmica aparente

Para a realização deste ensaio seleccionaram-se 3 provetes prismáticos ( $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ ), de cada argamassa, e a sua duração foi de 4 dias. Tem como objetivo determinar a massa volúmica aparente ( $\text{kg/m}^3$ ) e a porosidade aparente (%) das argamassas.

Para a experiência, recorre-se ao seguinte equipamento:

- estufa a  $100 \pm 5^\circ\text{C}$ ;
- exsiccador munido de uma bomba de vácuo;
- balança com precisão de 0,001g;
- recipiente;
- gancho metálico.

Os provetes são saturados por imersão total em água. Ambos os ensaios estão interligados uma vez que a porosidade aparente ou aberta é determinada no seguimento da saturação dos provetes.

O procedimento adotado neste ensaio segue o estabelecido pela RILEM/PEM25/(RILEM 1980), método usado para pedras, cerâmicos e argamassas. É utilizado um provete inteiro em vez de metade pois, como são utilizadas argamassas leves, há a possibilidade de estas não submergirem na água, como foi o caso experimentado com algumas argamassas, como iremos referir.

Inicialmente efetuou-se a secagem das amostras na estufa à temperatura de  $100 \pm 5^\circ\text{C}$ , durante 24h. Após secagem, colocaram-se os provetes no exsicador, (Figura 3.31), durante uma hora, contendo sílica gel (Figura 3.32), de modo a arrefecerem a massa constante, sem ganho de humidade. Decorrido o tempo de arrefecimento, pesaram-se os provetes na balança, obtendo-se o valor da massa  $m_{\text{seco}}$  (massa seca).



Figura 3.31 - Exsicador



Figura 3.32 - Sílica gel

De seguida, colocam-se os provetes, novamente, no interior do exsicador ligado a uma bomba de vácuo, a uma pressão de 20mmHg, durante 24horas. A progressiva diminuição da pressão sentida no interior do exsicador provoca a extracção do ar contido na amostra. Importa garantir um correto isolamento na ligação tampa-exsicador, face à entrada de ar, pelo que se deve aplicar uma camada de vaselina nessa ligação.

De seguida, mantendo o vácuo, e por intermédio da válvula que está ligada ao exterior introduz-se água, até que os provetes fiquem totalmente submersos. Este procedimento não deve durar um período de tempo inferior a 15 minutos e ao encher o recipiente com água deve-se ter cuidado de não atingir o nível da válvula que está ligada à bomba. Os provetes permanecem em imersão e passadas 24 horas desliga-se a bomba, abre-se a torneia de água e os provetes permanecem imersos à pressão atmosférica novamente por um período de 24 horas. A Figura 3.33 ilustra os provetes imersos em água.





Figura 3.33 - Provetes submersos em água

Para as pesagens hidrostáticas, retira-se cada um dos provetes do exsiccador e colocam-se num suporte totalmente imerso e suspenso numa balança de precisão 0,001g (Figura 3.34). O valor obtido corresponde à massa de imersão,  $m_{imerso}$ . De seguida, retira-se o provete e, com auxílio de um pano absorvente, limpa-se a superfícies do provete eliminando assim a água em excesso. Pesando o provete, nestas condições, obtém-se a massa saturada,  $m_{saturado}$ .



Figura 3.34 - Pesagem hidrostática para obtenção da massa  $M_2$

Assim, com o valor de  $m_1$ , massa do provete seco, e com os restantes valores de  $m_2$  e  $m_3$  determina-se a porosidade aparente ( $P_{ap}$ ) e a massa volúmica aparente ( $M_{ap}$ ), de acordo com as equações 3.3 e 3.4 respectivamente.

$$P_{ap}(\%) = \frac{m_{saturado} - m_{seco}}{m_{saturado} - m_{imerso}} * 100 \quad (3.3)$$

$$M_{ap}(\%) = \frac{m_{seco}}{m_{saturado} - m_{imerso}} * 1000 \quad (3.4)$$

Em que:

$m_{seco}$  - massa do provete seco (g)

$m_{imerso}$  - massa provete em imersão (g)

$m_{saturado}$  - massa do provete saturado (g)

A massa volúmica aparente foi determinada, também, pelo princípio geométrico, segundo a norma EN 1015-10, (CEN, 1999b).

Para o respetivo ensaio, utilizou-se o equipamento:

- balança com precisão de 0,001g;
- craveira.

Realizou-se o seguinte procedimento:

- escolheram-se 3 provetes de cada tipo de argamassa, mediram-se as três dimensões de cada prisma (comprimento, largura e espessura) utilizando uma craveira. Cada dimensão final, excetuando o comprimento, que é medido uma única vez na longitudinal, foi obtida pela média de 3 medições efetuadas;
- pesaram-se os provetes.

Após medição dos provetes prismáticos normalizados 40x40x160 mm<sup>3</sup>, recorrendo à equação 3.5, foi possível determinar o volume de cada provete:

$$V = c \times l \times e \quad (3.5)$$

Onde:

V – volume do prisma (m<sup>3</sup>);

c – comprimento médio do prisma (m);

l – largura média do prisma (m);

e – espessura média do prisma (m).

Por fim, determinou-se a massa volúmica através do seguinte quociente;

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (3.6)$$

Onde:

$\rho$  - massa volúmica do provete (kg/m<sup>3</sup>);

M – massa do provete (kg);

V – volume do provete (m<sup>3</sup>).

### 3.7.2. Secagem

A secagem dos provetes decorreu após atingida a saturação dos mesmos, através da imersão sob pressão, realizada para a determinação da massa volúmica dos provetes no estado endurecido. Estabeleceu-se que a secagem seria iniciada quando os provetes tivessem absorvido a maior quantidade de água nos seus poros.

A duração do ensaio depende dos produtos ensaiados e procurou-se uma estabilização da variação da massa inferior a 2%, em relação à massa seca inicial. A secagem pretende avaliar a

quantidade de água que se perde, ao longo do tempo, num provete de argamassa. O ensaio desenrolou-se numa câmara seca à temperatura de  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  e humidade relativa de  $65 \pm 5\%$ . Os provetes permanecem num tabuleiro com o fundo revestido de película aderente (Figura 3.35).



Figura 3.35 - Ensaio de secagem nos provetes prismáticos normalizados

Neste ensaio os provetes deviam ter sido impermeabilizados para garantir que a secagem ocorra por fluxo unilateral, reproduzindo a continuidade do material e do suporte. No entanto, estes não foram impermeabilizados, pois os provetes foram utilizados para outros ensaios. Analisando os dados registados, é possível elaborar curvas de secagem, que expressam a evolução, em percentagem, do teor de água dos provetes em horas e com o decorrer do tempo. Segundo FLORES-COLEN (2009), com base nas curvas de secagem, é possível obter o índice de secagem,  $I_s$ , que traduz a resistência à secagem do produto e que se calcula pela equação 3.7.

$$I_s = \frac{\int_{t_i}^{t_f} f\left(\frac{m_x - m_{seco}}{m_{seco}}\right) dt}{\left(\frac{m_{saturado} - m_{seco}}{m_{seco}}\right) \times t_f} \quad (3.7)$$

Em que:

$m_x$  - massa do provete registada durante o processo de secagem (g);

$m_{seco}$  - massa do provete no estado seco(g);

$m_{saturado}$  - massa do provete no estado saturado (g), que corresponde à massa no início do processo de secagem;

$t_f$  = tempo final do ensaio de secagem.

### 3.7.3. Permeabilidade à água líquida sob baixa pressão – *Tubo de Karsten*

A água faz parte das acções que mais afetam o desempenho em serviço de rebocos e, como tal, é fundamental que uma argamassa de revestimento exterior possua resistência suficiente a esse agente de degradação. Apesar de serem materiais porosos, os rebocos têm uma importante contribuição na impermeabilização das fachadas à água líquida (GONÇALVES, 2010).

O ensaio de absorção, realizado com o método do cachimbo ou tubo de *Karsten*, tem como função determinar a permeabilidade à água de revestimentos tradicionais ou não tradicionais, para paramentos exteriores e interiores de paredes, e serve para estimar o estado do reboco e o seu grau de degradação.

O procedimento da técnica de absorção de água sob baixa pressão, actualmente, encontra-se caracterizado na ficha do LNEC Fe Pa 39.1 (LNEC, 2002) e tem o seguinte procedimento experimental:

- revestir com material de fixação, no caso em estudo silicone, a superfície do bordo do tubo que irá ficar em contacto com o revestimento, sem excessos para que a área real de revestimento em contacto com a água não sofra redução;
- fixar o tubo, com uma secção que encosta à superfície de  $5,7 \text{ cm}^2$ , à zona a ser ensaiada, pressionando sobre a superfície vertical;
- permitir que o material de fixação seque;
- atestar o tubo com água até a graduação  $0 \text{ cm}^3$  e esperar 5 minutos para observar o abaixamento do nível de água e registar a primeira leitura;
- repetir as leituras aos 10, 15, 30 e 60 minutos.

As leituras efetuadas no ensaio fornecem os valores de volume de água absorvido em  $\text{cm}^3$ , durante os primeiros 5, 10, 15, 30 e 60 minutos. A partir destas medições, é possível traçar um gráfico de volume de água absorvida em função do tempo, sendo a inclinação da recta obtida o coeficiente de absorção de água, expresso em  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$  (SCARTEZINI, 2002 citado por FLORES-COLEN, 2009). Esta técnica pode ser condicionada por diversos fatores, entre os quais, a existência de microfissuras, a redução da área de contato da água com a superfície do revestimento e a falta de garantia de uma pressão constante durante a realização do ensaio. É importante evitar o excesso de material adesivo, para que a área em que é feita a penetração da água na argamassa não diminua (DUARTE, 2009). O ensaio é simples, expedito e não destrutivo e pode ser realizado tanto *in-situ* como em laboratório. No presente trabalho, utilizaram-se 2 tubos de *Karsten* em zonas distintas da superfície, de cada um dos modelos, particularmente em área planas e sem fissuração (Figura 3.36).



Figura 3.36 - Ensaio do tubo de *Karsten*

A absorção de água verificada, depende desse coeficiente de absorção e do tempo de realização do ensaio. Segundo KUNZEL (2004) citado por FLORES-COLEN (2009), é possível calcular a absorção de água de uma fachada sujeita à acção da chuva e do vento durante um determinado intervalo de tempo através da equação 3.8:

$$A_{\text{fachada}} = C_{\text{absorção}} \times \sqrt{t_{\text{chuva}}} \quad (3.8)$$

em que:

$A_{\text{fachada}}$  - absorção de água ( $\text{kg}/\text{m}^2$ );

$C_{\text{absorção}}$  - coeficiente de absorção de água da camada superficial ( $\text{kg}/[\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}]$ ), que é a inclinação do gráfico com a absorção de água nas ordenadas e a raiz quadrada do tempo nas abcissas;

$t_{\text{chuva}}$  = tempo de ensaio (h).

Após a realização do ensaio é possível determinar a absorção de água aos 60 minutos ( $\text{cm}^3/\text{h}$ ), a partir da acumulação de valores de água absorvidos pela argamassa, durante o período de ensaio. É possível, ainda, calcular o coeficiente de absorção de água a baixa pressão através da equação 3.9. (PROCEQ, 2001 citado por FLORES-COLEN, 2009 e por APPS, 2009).

$$C_A = \frac{X \cdot 10^{-3}}{d^2 \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{t}\right)} \quad (3.9)$$

Em que:

$C_A$  - coeficiente de absorção de água ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$ );

X - quantidade de água absorvida (leitura em ml);

d - diâmetro da superfície onde é feita a penetração da água (mm);

t - duração da leitura (min).

#### 3.7.4. Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade, permite avaliar o aumento da massa de água que ascende por capilaridade, pela secção do provete em contacto com a superfície da água.

O equipamento utilizado consistiu em:

- balança de precisão 0,001g;
- tina, com profundidade mínima de 20 mm;
- barras de acrílico para suporte;
- estufa;
- exsiccador;
- papel absorvente;
- régua.

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado de acordo a Norma EN 1015-18 (CEN, 2002). Recorreu-se a 3 provetes prismáticos normalizados (40x40x160 mm<sup>3</sup>) de cada tipo de argamassa, aos 28 dias de idade.

Antes da data de ensaio, os provetes são secos numa estufa ventilada (Figura 3.37), à temperatura de 60 C<sup>o</sup>, até atingirem massa constante. Os provetes, quando secos, são retirados da estufa e colocados no exsicador para se manterem secos até início do ensaio.



Figura 3.37 - Estufa a 60 C<sup>o</sup>

Na data do ensaio, os provetes são pesados secos e depois colocados numa tina sobre duas barras de acrílico paralelas, de modo a garantir a sua verticalidade; coloca-se água da torneira na tina, por forma as extremidades de cada prisma fiquem submersas no máximo 10 mm (Figura 3.38). Ao longo do ensaio, o nível de água deve permanecer sempre constante e para tal cobre-se a tina para evitar fenómenos de evaporação (Figura 3.39). Aos 10, 30, 60, 180, 300, 480 e 1440 minutos de ensaio, os prismas são retirados um de cada vez e as suas extremidades imersas são limpas com papel absorvente, para de seguida serem pesados os provetes e colocados novamente na tina. Após cada pesagem, verifica-se e ajusta-se o nível de água na tina. Note-se que as faces laterais dos provetes não foram impermeabilizadas.



Figura 3.38 - - Provetes na tina com água



Figura 3.39 - Tina coberta para evitar a evaporação de água

A absorção de água por capilaridade é traduzida pelo andamento do gráfico que exprime em ordenadas a quantidade de água absorvida por unidade de área da base do provete [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ], e em abcissas a raiz quadrada do tempo decorrido [ $\sqrt{\text{min}}$ ] (PENAS, 2008).

Segunda norma EN 1015-18 (CEN, 2002), a velocidade de absorção de água nos instantes iniciais é caracterizada pelo coeficiente de água por capilaridade (C), expresso em  $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{min}}$ , este corresponde ao declive da recta que une os pontos referentes às medições das massas dos provetes aos 10 e aos 90 minutos. Ambos os pontos têm de estar contidos no troço inicial do gráfico de absorção de água, ou seja, pertencer à fase de absorção rápida de água. O valor do coeficiente de absorção de água, determina-se pela média dos resultados individuais dos três provetes e é dado por:

$$C = 0,1 X (m_2 - m_1) \quad (3.10)$$

em que:

$m_1$  = massa aos 10 minutos (g);

$m_2$  = massa aos 90 minutos (g).

### 3.7.5. Ensaio da condutibilidade térmica

Para a determinação do coeficiente de condutibilidade térmica das argamassas, utilizaram-se dois equipamentos, o *Isomet 2114* e o *Rapid-k*, que serão analisados de seguida, separadamente.

#### 3.7.5.1. Equipamento *Isomet 2114*

O ensaio da condutibilidade térmica foi realizado com o equipamento *Isomet 2114* (Figura 3.40). A determinação da condutibilidade térmica de materiais, para um método transiente, é feita através de uma sonda de superfície com base na análise da resposta térmica do material ensaiado relativamente a impulsos térmicos.



Figura 3.40 - Medição da condutibilidade térmica com o equipamento *Isomet 2114*

O *Isomet 2114* é um instrumento de medição portátil, das propriedades de transferência de calor de uma ampla gama de materiais isotrópicos, incluindo materiais de isolamento, plásticos, vidros e minerais. É equipado com dois tipos de sondas de medição: sonda agulha e sonda superfície. Aplica-se um método de medição dinâmica, o que permite reduzir o tempo de medição. Não é necessário a calibração do equipamento antes dos ensaios. A medição é baseada na análise da resposta térmica do material um impulso de calor. por aquecimento eléctrico inserido na sonda. A sonda de superfície deve ser aplicada em superfícies planas, de modo a obter-se valores mais precisos. A espessura dos materiais deve estar compreendida entre os 20 e os 40 mm. Os resultados obtidos são influenciados por factores, tais como: qualidade do contato entre sonda e superfície, as flutuações de temperatura e humidade, as dimensões finitas da amostra do material e a não homogeneidade do material medido *Isomet 2114*, (2011).

Antes de se iniciar o procedimento do ensaio propriamente dito, é necessário introduzir, na memória interna do equipamento *Isomet 2114*, o material a medir, assim como a gama de valores do coeficiente de condutibilidade térmica esperados. O procedimento adoptado está de acordo com o manual do próprio equipamento e é descrito de seguida:

- conectar o equipamento à corrente eléctrica (este também funciona a bateria, quando esta se encontra carregada);
- ligar a sonda ao equipamento *Isomet 2114*;
- colocar a sonda sobre o material a medir (provetes deve ser plano e com pouca rugosidade de modo a evitar grandes desvios nos resultados);
- ligar o equipamento, pressionando o botão power (botão vermelho) durante 3 segundos;
- nas definições do equipamento define-se o material a ensaiar e a gama de valores esperados;
- pressionando a tecla F1, o ensaio inicia-se.

Para ter em conta a influência do teor de água nos provetes, no ensaio da condutibilidade térmica, registou-se a massa dos mesmos antes de casa ensaio.

### 3.7.5.2. Equipamento *Rapid-K*

O coeficiente de condutibilidade térmica das argamassas foi, também, medido no equipamento *Rapid-k* (Figura 3.42), utilizando o método estacionário de fluxo de calor. Os provetes para este equipamento têm dimensões 300 x300 x 50 mm<sup>3</sup>. Todas as argamassas foram testadas neste equipamento (Figura 3.42).





Figura 3.41 - *Rapid-K*



Figura 3.42 - Provetes 300 x 300 x 50 mm<sup>3</sup> de todas as argamassas

O equipamento *Rapid-k*, é um equipamento de medição do fluxo de calor, em condições estacionárias, entre 2 placas paralelas, com diferentes temperaturas, mas constantes ao longo do ensaio. Para os padrões de calibração adequados e para medição das temperaturas entre placas, a lei de *Fourier*, da condução de calor, é usada para calcular o coeficiente de condutibilidade térmica. As limitações deste equipamento prendem-se com a capacidade do aparelho reproduzir fluxo de calor constante e unidireccional, na precisão da medição de temperaturas, na espessura do material, na planaridade do material a ensaiar e a erros associados à determinação de parâmetros, dado ser necessário a calibração do equipamento e conseqüentemente o uso de um fator de conversão. Os provetes utilizados devem ter dimensões 300 x 300 x 50 mm<sup>3</sup>, sendo que o transdutor de fluxo de calor apenas utilizará um quadrado de lado de 100 mm, no meio do provete, para o ensaio. O provete deve ser revestido, para não haver perdas de calor laterais. A gama de valores registada, pelo *Rapid-k*, varia entre os 0,015 W/m.K e os 0,43 W/m.K. O procedimento experimental segue a norma Americana ASTM C518 (2010) e a norma ISO 8301 (1991) e assenta no seguinte:

- ligar o equipamento a um sistema de refrigeração, capaz de manter as temperaturas constantes ao longo do ensaio, sendo estas temperaturas controlados e monitorizadas;
- colocar a amostra entre as duas placas paralelas e ajustar, através de uma alavanca, as placas à amostra a ensaiar. A abertura para a amostra varia entre os 0 e os 100 mm;
- registar de 15 em 15 min os valores de fluxo de calor,  $Q$ , e as temperaturas das placas,  $T_i$  e  $T_u$ .
- o ensaio dá-se por terminado quando o quociente entre  $Q$  e  $\Delta T$  entre placas, entre duas medições consecutivas, é inferior a 1 %;
- utilizando a lei de Fourier, equação 3.11, determina-se o coeficiente de condutibilidade térmica.

(3.11)

$$\frac{Q}{A} = \lambda \times \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

em que:

$\lambda$  – coeficiente de condutibilidade térmica (W/m.K);

Q/A - fluxo de calor por unidade de área (W/m<sup>2</sup>);

$\Delta x$  - espessura do provete (m);

$\Delta T$  - diferença de temperatura entre a placa superior e a placa inferior (K).

### 3.7.5.3. Medição do teor de água

O teor de água foi determinado através do modelo gravimétrico, com base na Norma NP 956 (IPQ, 1973) recorrendo à equação 3.12:

$$Wt = \frac{m_{húmido} - m_{seco}}{m_{seco}} \times 100 \quad (3.12)$$

em que:

$m_{húmido}$  = massa da amostra húmida

$m_{seco}$  = massa da amostra seca

Os provetes foram ensaiados saturados, recorrendo a um exsiccador, e secos, através de um forno a 60° C. As medições foram ainda efectuadas, aos 14 e 28 dias, tempo decorrido, após produção e moldagem, da argamassa em câmara húmida.

## 3.8. Síntese do capítulo

Na campanha experimental, foram produzidas quatro argamassas industriais, comercializadas em Portugal, uma argamassa de referência, de base cimentícia e duas argamassas cimentícias com incorporação de agregados isolantes, granulado de cortiça e de EPS.

Para cada argamassa foram produzidos 13 provetes prismáticos, sendo 9 de dimensões 160x40x40 [mm<sup>3</sup>], 3 de dimensões 80x70x25 mm<sup>3</sup> e 1 de dimensão 300x300x50 mm<sup>3</sup>. Foram preparados, ainda, 2 tijolos, por argamassa, com uma camada de reboco de 4 cm.

Realizou-se uma caracterização preliminar dos materiais constituintes das argamassas, determinando-se para as argamassas tradicionais, a baridade da areia, do cimento e dos materiais isolantes térmicos e, para as argamassas industriais, a baridade dos respetivos produtos em pó.

A caracterização das argamassas no estado fresco foi realizada após a sua produção, com os ensaios da massa volúmica aparente, do espalhamento por consistência e do teor de ar. A caracterização das argamassas no estado endurecido foi realizada aos 28 dias de idade. Para tal,

foram realizados ensaios físicos, nomeadamente; da massa volúmica aparente, porosidade aparente, absorção de água a baixa pressão, absorção de água por capilaridade, secagem e condutibilidade térmica, de modo a analisar o comportamento físico das diferentes argamassas com desempenho térmico melhorado.

## 4. Apresentação e discussão dos resultados

### 4.1. Considerações gerais

Este capítulo tem como objetivo analisar os resultados dos ensaios realizados no Laboratório de Construção do DECivil, do Instituto Superior Técnico, os quais foram executados, em provetes, após o seu período de cura. Numa primeira fase, foram analisados os constituintes das argamassas, bem como uma caracterização, no estado fresco e endurecido, dos parâmetros preponderantes, para avaliar a resistência das argamassas, na presença de água. As argamassas foram ainda ensaiadas, com equipamentos e teores de água distintos, à condutibilidade térmica.

### 4.2. Constituintes das argamassas

#### 4.2.1. Baridade

Os resultados médios, das baridades, dos materiais constituintes das argamassas tradicionais e dos produtos em pó para a produção das argamassas industriais, são apresentados na Tabela 4.1. O ensaio foi repetido 3 vezes para cada material, encontrando-se os resultados individuais no anexo A.4.1. Não houve compactação do material durante o processo.

Tabela 4.1 - Baridades de todos os materiais utilizados

Material	Baridade média (kg/m <sup>3</sup> )	Desvio Padrão (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)
Areia da Mesquita	1578	4	0,25
Cimento	1052	5	0,48
Granulado de cortiça	101	1	0,99
Granulado de EPS	11	0	0
Argamassa A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	173	13	7,5
Argamassa B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	319	1	0,31
Argamassa C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	604	5	0,83
Argamassa D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	446	1	0,22

O valor da baridade média da areia, obtido no presente trabalho, foi de 1578 kg/m<sup>3</sup> que é similar aos valores obtidos por SOARES (2011), BRÁS et al. (2013) e ARROMBA (2011) que obtiveram valores de 1533, 1590 e 1576 kg/m<sup>3</sup>, respetivamente.

O valor da baridade média do cimento foi de 1050 kg/m<sup>3</sup>, coerente com os obtidos por FLORES-COLEN (2009) e VEIGA (2001), que obtiveram 1100 e 1000 kg/m<sup>3</sup>, respetivamente.

Em relação aos agregados isolantes térmicos, obteve-se o valor de 101 kg/m<sup>3</sup> para a baridade do granulado de cortiça e de 11 kg/m<sup>3</sup> para o granulado de EPS. O valor da baridade do granulado de

cortiça encontra-se próximo dos valores obtidos por BRÁS et al. (2013), (112,4 kg/m<sup>3</sup>), por NÓVOA et al. (2004), (120 kg/m<sup>3</sup>) e por MARTINS (2010), 84-115 kg/m<sup>3</sup>.

No que diz respeito à baridade do granulado de EPS, o valor obtido é coerente com o conseguido por BABU et al. (2005), (9,5-20 kg/m<sup>3</sup>) e é ligeiramente inferior ao valor obtido por BRÁS et al. (2013), 16,7 kg/m<sup>3</sup>. Uma possível causa poderá ter sido a menor dimensão do agregado utilizado pelos autores. O CV da argamassa A<sup>ind</sup><sub>EPS</sub> é bastante superior ao das restantes argamassas, pois, sendo a argamassa menos compacta e mais leve, qualquer variação da quantidade dos materiais utilizada ou alterações no procedimento de ensaio, causam diferenças nos resultados finais.

### 4.3. Argamassa no estado fresco

Neste capítulo, apresentam-se os valores médios obtidos dos ensaios realizados no estado fresco. Determina-se a consistência por espalhamento, o teor de ar e a massa volúmica aparente, parâmetros característicos da argamassa.

#### 4.3.1. Massa volúmica aparente no estado fresco

O ensaio da massa volúmica aparente realizou-se 3 vezes em cada argamassa. Os resultados médios encontram-se na Tabela 4.2 e os resultados individuais no Anexo A.4.2.

Tabela 4.2 - Massa volúmica, no estado fresco, das argamassas produzidas

Argamassa	% Adição / Agreg. Isolante	Massa volúmica aparente média (kg/m <sup>3</sup> )	Desvio padrão (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)
A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	100% EPS	411	2	0,49
B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	70-80% EPS	563	5	0,89
C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	70-80% cortiça	1016	16	1,58
D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	SI/cortiça	896	23	2,57
E <sup>Ref</sup>	Sem adição	2105	12	0,57
F <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>	80% cortiça	1056	27	2,56
G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>	85% EPS	662	26	3,93

Legenda: SI – Sem informação.

Os valores da massa volúmica, no estado fresco, das argamassas, com incorporação de agregado isolante variam entre os 411-1056 kg/m<sup>3</sup>. Analisando as argamassas industriais, conclui-se que a argamassa A<sup>ind</sup><sub>EPS</sub>, tem uma massa volúmica aparente de 411 kg/m<sup>3</sup>, valor compreendido no intervalo fornecido pelo fabricante, 375-525 kg/m<sup>3</sup>. A argamassa B<sup>ind</sup><sub>EPS</sub> tem uma massa volúmica aparente de 563 kg/m<sup>3</sup>, valor um pouco superior ao limite superior do intervalo fornecido pelo fabricante, 450 kg/m<sup>3</sup>. Uma possível causa poderá estar relacionada com diferenças no processo de mistura. O mesmo acontece com a argamassa C<sup>ind</sup><sub>Cort</sub>, para a qual se obteve um valor de 1016 kg/m<sup>3</sup>,

enquanto o limite máximo do intervalo fornecido pelo fabricante é de  $950 \text{ kg/m}^3$ . No entanto, FRADE et al. (2012), num estudo realizado à mesma argamassa, obteve um valor de  $1200 \text{ kg/m}^3$ . O valor da massa volúmica aparente, no estado fresco, obtido para a argamassa  $D^{\text{ind}}_{\text{Cort}}$  foi de  $896 \text{ kg/m}^3$ ; contudo o fabricante não fornece um valor recomendado para esta característica.

Analisando, agora, as argamassas tradicionais, verifica-se que a argamassa  $E^{\text{Ref}}$  ( $2105 \text{ kg/m}^3$ ) tem um valor similar ao valor obtido por MENDONÇA (2007),  $2110 \text{ kg/m}^3$  e por VEIGA (2001),  $2080 \text{ kg/m}^3$ , para argamassas de referência com o mesmo traço volumétrico presente no trabalho (1:3). Relativamente à argamassa  $F^{\text{Trad}}_{\text{Cort}}$ , obteve-se o valor de  $1056 \text{ kg/m}^3$ . Este encontra-se compreendido no intervalo de valores de massa volúmica aparente,  $890\text{-}1160 \text{ kg/m}^3$ , obtido por MARTINS (2010), para uma argamassa bastarda (cal e cimento) com incorporação de 80% de granulado de cortiça.

A argamassa  $G^{\text{Trad}}_{\text{EPS}}$  apresentou um valor de  $662 \text{ kg/m}^3$  de massa volúmica aparente, enquanto Ali (2011), obteve  $980 \text{ kg/m}^3$ , sendo que o autor utilizou um intervalo mais amplo de dimensão de partículas, 2,38-19 mm, tornando a argamassa mais compacta. BABU (2005), em relação a uma argamassa com incorporação de 80% de EPS, obteve o valor de massa volúmica de  $984 \text{ kg/m}^3$ . Note-se que o autor utilizou 50% de cimento e 50% cinzas volantes, material este que torna a argamassa mais compacta (AZEVEDO, 2002; NÓVOA et al., 2004).

Tendo por base os estudos referidos, os valores obtidos encontram-se dentro dos valores expectáveis. Em suma, a introdução de granulado de cortiça e de EPS faz diminuir os valores da massa volúmica aparente, no estado fresco, em cerca de 50% e 70%, em relação à argamassa de referência.

#### 4.3.2. Consistência por espalhamento

Foram realizados 3 ensaios de espalhamento para cada argamassa. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.3. Os resultados individuais encontram-se no anexo A.4.3.

Tabela 4.3 – Resultados médios do ensaio de consistência por espalhamento

Argamassa	Espalhamento médio (mm)	DP (mm)	CV (%)
$A^{\text{ind}}_{\text{EPS}}$	141	1	0,58
$B^{\text{ind}}_{\text{EPS}}$	132	1	1,09
$C^{\text{ind}}_{\text{Cort}}$	152	1	0,82
$D^{\text{ind}}_{\text{Cort}}$	151	1	0,83
$E^{\text{Ref}}$	173	1	0,47
$F^{\text{Trad}}_{\text{Cort}}$	158	3	2,07
$G^{\text{Trad}}_{\text{EPS}}$	151	1	0,41

Os valores obtidos encontram-se dentro dos intervalos estabelecidos na norma EN 1015-2 (CEN, 1998a), garantindo, à partida, uma correta trabalhabilidade, tendo em conta a massa volúmica aparente das argamassas no estado fresco. A relação a/c das argamassas tradicionais, foi obtida por tentativa e erro, até se obter valores de espalhamento, compreendidos no intervalo de valores, presente na norma EN 1015-2 (CEN, 1998a).

Em relação às argamassas industriais, elas têm valores de consistência por espalhamento dentro dos intervalos óptimos fornecidos pelos fabricantes.

A argamassa  $A_{EPS}^{ind}$ , com um espalhamento de 141 mm, encontra-se no intervalo recomendado, 130-150 mm. O mesmo acontece com a argamassa  $B_{EPS}^{ind}$  e  $C_{Cort}^{ind}$  que, com 131,5 e 151,5 mm de espalhamento, se encontram dentro dos respetivos intervalos recomendados de 130-150 e 150-170 mm, respetivamente. O fabricante da argamassa  $D_{Cort}^{ind}$  não facultou qualquer intervalo de valores.

É de salientar o facto das argamassas com incorporação de granulado de EPS terem uma melhor trabalhabilidade comparadas com as argamassas com incorporação de granulado de cortiça. Este facto pode estar relacionado com a maior absorção de água dos granulados de cortiça, quando comparados com os de EPS (BRÁS et al., 2013).

A argamassa  $F_{Cort}^{Trad}$ , com uma relação a/c de 0,7 apresentou um valor de espalhamento de 158 mm, ao passo que a argamassa  $G_{EPS}^{Trad}$ , com uma relação a/c de 0,5, apresentou um espalhamento de 151 mm.

BRÁS et al. (2013) obtiveram, para uma argamassa com incorporação de 80% de granulado de cortiça, com relação a/c de 0,7, um valor de 180 mm e para uma argamassa com substituição de 80% de EPS, e uma relação de a/c de 0,6, um valor de 160 mm de espalhamento. Estes valores estão ligeiramente superiores aos do presente trabalho. No entanto, BRÁS et al. (2013) utilizaram um plastificante na sua argamassa, que faz com que aumente a trabalhabilidade para uma menor relação a/c (VEIGA, 2001; COUTINHO, 1998), e constataram que o aumento da dosagem de granulado de cortiça nas argamassas, diminui a sua trabalhabilidade, enquanto esta tendência não foi verificada nas argamassas com EPS.

### 4.3.3. Teor de ar

Realizaram-se ensaios de teor de ar para 3 diferentes amassaduras de cada argamassa. Utilizou-se o manómetro para tal e seguiu-se os procedimentos da norma EN 1015-7 (CEN, 1998c) obtendo-se os valores apresentados na Tabela 4.4. Os resultados individuais estão no anexo A.4.4.

Tabela 4.4 - Percentagem de teor de ar das argamassas produzidas

Argamassa	Teor de ar(%)	DP (%)	CV (%)
A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	9,6	0,33	3,40
B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	5,2	0,16	3,14
C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	6,6	0,24	3,71
D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	6,0	0,41	6,80
E <sup>Ref</sup>	4,7	0,16	3,47
F <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>	5,0	0,05	0,94
G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>	6,2	0,16	2,63

Os valores obtidos da percentagem de ar contido nas argamassas variam entre os 4,7% e os 9,6%, sendo que, se retirarmos o valor da argamassa A<sup>ind</sup><sub>EPS</sub>, os valores estão compreendidos entre 4,7 e os 6.6 %, são muitos próximos. Este facto, aliado à falta de informação do fabricante sobre a constituição completa das argamassas industriais, dificulta muito a análise, tanto mais ainda que se trata de um ensaio pouco ou nada utilizado em outros trabalhos comparativos.

Em relação às argamassas industriais, a argamassa A<sup>ind</sup><sub>EPS</sub> é a que contém maior percentagem de teor de ar. As argamassas B<sup>ind</sup><sub>EPS</sub>, C<sup>ind</sup><sub>Cort</sub> e D<sup>ind</sup><sub>Cort</sub> contêm percentagens de ar muito semelhantes, apesar do ligeiro aumento da percentagem na argamassa C<sup>ind</sup><sub>Cort</sub>, devido à presença de introdutores de ar.

A argamassa de referência apresenta um teor de ar de 4,7%, coerente com o valor de 4,5% obtido por PINA (2009), quando testava uma argamassa cimentícia, com traço volumétrico 1:3 e uma relação a/c de 0,5. O teor de ar nos materiais cimentícios varia, normalmente entre 3% e 5% em argamassas (RIBEIRO,2004).

Em relação às argamassas tradicionais, a introdução de 80% de granulado de cortiça na argamassa F<sup>Trad</sup><sub>Cort</sub>, em relação à argamassa E<sup>Ref</sup>, provocou um aumento de 6,4% na percentagem de teor de ar, ao passo que a argamassa G<sup>Trad</sup><sub>EPS</sub>, com a introdução de 85% de granulado de EPS, em relação à argamassa E<sup>Ref</sup>, deu origem a um aumento de 32% na percentagem de teor de ar. É de salientar o facto de haver um decréscimo da relação a/c de cerca de 12% e 35% da argamassa F<sup>Trad</sup><sub>Cort</sub> e G<sup>Trad</sup><sub>EPS</sub> em relação à argamassa de referência, respetivamente. Apesar que haver poucos pontos para uma correlação significativa, verifica-se que a percentagem de teor de ar, decresce através, de uma potência, com a relação a/c.

#### 4.4. Argamassas no estado endurecido

Neste capítulo apresentam-se os valores obtidos nos ensaios realizados no estado endurecido. Determina-se a massa volúmica aparente no estado endurecido, absorção de água a baixa pressão,



a absorção de água por capilaridade, a porosidade aparente, o índice de secagem e a condutibilidade térmica das argamassas produzidas.

#### 4.4.1. Massa volúmica aparente no estado endurecido

A massa volúmica de amostras pode ser determinada por dois métodos; princípio geométrico e pesagem hidrostática (CSTB (1993) citado por FLORES-COLEN (2009); CEN (1999b)).

Primeiramente, realizou-se o ensaio por pesagem hidrostática. Contudo não foi possível realizá-lo na totalidade para as argamassas  $A^{ind}_{EPS}$ ,  $B^{ind}_{EPS}$  e  $G^{Trad}_{EPS}$  pois estas, quando colocadas em água, ficavam a boiar, devido ao impulso hidrostático, como se pode ver na Figura 4.1.



Figura 4.1 - Provete a flutuar quando colocado em água

Calculou-se, então, a massa volúmica aparente pelo princípio geométrico, que consiste em dividir a massa da amostra pelo seu volume geométrico. Na Tabela 4.5 estão os valores médios da massa volúmica aparente, no estado endurecido, das argamassas estudadas. Os resultados individuais, usando ambos os métodos, são apresentados no anexo A.4.5.

Tabela 4.5 - Massa volúmica aparente aos 28 dias

Argamassa	Método hidrostático		Método geométrico	
	Massa volúmica aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Desvio padrão (kg/m <sup>3</sup> )	Massa volúmica aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Desvio padrão (kg/m <sup>3</sup> )
$A^{ind}_{EPS}$	-	-	237	17
$B^{ind}_{EPS}$	-	-	432	17
$C^{ind}_{Cort}$	867	1,18	863	13
$D^{ind}_{Cort}$	691	5	642	13
$E^{Ref}$	1853	17,9	1885	8
$F^{Trad}_{Cort}$	888	1,31	855	21
$G^{Trad}_{EPS}$	-	-	683	20

Analisando os valores de massa volúmica aparente, obtidos pelos dois processos referidos, nota-se que são muito semelhantes, com variações máximas de cerca de 7%. Os valores da massa volúmica aparente, obtidos nas argamassas industriais, estão compreendidos entre 237 e 642 kg/m<sup>3</sup>, enquanto nas argamassas tradicionais, com incorporação de materiais isolantes, estão compreendidos entre 683 e 855 kg/m<sup>3</sup>.

Tendencialmente, as argamassas com incorporação de granulado de cortiça têm valores de massa volúmica aparente superiores às argamassas com incorporação de granulado de EPS, como seria de esperar, dado o granulado de cortiça ter uma baridade bastante superior à do EPS (cortiça = 101 kg/m<sup>3</sup>; EPS = 11 kg/m<sup>3</sup>). Tal como previsto, a massa volúmica aparente da argamassa de referência, E<sup>Ref</sup>, é muito superior à das restantes argamassas, 1885 kg/m<sup>3</sup>, pois o único agregado na sua constituição é a areia.

Em relação às argamassas industriais, as argamassas A<sup>ind</sup><sub>EPS</sub> e C<sup>ind</sup><sub>Cort</sub> com massas volúmicas aparentes de 237 kg/m<sup>3</sup> e 863 kg/m<sup>3</sup>, apresentam valores dentro dos intervalos ótimos fornecidos pelos fabricantes, (260 ± 50 kg/m<sup>3</sup>) e (900 ± 50 kg/m<sup>3</sup>), respetivamente. Os valores das massas volúmicas aparentes obtidos para as argamassas B<sup>ind</sup><sub>EPS</sub> (432 kg/m<sup>3</sup>) e D<sup>ind</sup><sub>Cort</sub> (642 kg/m<sup>3</sup>), estão ligeiramente superiores aos intervalos de valores indicados pelos fabricantes, cerca de 30% em ambos. Esta diferença de valores poderá estar associada a diferenças no processo de compactação e colocação da argamassa nos moldes. A argamassa A<sup>ind</sup><sub>EPS</sub> apresenta o mais baixo valor de massa volúmica aparente, de entre as argamassas estudadas, 237 kg/m<sup>3</sup>, tendo apenas, o EPS, como único agregado.

Em relação às argamassas tradicionais, o valor da massa volúmica aparente, da argamassa de referência (1885 kg/m<sup>3</sup>), encontra-se de acordo com os valores de 1919 kg/m<sup>3</sup> e 1880 kg/m<sup>3</sup> obtidos por ARROMBA (2011) e VEIGA (2001), respetivamente. O valor de massa volúmica obtido para a argamassa F<sup>Trad</sup><sub>Cort</sub> foi de 855 kg/m<sup>3</sup>, havendo um decréscimo de 55% em relação à argamassa de referência.

MARTINS (2010), obteve o intervalo de valores de 917-970 kg/m<sup>3</sup> para argamassas bastardas (cal e cimento), com incorporação de 80% de cortiça, fazendo variar a dimensão da granulometria utilizada, conseguindo uma redução máxima de cerca de 50% em relação à sua argamassa de referência.

BRÁS et al. (2013), obtiveram um valor de 1400 kg/m<sup>3</sup> para uma argamassa com incorporação de 80% de granulado de cortiça, conseguindo uma redução de cerca de 35% da massa volúmica aparente, no estado endurecido, em relação à respectiva argamassa de referência (2050 kg/m<sup>3</sup>).

PANESAR et al. (2012) obtiveram, numa argamassa com incorporação de 20% de granulado de cortiça, uma massa volúmica aparente nos intervalos 1772-1849 kg/m<sup>3</sup>, fazendo variar a dimensão

do agregado, conseguindo uma redução máxima de 25%, da massa volúmica aparente, em relação à sua argamassa de referência (2382kg/m<sup>3</sup>).

O valor da massa volúmica aparente obtido para a argamassa  $G_{EPS}^{Trad}$  foi de 683 kg/m<sup>3</sup>, havendo, portanto, um decréscimo de 64% em relação à massa volúmica da argamassa de referência.

ALI (2011), obteve um valor de 970 kg/m<sup>3</sup> para uma argamassa semelhante, com substituição de areia por granulado de EPS, conseguindo uma redução de cerca de 55%, do valor da massa volúmica aparente em relação à respetiva argamassa de referência (2138 kg/m<sup>3</sup>).

BRÁS et al. (2013), também verificaram uma redução na ordem dos 30%, numa argamassa com percentagem de incorporação de EPS semelhante, reduzindo a massa volúmica de 2050 kg/m<sup>3</sup> para 1520 kg/m<sup>3</sup>.

Em suma, estes estudos vêm corroborar, que a introdução de cerca de 80% de granulado de cortiça e de EPS, reduz a massa volúmica aparente, no estado endurecido, das argamassas em cerca de 55% e 65%, respectivamente, ou seja, as argamassas com melhoria térmica são argamassas menos compactas.

#### 4.4.2. Porosidade aparente

A determinação da porosidade aparente ( $P_{ap}$ ) recorre ao método de ensaio, anteriormente descrito para a massa volúmica aparente, através da pesagem hidrostática. Este ensaio necessita da massa imersa dos provetes ( $m_{imerso}$ ), não tendo sido possível para argamassas  $A_{EPS}^{ind}$ ,  $B_{EPS}^{ind}$  e  $G_{EPS}^{Trad}$ . Os resultados médios apresentam-se na Tabela 4.6. Os resultados parciais encontram-se no anexo A.4.6.

Tabela 4.6 - Porosidade aparente das argamassas aos 28 dias

Argamassa	Média da porosidade aparente (%)	Desvio padrão (%)	CV (%)
$A_{EPS}^{ind}$	-	-	-
$B_{EPS}^{ind}$	-	-	-
$C_{Cort}^{ind}$	46,4	1,1	2,37
$D_{Cort}^{ind}$	47,3	0,4	0,85
$E_{Ref}$	25,6	0,2	0,78
$F_{Cort}^{Trad}$	37,5	0,1	0,27
$G_{EPS}^{Trad}$	-	-	-

Legenda: - não foi possível obter valores da porosidade aparente nas argamassas com EPS, pois estas ficavam a boiar durante o ensaio impossibilitando a obtenção da massa hidrostática.

Em geral, só foi possível calcular a porosidade aparente para a argamassa de referência e para as argamassas com granulado de cortiça.

O valor da porosidade aparente obtido para as argamassas industriais  $C_{Cort}^{ind}$  e  $D_{Cort}^{ind}$  foi, respectivamente, semelhante e superior ao valor da porosidade obtido para a argamassa tradicional com incorporação de cortiça. O fabricante da argamassa  $C_{Cort}^{ind}$  anuncia uma porosidade de 46,6%, sendo semelhante ao valor determinado no presente estudo (46,4%). O fabricante da argamassa  $D_{Cort}^{ind}$  não faculta dados acerca da porosidade da argamassa.

Em relação à argamassa de referência, o valor 25,6 % de porosidade aparente encontra-se com o estipulado por BEGONHA (2001), que refere que as argamassas maioritariamente cimentícias têm valores de porosidade inferiores a materiais maioritariamente de cal, com valores de referência entre os 20 a 25%.

Em relação à argamassa  $F_{Cort}^{Trad}$ , esta apresenta um valor de porosidade de 37,5 % havendo, portanto, um incremento de cerca de 45% do valor da porosidade aparente. LEAL (2012), testou várias argamassas, com diferentes percentagens de incorporação de cortiça. A sua argamassa de referência tem um valor de porosidade de 28%, sofrendo, um incremento de cerca de 46%, com a adição de 70% de granulado de cortiça.

Em suma, as argamassas com desempenho térmico melhorado, com incorporação de cortiça, tendem a ser argamassas mais porosas.

#### 4.4.3. Ensaio de absorção de água por capilaridade

Com o ensaio de absorção de água por capilaridade é possível medir a quantidade de fluido que penetra pelos poros do provete de argamassa, através de forças capilares, sendo que quanto maiores os poros capilares, maior a velocidade de absorção do fluido na argamassa. Com este ensaio torna-se possível traçar curvas de absorção de água por capilaridade e calcular o coeficiente de capilaridade das argamassas estudadas (FARIA et al., 2007). As Figuras 4.2 e 4.3 ilustram as curvas de absorção capilar das argamassas tradicionais e industriais, respetivamente.

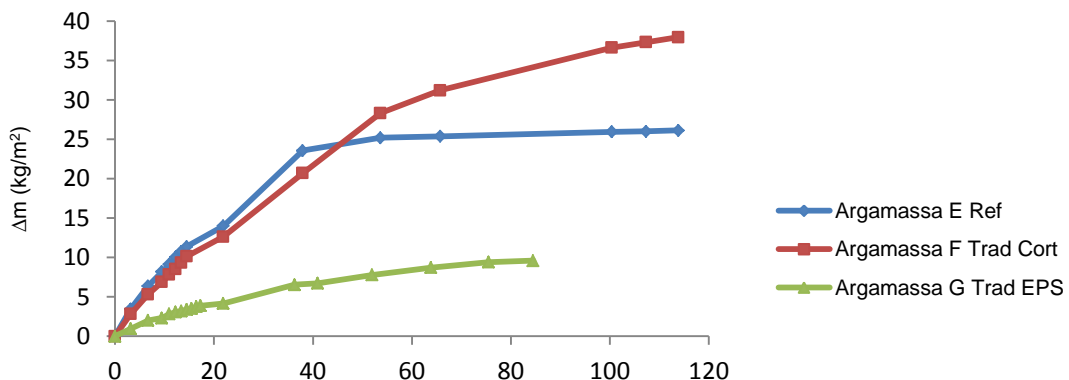


Figura 4.2- Curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas tradicionais, aos 28 dias de idade

O coeficiente de absorção de água por capilaridade indica a velocidade com que a absorção de água se processa nos instantes iniciais (FARIA et al., 2012).

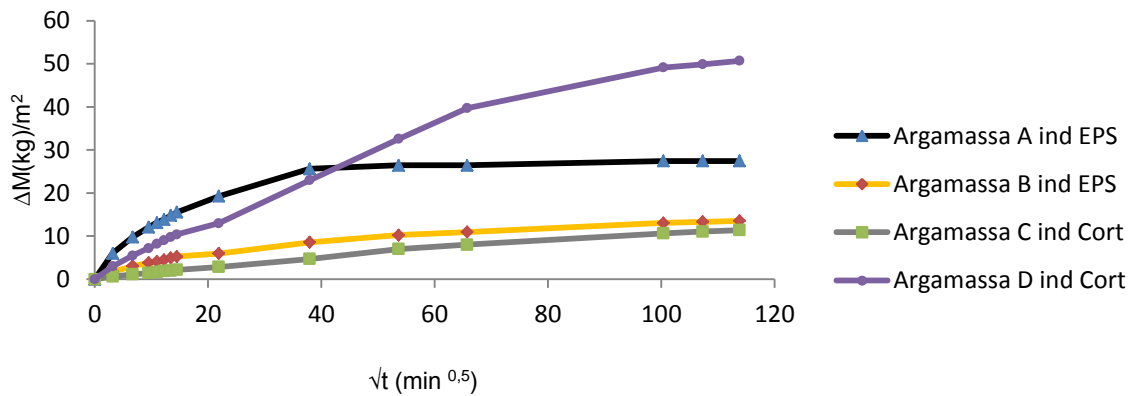


Figura 4.3 - Curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas industriais, aos 28 dias de idade

O declive da reta tangente ao primeiro troço do gráfico de absorção de água, ao longo do ensaio, representa o coeficiente de absorção capilar. Este troço é definido até que haja uma mudança brusca do andamento do gráfico, onde o declive da recta tangente passa a ser menos acentuado, indicando o fim da absorção rápida (BROWN, 2004 citado em PÁSCOA, 2009; FLORES-COLEN, 2009).

A absorção de água, numa fase inicial, é mais significativa, devido ao facto de a água preencher inicialmente os poros de maior dimensão e, só depois, os de menor dimensão e por último, os de ínfimo tamanho são penetrados, após os anteriores se encontrarem preenchidos (RATO, 2006). Quanto maior o tempo que a argamassa demora a atingir o valor assintótico, menos provável se torna esta de ser alvo de degradação (LEAL, 2012). Considera-se, pela análise gráfica, o final da fase de absorção rápida aos 210 minutos para todas as argamassas, com excepção da argamassa C<sup>ind Cort</sup> e G<sup>Trad EPS</sup>, para as quais, se considera 270 e 300 minutos respectivamente. Na Figura 4.5 são ilustradas as curvas de absorção capilar nos instantes iniciais.

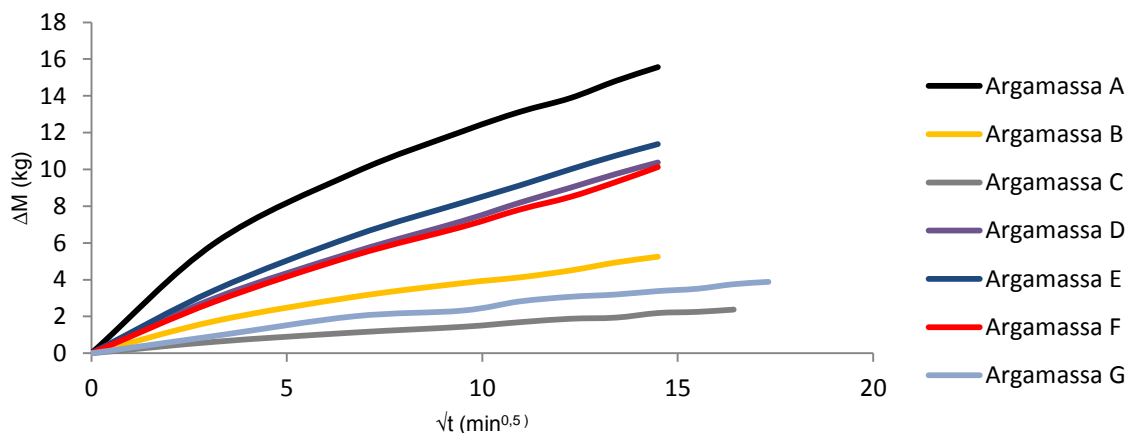


Figura 4.4 - Curvas de absorção de água por capilaridade, na fase de absorção rápida

Segundo a norma EN 1015-18 (CEN, 2002), o coeficiente de absorção de água por capilaridade, é determinado pela diferença de massas entre os minutos 10 e 90, ou seja, admite-se que o ponto de mudança entre absorção rápida e a absorção lenta ocorre aos 90 minutos. Na Tabela 4.7, compara-se os valores obtidos para C, com base na diferença de massas no intervalo normalizado de 90 e 10 minutos, com o declive obtido, para o primeiro troço, nas curvas de absorção capilar das argamassas (Figura 4.4). No anexo A.4.7 estão disponíveis os resultados individuais do ensaio.

Tabela 4.7 - Comparação dos resultados do coeficiente de absorção de água por capilaridade através da EN 1015-18 (CEN (2002)) e o declive do troço inicial para o intervalo estipulado

Argamassa	Método de cálculo utilizado	VALORES MÉDIOS					
		M <sub>1</sub> (kg)	t <sub>1</sub> (min)	M <sub>90</sub> (kg)	M <sub>10</sub> (kg)	R <sup>2</sup>	C (kg/m <sup>2</sup> .√min)
A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	Declive - melhor aproxi	0,053	210	-	-	0,962	1,01
	Norma EN 1015-18	0,053	[10-90]	0,072	0,063	-	0,92
B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	Declive - melhor aproxi	0,112	210	-	-	0,981	0,34
	Norma EN 1015-18	0,112	[10-90]	0,118	0,115	-	0,31
C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	Declive - melhor aproxi	0,214	270	-	-	0,994	0,14
	Norma EN 1015-18	0,214	[10-90]	0,217	0,215	-	0,13
D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	Declive - melhor aproxi	0,176	210	-	-	0,951	0,70
	Norma EN 1015-18	0,176	[10-90]	0,188	0,181	-	0,67
E <sup>Ref</sup>	Declive - melhor aproxi	0,487	210	-	-	0,989	0,74
	Norma EN 1015-18	0,487	[10-90]	0,500	0,492	-	0,74
F <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>	Declive - melhor aproxi	0,216	210	-	-	0,995	0,67
	Norma EN 1015-18	0,216	[10-90]	0,228	0,220	-	0,64
G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>	Declive - melhor aproxi	0,170	300	-	-	0,984	0,22
	Norma EN 1015-18	0,170	[10-90]	0,174	0,172	-	0,23

Legenda: M<sub>1</sub> = massa seca do provete; t<sub>1</sub> = duração da primeira fase; M<sub>90</sub> = massa aos 90 minutos; M<sub>10</sub> = massa aos 10 minutos; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; m<sub>1</sub> = coeficiente de absorção de água por capilaridade.

Pela análise da Tabela 4.7, depreende-se que o coeficiente de determinação em todos os casos é bastante próximo da unidade, e que o valor de C, determinado por ambos os métodos, é semelhante, como se pode comprovar pela Figura 4.5.

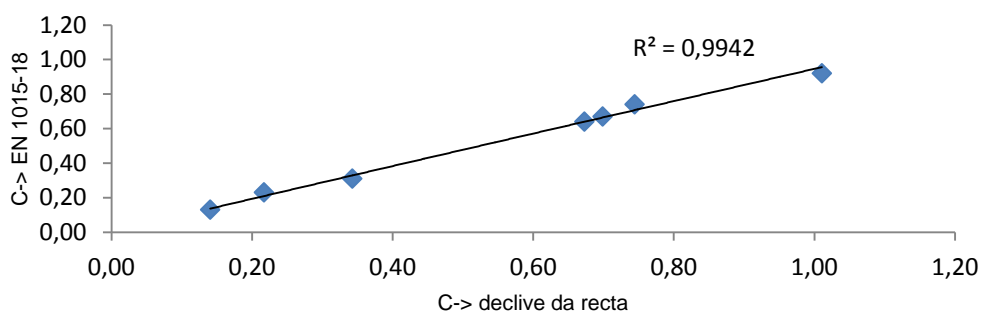


Figura 4.5 - Relação entre coeficiente de absorção capilar calculado pelo declive inicial da curva de absorção e pela norma EN 1015-18

Considerando os valores do coeficiente de absorção capilar, obtidos pela fórmula estipulada na norma EN 1015-18 (CEN, 2002), verifica-se que, para as argamassas industriais, variam entre os 0,13 e os 0,92  $\text{kg/m}^2 \cdot \sqrt{\text{min}}$ , enquanto para as argamassas tradicionais, variam entre 0,23 e 0,64  $\text{kg/m}^2 \cdot \sqrt{\text{min}}$ .

Analisando, em primeiro lugar, as argamassas industriais conclui-se que todos os valores obtidos estão acima dos valores preconizados pelos fabricantes, à excepção do valor da argamassa  $C_{\text{Cort}}^{\text{ind}}$ , que se encontra dentro do intervalo preconizado pelo fabricante, como se pode ver na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Valores expectáveis e valores obtidos do valor de C

Argamassa	Valores do fabricante	Valores obtidos no trabalho experimental
$A_{\text{EPS}}^{\text{ind}}$	0,40	0,90
$B_{\text{EPS}}^{\text{ind}}$	0,20	0,30
$C_{\text{Cort}}^{\text{ind}}$	0,2	0,13
$D_{\text{Cort}}^{\text{ind}}$	0,35	0,67

Esta diferença de valores poderá estar associada a diferenças nos procedimentos de produção ou de ensaio. Na verdade, qualquer alteração na mistura e nas próprias quantidades utilizadas causam alteração dos valores. O facto de não se ter utilizado qualquer impermeabilizante nas faces laterais dos provetes prismáticos, aquando ensaiados, pode justificar uma maior absorção, dado que os valores declarados pelos fabricantes seguem a norma EN 1015-18, que preconiza a impermeabilização das faces laterais dos provetes.

Todas estas argamassas são hidrófugas, não sabendo o tipo nem as quantidades utilizadas pelos respetivos fabricantes. Contudo, a argamassa  $A_{\text{EPS}}^{\text{ind}}$  tem um valor muito superior aos das restantes argamassas, enquanto a argamassa  $C_{\text{Cort}}^{\text{ind}}$  tem um valor muito inferior. É de salientar ainda o facto de que a argamassa  $C_{\text{Cort}}^{\text{ind}}$ , sendo a argamassa com melhor valor de coeficiente de absorção capilar, ou seja, o valor mais baixo, é apenas constituída por cimento *Portland*, enquanto as restantes argamassas industriais contêm cal e cimento. A cal hidráulica natural, de um modo geral, torna as argamassas mais porosas o que resulta numa maior absorção de água, tal como, onde é o único ligante, argamassa  $D_{\text{Cort}}^{\text{ind}}$ . É de realçar, também, que a argamassa  $C_{\text{Cort}}^{\text{ind}}$  tem na sua constituição introdutores de ar, que permitem a formação, durante a mistura da argamassa, de pequenas bolhas de ar fechadas que permanecem entre o cimento e as partículas finas do agregado, funcionando como um corte na capilaridade dos cimentos, melhorando a capacidade de impermeabilização (NASCIMENTO, 2006).

A argamassa  $F_{\text{Cort}}^{\text{Trad}}$  tem um coeficiente de absorção de 0,64  $\text{kg/m}^2 \cdot \sqrt{\text{min}}$ , havendo portanto um decréscimo de cerca de 15% do valor do coeficiente de absorção capilar, em relação à argamassa de referência (0,74  $\text{kg/m}^2 \cdot \sqrt{\text{min}}$ ). BRÁS et al. (2013), num estudo semelhante, também

verificaram um decréscimo de cerca de 30%, em relação à respectiva argamassa de referência, passando o coeficiente de 0,33 para 0,23 kg/m<sup>2</sup>.√min. ACIV (2010), testou a incorporação de 53% de granulado de cortiça numa argamassa, por substituição de areia, obtendo decréscimos na ordem de 15% do valor do coeficiente de absorção capilar.

Em suma, estes trabalhos corroboram a ideia de que a introdução de granulado de cortiça, numa argamassa, permite obter coeficientes de absorção de água por capilaridade mais baixos. Segundo PANESAR (2012), usar granulado de cortiça de pequenas dimensões, como foi o caso do trabalho em questão, otimiza as propriedades mecânicas das argamassas, contudo torna-as mais permeáveis, em relação a granulado de grandes dimensões.

A argamassa G<sup>Trad</sup><sub>EPS</sub> apresentou um coeficiente de absorção de água por capilaridade de 0,23 kg/m<sup>2</sup>.√min, havendo portanto um decréscimo de cerca de 70% do valor do coeficiente. Uma possível justificação para este facto, é a elevada percentagem de incorporação de EPS, grandes dimensões (3,35-4 mm), o que tornou a superfície bastante rugosa, pelo quase total preenchimento da mesma por EPS. Sendo o EPS um material não absorvente (BABU et al., 2006), deu origem a um coeficiente de capilaridade baixo.

LEAL (2012), em testes semelhantes, numa argamassa com incorporação de 80% de EPS, obteve um decréscimo de 10% em relação à respectiva argamassa de referência. BABU et al. (2006), testando o EPS em betões obteve coeficientes de absorção de água por capilaridade muito baixos, concluindo um bom desempenho do EPS, em betões, face à presença de água.

Embora não seja clara e expressamente conclusivo, analisando os resultados da presente dissertação e os trabalhos acima referidos, depreende-se que a incorporação de granulado de EPS, numa argamassa, faz diminuir o coeficiente de absorção de água por capilaridade.

Segundo a norma EN 998-1 CEN (2010), as argamassas, para serem consideradas térmicas, têm de pertencer às classes W1 ou W2, ou seja, terem valores do coeficiente de absorção de água por capilaridade inferiores ou iguais a 0,4 e 0,2 kg/(m<sup>2</sup>.√min), respetivamente. Analisando os resultados obtidos, depreende-se que as argamassas B<sup>ind</sup><sub>EPS</sub> e G<sup>Trad</sup><sub>EPS</sub> pertencem à classe W1, enquanto a argamassa C<sup>ind</sup><sub>Cort</sub> à classe W2. As restantes argamassas não cumprem este requisito.

#### **4.4.4. Absorção de água sob baixa pressão – Tubo Karsten**

A permeabilidade à água líquida foi avaliada através do cálculo do volume de água absorvido ao fim de 60 minutos e pelo coeficiente de absorção de água correspondente ao tempo de ensaio, os quais foram determinados pelo ensaio do tubo de *Karsten*. Os resultados médios, aos 28 dias de idade, associados a este parâmetro encontram-se na Tabela 4.9.



Tabela 4.9 - Resultados médios da absorção de água sob baixa pressão, aos 28 dias, das argamassas aplicadas em tijolos

Argamassas	Volume de água absorvido (cm <sup>3</sup> ) aos 60min			Coefficiente de absorção aos 60min (kg/m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> )
	Média (cm <sup>3</sup> )	Desvio padrão (cm <sup>3</sup> )	CV (%)	Fórmula (PROCEQ, 2001 citado por FLORES-COLEN, 2009)
A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	6,65	1,07	16,03	1,51
B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	0,93	0,06	6,24	0,21
C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	0,43	0,10	23,53	0,10
D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	1,33	0,35	26,50	0,30
E <sup>Ref</sup>	1,60	0,23	14,43	0,36
F <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>	0,38	0,15	40,73	0,09
G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>	0,83	0,06	7,00	0,19

Os volumes de água absorvida a baixa pressão apresentados, foram obtidos a partir do gráfico do volume de água absorvido em função do tempo, Figura 4.6.

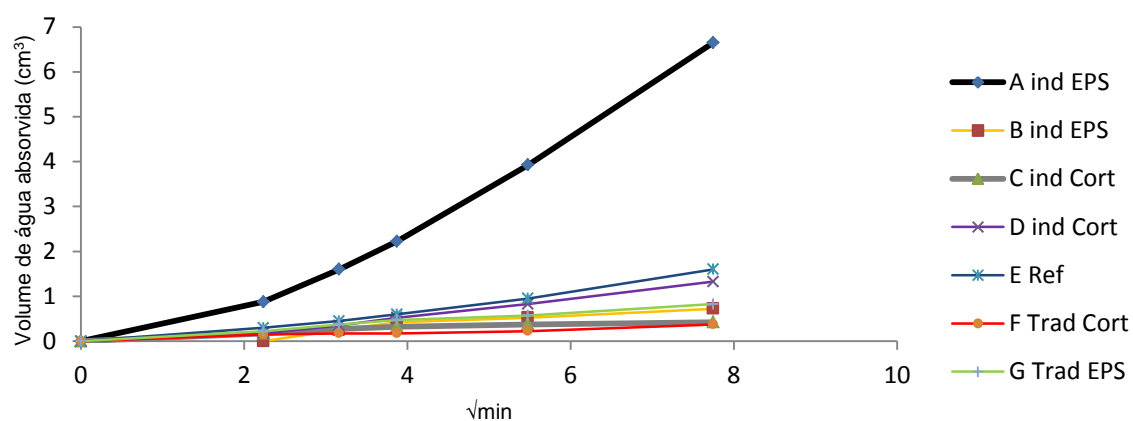


Figura 4.6 - Volume de água absorvido sob baixa pressão em função do tempo, aos 28 dias

O coeficiente de absorção de água sob baixa pressão foi obtido através da equação 3.9, apresentada no capítulo 3, sugerida por PROCEQ (2001) citado por FLORES-COLEN (2009) e GONÇALVES (2010). Os valores obtidos do volume de água absorvido e do coeficiente de absorção de água sob baixa pressão das argamassas estudadas são apresentados na Tabela 4.9. No anexo A.4.8 são apresentados os resultados individuais.

O intervalo de valores obtidos para o coeficiente de absorção de água sob baixa pressão foi de 0,10-1,51 kg/ (m<sup>2</sup>.min<sup>0,5</sup>) e de 0,09-0,36 kg/ (m<sup>2</sup>.min<sup>0,5</sup>), para argamassas industriais e tradicionais, respetivamente. Não encontrados trabalhos onde se realizaram este ensaio, em argamassas com desempenho térmico melhorado, compararam-se com os valores obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade, onde ambos os coeficientes são influenciados, pela presença de hidrófugos.

Para as argamassas industriais, o comportamento é similar nos dois ensaios, ou seja, a (A<sup>ind</sup><sub>EPS</sub>) é a argamassa com valores de absorção de água por capilaridade e sob baixa pressão, mais

elevados, sendo a argamassa  $C^{ind}_{Cort}$  a que melhor resiste à presença de água, tendo os valores mais baixos de ambos os coeficientes. Em relação às argamassas tradicionais, a argamassa  $F^{Trad}_{Cork}$  apresenta um coeficiente de absorção de água sob baixa pressão de  $0,09 \text{ kg/m}^2 \cdot \sqrt{\text{min}}$  havendo, portanto, um decréscimo de cerca de 75% do coeficiente, em relação à argamassa de referência. Quanto à argamassa  $G^{Trad}_{EPS}$ , houve um decréscimo de cerca de 50% do coeficiente de absorção de água sob baixa pressão, em relação à argamassa de referência.

Em suma, relacionando os valores obtidos do presente ensaio, com os valores obtidos do ensaio da absorção de água por capilaridade, depreende-se que a introdução, de cerca de 80 %, de granulado de cortiça e de EPS melhora a resistência das argamassas face à presença de água.

#### 4.4.5. Ensaio da secagem

Neste trabalho, a análise do processo de secagem, fez-se através do índice de secagem. Para o cálculo do índice de secagem, recorre-se à equação 3.7, do capítulo 3, sendo necessário determinar o integral da variação da massa durante o ensaio, ou seja, determinar a área do gráfico, do teor de água em função do tempo. A área é calculada pela aproximação de uma função aos resultados, recorrendo-se para isso ao programa *FindGraph*. As funções de aproximação dos resultados são exponenciais *Exp Decay7*. Os provetes utilizados foram os prismáticos normalizados ( $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ ), iniciando-se o ensaio logo após a saturação dos provetes por imersão em água. A Figura 4.7 ilustra as curvas de secagem dos diferentes tipos de argamassas estudadas.

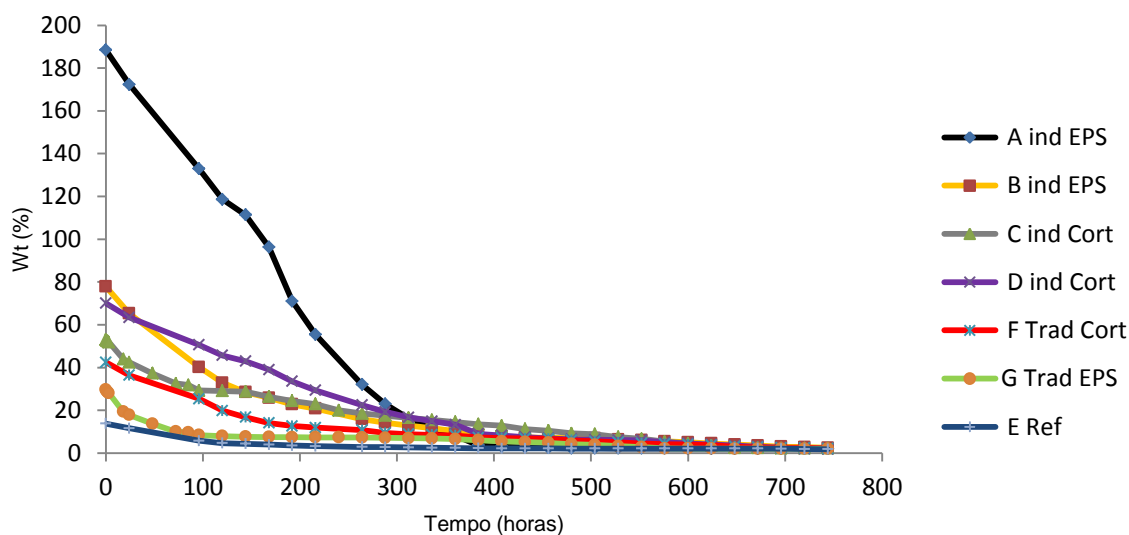


Figura 4.7 - Curvas de secagem de todas as argamassas produzidas

A duração do ensaio de secagem foi de cerca de 32 dias, 770 horas. O teor de água foi calculado pela equação 3.12, apresentada no capítulo 3. O processo de secagem ocorreu em condições controladas de laboratório ( $T = 20 \pm 5\%$  e  $H = 65 \div 5\%$ ). Os resultados obtidos do índice de secagem encontram-se na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Valor do índice de secagem e respectivo desvio padrão

Argamassas	Índice de secagem	m <sub>seca</sub> (kg)	m <sub>saturado</sub> (kg)	W <sub>0</sub> (%)	W <sub>f</sub> (%)
A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	0,23	0,06	0,18	188,42	2,00
B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	0,24	0,10	0,18	77,86	2,50
C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	0,44	0,20	0,31	53,08	2,30
D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	0,31	0,17	0,28	70,07	1,90
E <sup>Ref</sup>	0,32	0,47	0,54	13,76	1,80
F <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>	0,28	0,21	0,30	42,41	2,20
G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>	0,29	0,17	0,22	29,61	2,00

Legenda: m<sub>seca</sub> – massa seca; m<sub>saturado</sub> – massa saturada por imersão; W<sub>0</sub> – teor de água correspondente ao início do ensaio; W<sub>f</sub> – teor de água correspondente ao final do ensaio.

Em geral, os valores do índice de secagem das argamassas tradicionais situam-se entre os 0,23 e os 0,45, ao passo que para as argamassas tradicionais se situa entre 0,28 e 0,32.

Pela análise da Figura 4.7, verifica-se que, às argamassas com um teor de água maior no início do ensaio, correspondem as argamassas com uma secagem mais rápida, ou seja, com um menor índice de secagem. Esta tendência foi verificada, também, por LEAL (2012).

O índice de secagem está relacionado com a porosidade de uma argamassa, ou seja, quanto maior a porosidade de uma argamassa, menor será o índice de secagem. Esta tendência foi verificada por PÁSCOA (2012) assim como no presente trabalho com excepção na argamassa C<sup>ind</sup><sub>Cort</sub>, que apesar da sua elevada porosidade aparente (46,4%), cerca de 45 % superior à porosidade da argamassa de referência, o seu índice de secagem é elevado, cerca de 40% superior ao índice de secagem da argamassa de referência

No presente trabalho verificou-se que as argamassas que absorvem maiores quantidades de água, nomeadamente, A<sup>ind</sup><sub>EPS</sub>, B<sup>ind</sup><sub>EPS</sub> e F<sup>Trad</sup><sub>Cort</sub>, são também as que expõem maiores quantidades de água, apresentando um valor de índice de secagem inferior. O processo inverso também foi verificado pela argamassa C<sup>ind</sup><sub>Cort</sub>, que apresenta menores valores de absorção de água por capilaridade e sob baixa pressão, sendo a argamassa que apresenta maior índice de secagem. Esta tendência foi verificada também por PÁSCOA (2012).

A presença de introdutores de ar e de retentores de água poderá afectar o índice de secagem na medida em que, os introdutores de ar contribuem para a minimização da exsudação e os retentores de água regulam a perda de água de amassadura durante o processo de secagem, e que, quando em excesso, originam argamassas que demoram muito tempo a secar (NASCIMENTO, 2006).

Em relação à argamassa de referência, o valor do índice de secagem (0,32), está coerente com o valor obtido por FLORES-COLEN (2009), para uma argamassa tradicional cimentícia, com traço ponderal de 1:5.5 (0,31). LEAL (2012), obteve um valor de 0,26 para a respectiva argamassa de referência, sendo que o autor utiliza um superplastificante na constituição da sua argamassa.

A argamassa  $F_{Cort}^{Trad}$  e  $G_{EPS}^{Trad}$  apresentaram valores de índice de secagem médio de 0,28 e 0,29, respectivamente. Há um decréscimo de cerca de 13% e de 10%, respectivamente, em relação ao valor do índice de secagem da argamassa de referência (0,32). Esta tendência foi constatada, também, por LEAL (2012), que, aquando da realização de testes a argamassas com incorporações semelhantes de cortiça e EPS, obteve decréscimos na ordem dos 25% e 14%, respectivamente, em relação à sua argamassa de referência (0,26).

Em síntese, apesar de serem escassos os trabalhos acerca do índice de secagem e da influência dos granulados isolantes no mesmo, pode-se concluir que a incorporação de cerca de 80% de granulado de cortiça e EPS faz diminuir o índice de secagem, pois os agregados (cortiça e o EPS) perdem água do seu interior mais rapidamente do que a restante composição da argamassa (LEAL, 2012).

#### 4.4.6. Condutibilidade térmica

A condutibilidade térmica foi medida utilizando dois equipamentos distintos; o *Isomet 2114*, (método transiente) e o *Rapid-k* (método estacionário), e em dois tipos de provetes, de dimensões  $80 \times 70 \times 2,5 \text{ mm}^3$  e  $300 \times 300 \times 50 \text{ mm}^3$  os quais são designados, neste ponto, por provete tipo 1 e provete tipo 2, respectivamente. A condutibilidade térmica foi medida, também, em modelos de tijolo com argamassa aplicada com uma camada de 4 cm.

- i) *Isomet 2114* – Provetes tipo 1 ( $80 \times 70 \times 2,5 \text{ mm}^3$ ) (Figura 4.8).

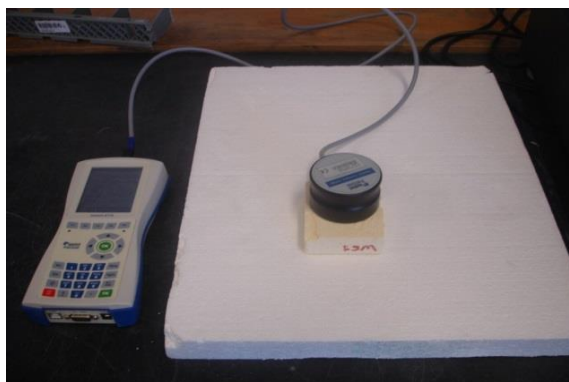


Figura 4.8 - Medição do coeficiente de condutibilidade térmica nos provetes ( $80 \times 70 \times 2,5 \text{ mm}^3$ ) com o equipamento *Isomet 2114*

Nas Figuras 4.9 e 4.10, apresentam-se os valores da condutibilidade térmica dos provetes tipo 1, ensaiados com o equipamento *Isomet 2114*, para as argamassas industriais e tradicionais, respetivamente. O ensaio realizou-se com uma temperatura média do provete de 20 °C.

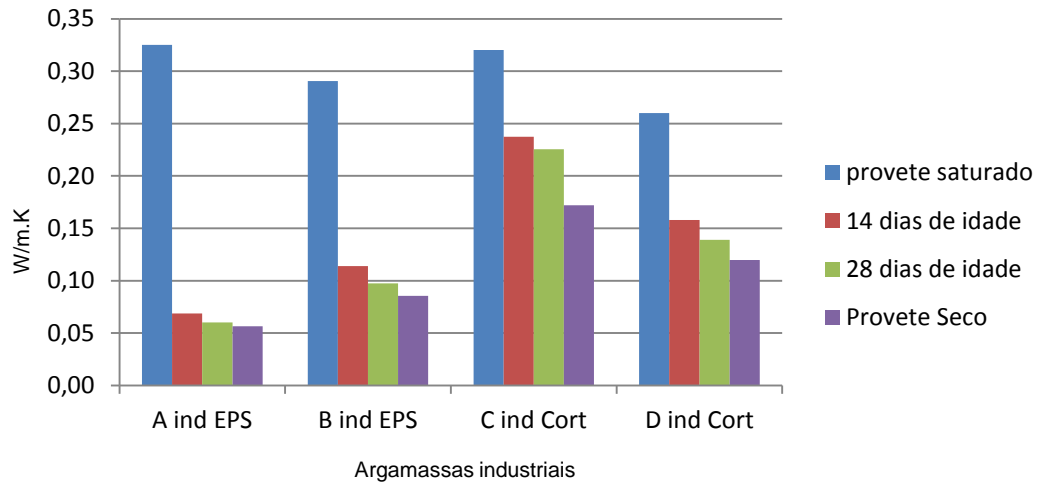


Figura 4.9 - Condutibilidade térmica das argamassas industriais

A norma NP EN 1745 (IPQ, 2005) não define os valores de teor de água para o respectivo ensaio, sendo assim, foram ensaiados os provetes tipo 1, de cada argamassa, aos 14 e 28 dias de idade assim como em estado saturado, por imersão, (proвете saturado) e em estado seco em câmara a 60°C até atingir massa constante (proвете seco) de modo a perceber a influência do teor de água no coeficiente de condutibilidade térmica. O ITE50 apresenta os valores de referência no estado seco, contudo, no presente trabalho utilizam-se os valores aos 28 dias de idade para comparação.

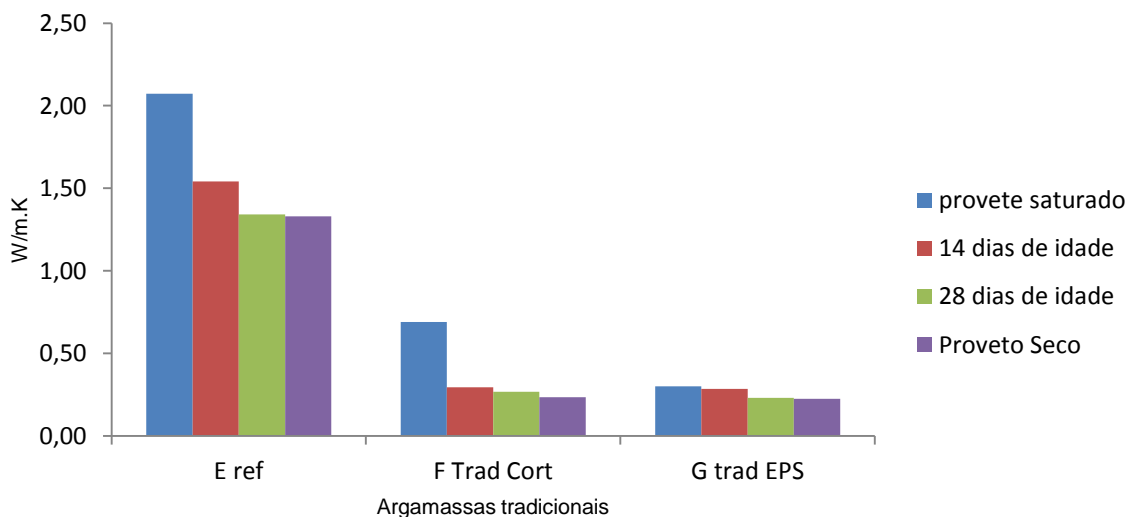


Figura 4.10 - Condutibilidade térmica das argamassas tradicionais

Na Tabela 4.11 apresentam-se detalhadamente os valores obtidos.

Tabela 4.11- Coeficiente de condutibilidade térmica em função do teor de água

Argamassas	Provete saturado			14 dias de idade			28 dias de idade			Provete seco	
	Massa (g)	$\lambda$ (W/m.K)	Teor de H <sub>2</sub> O (%)	Massa (g)	$\lambda$ (W/m.K)	Teor de H <sub>2</sub> O (%)	Massa (g)	$\lambda$ (W/m.K)	Teor de H <sub>2</sub> O (%)	Massa (g)	$\lambda$ (W/m.K)
A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	99,80	0,33	172,71	37,50	0,07	2,46	36,72	0,06	0,34	36,60	0,06
B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	113,40	0,29	89,00	65,05	0,11	8,36	63,57	0,10	5,94	60,00	0,09
C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	175,80	0,32	47,36	129,35	0,24	8,42	125,50	0,23	5,20	121,40	0,17
D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	142,00	0,26	61,82	92,05	0,16	4,90	90,79	0,14	3,46	87,75	0,12
E <sup>Ref</sup>	295,50	2,07	15,11	259,98	1,54	1,27	258,75	1,34	0,80	256,70	1,33
F <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>	175,80	0,69	44,99	127,35	0,30	5,05	125,55	0,27	3,55	121,25	0,23
G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>	133,20	0,30	37,80	102,25	0,29	5,78	101,30	0,23	4,79	96,67	0,22

O teor de água (%) foi calculado pela equação 3.12, presente no capítulo 3. Na Tabela 4.12 apresentam-se as variações percentuais do teor de água (entre o estado saturado e os 14 dias de idade; entre os 14 dias de idade e os 28 dias de idade e entre os 28 dias de idade e o estado seco) e a variação do coeficiente de condutibilidade térmica.

Da análise das Tabelas 4.11 e 4.12, depreende-se que o coeficiente de condutibilidade térmica, diminui inversamente à quantidade de água existente, ou seja, quanto menor o teor de água existente nos provetes, melhor e menor será a condutibilidade térmica dos mesmos.

Uma vez que, a rugosidade superficial do provete em estudo é determinante para a obtenção correta dos coeficientes de condutibilidade térmica, pois é onde a sonda do equipamento assenta para realizar a medição, analisou-se a homogeneidade dos provetes, ou seja, comparou-se as duas faces rectangulares dos provetes.

Tabela 4.12 - Variações do coeficiente de condutibilidade térmica com a percentagem de água nos provetes tipo 1

Argamassas	Provete saturado - 14 dias de idade		14 dias de idade - 28 dias idade		28 dias idade - estado seco	
	$\Delta$ H <sub>2</sub> O (%)	$\Delta \lambda$ (W/m.K)	$\Delta$ H <sub>2</sub> O (%)	$\Delta \lambda$ (W/m.K)	$\Delta$ H <sub>2</sub> O (%)	$\Delta \lambda$ (W/m.K)
A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	170,26	0,257	2,12	0,008	0,34	0,004
B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	80,64	0,177	2,42	0,016	5,94	0,012
C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	38,94	0,083	3,22	0,012	5,20	0,053
D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	56,92	0,102	1,44	0,019	3,46	0,019
E <sup>Ref</sup>	13,84	0,531	0,48	0,201	0,80	0,011
F <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>	39,94	0,395	1,50	0,028	3,55	0,033
G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>	32,02	0,015	0,98	0,005	4,79	0,056

Em todas as argamassas, as duas superfícies a submeter o ensaio eram semelhantes, com exceção da argamassa  $G^{\text{Trad}}_{\text{EPS}}$ , em que a rugosidade de ambas as superfícies era bem distinta, notando-se claramente que a pasta de cimento ficou, maioritariamente, na base do provete, Figura 4.11, face 1, enquanto grande parte do granulado de EPS se depositou no topo do provete, Figura 4.12, face 2.

Foi então medida a condutibilidade térmica de ambos os lados de modo a perceber se há variações ao nível do coeficiente de condutibilidade térmica. Note-se que a medição da condutibilidade térmica nas 2 faces apenas foi efectuada nos provetes aos 28 dias, sendo estes os valores de comparação com os restantes trabalhos.



Figura 4.11 - Face 1 dos provetes da argamassa  $G^{\text{Trad}}_{\text{EPS}}$



Figura 4.12 - Face 2 dos provetes da argamassa  $G^{\text{Trad}}_{\text{EPS}}$

Como era esperado, os valores do coeficiente de condutibilidade térmica, obtidos em ambas as faces, da argamassa  $G^{\text{Trad}}_{\text{EPS}}$ , diferem substancialmente, como se pode analisar na Tabela 4.13, apresentando valores superiores na face 1 (base) onde se concentra menores quantidades de granulado de EPS.

Tabela 4.13 - Valores da condutibilidade térmica de todas as argamassas, medido com o *Isomet 2114*, nas 2 fases, aos 28 dias de idade

Argamassas	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Provete 1		Provete 2		Provete 3		$\lambda$ Médio (W/m.K)	DP (%)
		$\lambda$ (W/m.K) Face 1	$\lambda$ (W/m.K) Face 2	$\lambda$ (W/m.K) Face 1	$\lambda$ (W/m.K) Face 2	$\lambda$ (W/m.K) Face 1	$\lambda$ (W/m.K) Face 2		
$A^{\text{ind}}_{\text{EPS}}$	237	0,06	0,07	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,01
$B^{\text{ind}}_{\text{EPS}}$	432	0,09	0,10	0,10	0,11	0,10	0,08	0,10	0,01
$C^{\text{ind}}_{\text{Cort}}$	863	0,21	0,20	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,02
$D^{\text{ind}}_{\text{Cort}}$	642	0,14	0,15	0,13	0,12	0,14	0,14	0,14	0,01
$F^{\text{Trad}}_{\text{Cort}}$	855	0,28	0,26	0,25	0,26	0,27	0,28	0,27	0,01
$G^{\text{Trad}}_{\text{EPS}}$	683	0,27	0,15	0,29	0,19	0,28	0,17	0,23	0,06

Na Figura 4.13 encontram-se os valores médios da condutibilidade térmica das argamassas estudadas, aos 28 dias, relativamente aos provetes tipo 1 e com o equipamento *Isomet 2114*. Estes são os valores utilizados para comparar as tendências, com outros estudos.

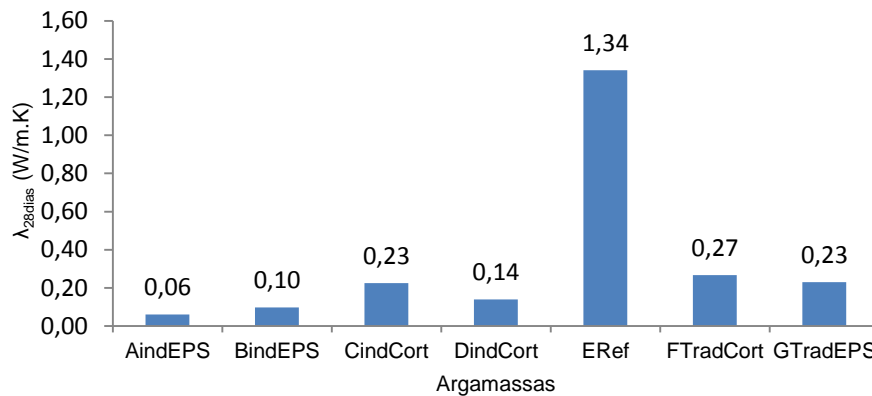


Figura 4.13 - Coeficiente de condutibilidade térmica das argamassas produzidas aos 28 dias

Pela Figura 4.13, verifica-se que as argamassas industriais, em geral, têm valores de coeficiente condutibilidade térmica inferiores aos obtidos nas argamassas tradicionais, variando estes entre 0,06-0,23 W/m.K e 0,23-0,27 W/m.K, respetivamente.

Os valores do coeficiente de condutibilidade térmica, obtidos para as argamassas  $A_{EPS}^{ind}$ ,  $B_{EPS}^{ind}$  e  $C_{Cort}^{ind}$  estão de acordo com os preconizados pelos respetivos fabricantes, 0,05, 0,07 e 0,13-0,23 W/m.K, respetivamente. Em relação à argamassa  $C_{Cort}^{ind}$ , o fabricante faculta um intervalo de resultados (0,13-0,23 W/m.K), pois analisa diferentes composições onde faz variar a quantidade de cimento, agregados e água.

No que diz respeito à argamassa  $D_{Cort}^{ind}$ , o valor obtido do coeficiente de condutibilidade térmica ( $\lambda=0,14$  W/m.K) ultrapassou o indicado pelo fabricante ( $\lambda=0,083$  W/m.K), em cerca de 65%. Também o fabricante aponta um valor de  $450 \text{ kg/m}^3 \pm 20 \text{ kg}$  para a massa volúmica aparente (estado endurecido), mas o valor obtido no presente trabalho foi de  $642 \text{ kg/m}^3$ , cerca de 45% superior. Esta divergência poderá estar associada a diferenças no processo mistura, compactação e aplicação da argamassa.

A argamassa  $E^{Ref}$ , com uma massa volúmica de  $1885 \text{ kg/m}^3$ , tem um valor de coeficiente de condutibilidade térmica de  $1,34$  W/m.K. Os valores obtidos estão de acordo com os valores referenciados por SANTOS (2006) que atribui um coeficiente de condutibilidade térmica de  $1,3$  W/m.K para argamassas de reboco tradicional, com massa volúmica aparente compreendida entre os valores de  $1800$  e os  $2000 \text{ kg/m}^3$ .

A argamassa  $F_{Cort}^{Trad}$  tem um valor de coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,27$  W/m.K, havendo portanto um decréscimo do coeficiente, em relação à argamassa de referência ( $\lambda= 1,34$  W/m.K), de cerca de 80%. BRÁS et al. (2013), verificaram o mesmo comportamento quando testaram



uma argamassa com percentagens de incorporação de granulado de cortiça semelhante, obtendo-se um decréscimo de cerca de 70%, numa argamassa com incorporações de 80% de cortiça ( $\lambda=0,47$  W/m.K), em relação à sua argamassa de referência ( $\lambda= 1,6$  W/m.K). MARTINS (2010), também obteve semelhante tendência quando introduziu 80% de granulado de cortiça, de várias dimensões, numa argamassa bastarda (cal hidráulica e cimento), obtendo um  $\lambda=0,2$  W/m.K, verificando decréscimos na ordem dos 75% em relação à sua argamassa de referência ( $\lambda=0,8$  W/m.K).

Em relação à argamassa  $G_{EPS}^{Trad}$ , obteve-se um coeficiente de condutibilidade térmica de 0,23 W/m.K. Houve, portanto, um decréscimo de cerca de 85% no valor do coeficiente de condutibilidade térmica, em relação à argamassa de referência ( $\lambda= 1,34$  W/m.K). Esta tendência foi verificada por BRÁS et al. (2013) e por ALI (2011), que obtiveram decréscimos na ordem dos 90 % e 70%, respectivamente, para argamassas com percentagens de incorporação semelhante de granulado de EPS.

Em resumo, a incorporação de cerca de 80% de granulado de cortiça e de EPS nas argamassas, proporciona uma elevada melhoria a nível térmico, fazendo o coeficiente de condutibilidade térmica decrescer na ordem dos 80% e 85%, respectivamente.

ii) *Rapid-K e Isomet 2114* – Provetes tipo 2

O coeficiente de condutibilidade térmica foi medido, também, com o equipamento *Rapid-k* (Figura 4.14). Para tal, foram usados os provetes tipo 2 (300x300x50 mm<sup>3</sup>). Os provetes do tipo 2 também foram ensaiados com o equipamento *Isomet 2114*, de modo a se obter mais valores comparativos (Figura 4.15).



Figura 4.14 - Equipamento *Rapid-k*



Figura 4.15 - Provetes tipo 2 ensaios com o *Isomet 2114*

Na Tabela 4.14 estão representados os valores do coeficiente de condutibilidade térmica obtidos, usando o *Isomet 2114* e o *Rapid-k*, nos provetes tipo 2.

Tabela 4.14 - Coeficiente de condutibilidade térmica, nos provetes tipo 2, obtidos no *Isomet 2114* e no *Rapid-k*

Argamassas	14 dias			28 dias			Provete seco		
	Massa(g)	<i>Isomet 2114</i> (W/m.K)	<i>Rapid-k</i> (W/m.K)	Massa(g)	<i>Isomet 2114</i> (W/m.K)	<i>Rapid-k</i> (W/m.K)	Massa(g)	<i>Isomet 2114</i> (W/m.K)	<i>Rapid-k</i> (W/m.K)
A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	1005,00	0,07	0,14	922,00	0,06	0,10	908,40	0,05	0,07
B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	2055,40	0,15	0,23	1934,70	0,11	0,14	1831,01	0,09	0,10
C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	4568,50	0,30	0,34	4425,40	0,28	0,30	3953,00	0,21	0,27
D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	3233,00	0,23	0,25	2990,70	0,17	0,17	2847,20	0,14	0,15
E <sup>Ref</sup>	8552,60	1,40	n.d.	8500,00	1,35	n.d.	8304,50	1,30	n.d.
F <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>	4171,30	0,41	n.d.	4009,50	0,26	0,30	3778,50	0,25	0,26
G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>	2875,30	0,29	0,30	2833,50	0,26	0,28	2676,10	0,21	0,24

n.d. – não determinado porque o aparelho não mede materiais com  $\lambda \geq 0,43$  W/m.K.

Da leitura da Tabela 4.14, conclui-se que os valores obtidos com o uso do equipamento *Rapid-k* são, na maior parte dos casos, superiores aos valores obtidos pelo equipamento *Isomet 2114*. Note-se, apenas, que os valores obtidos pelo *Isomet 2114*, resultam de uma média de ambas as faces dos provetes. Na Figura 4.16, verifica-se que existe uma relação linear entre os valores obtidos com os 2 equipamentos, com um  $R^2=0,93$ .

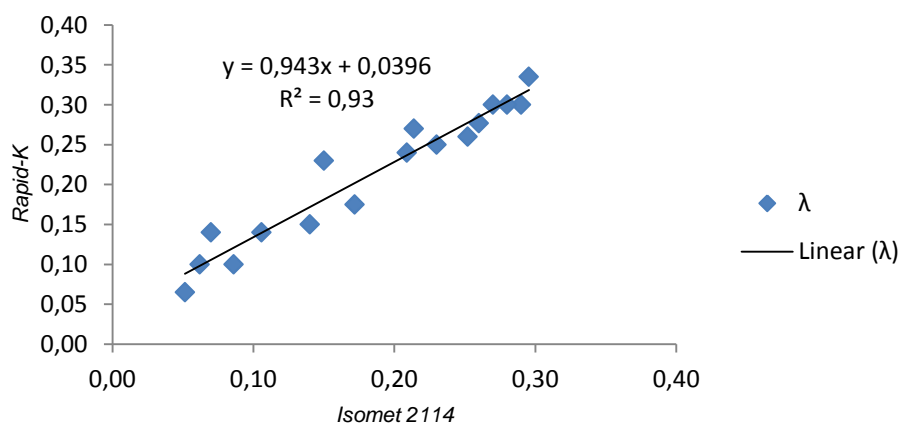


Figura 4.16 - Relação dos valores obtidos com os diferentes equipamentos, nos provetes tipo 2, aos 14 dias, 28 dias e com o provete seco

Em suma, os valores obtidos estão bastante próximos usando os dois equipamentos (*Isomet 2114* e *Rapid-k*). Para além disso, comparando os resultados da Tabela 4.13 e 4.14 verifica-se que os valores obtidos com o *Isomet 2114*, nos provetes do tipo 1 são coerentes com os valores obtidos nos provetes do tipo 2.

### iii) *Isomet 2114* – Modelo argamassa+tijolo

Finalmente, o coeficiente de condutibilidade térmica foi medido na argamassa aplicada em tijolos, utilizando o equipamento *Isomet 2114* (Figura 4.17). A espessura de argamassas utilizada foi de 4 cm.

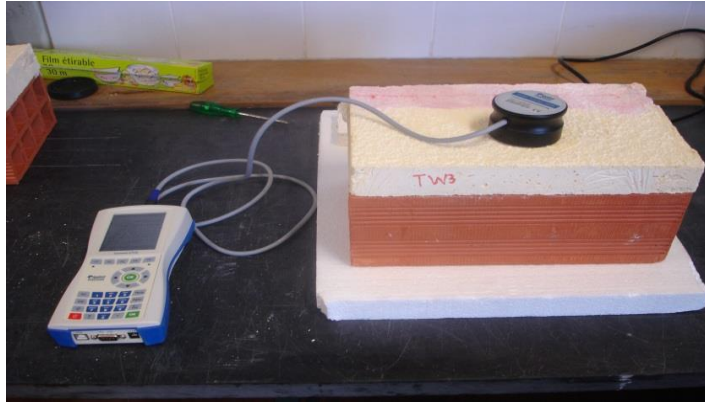


Figura 4.17 - Medição do coeficiente térmica da argamassa aplicada em tijolo com o *Isomet 2114*

Os valores obtidos no modelo argamassa+tijolo estão coerentes também com os restantes coeficientes de condutibilidade térmica, obtidos nos provetes tipo 1 e 2, à excepção da argamassa  $G^{Tra}_{EPS}$ , cuja superfície ficou totalmente preenchida com o granulado de EPS, dando origem ao deficiente e mau contacto da sonda do equipamento *Isomet 2114* com a superfície, influenciando assim os resultados. No modelo argamassa+tijolo, as zonas mais planas e homogéneas foram utilizadas para realizar o ensaio de absorção de água sob baixa pressão com o tubo de *Karsten*. Os valores obtidos são apresentados na Figura 4.19.

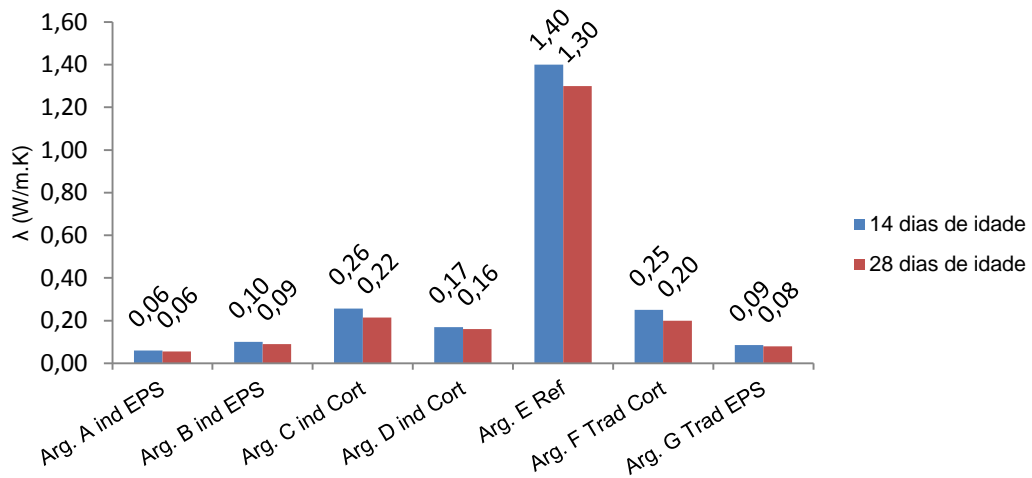


Figura 4.18 - Valores do coeficiente de condutibilidade térmica das argamassas aplicadas em tijolo

Os resultados individuais obtidos pelo ensaio da condutibilidade térmica, nos vários tipos de provetes, encontram-se no anexo A4.9.

#### 4.5. Correlações entre as diferentes características

Com os resultados obtidos foi possível obter correlações entre as diferentes propriedades físicas das argamassas estudadas. As características mecânicas foram analisadas, mais detalhadamente, por VALE (2014), na sua dissertação, desenvolvida em paralelo com o presente trabalho. As correlações estão apresentadas na tabela 4.15;

Tabela 4.15 - Matriz de correlações entre características físicas das argamassas

	T.A.	T.K.	A.C.	M.V.	I.S.	R.C.	$\lambda$	P
T.A.		Lin.	Lin.	Exp.	Pot.	Exp.	Pot.	Log.
T.K.	0,74		Lin.	Exp.	Pot.	Exp.	Pot.	Lin.
A.C.	-	0,46		Exp.	Log.	Log.	Exp.	Lin.
M.V.	0,57	0,43	0,34		Exp.	Pot.	Pot.	Exp.
I.S.	-	0,28	0,51	0,42		Log.	Pot.	Log.
R.C.	0,47	0,82	0,61	<b>0,95</b>	<b>0,86</b>		Pot.	Log.
$\lambda$	0,46	0,75	0,35	<b>0,93</b>	0,20	<b>0,74</b>		Pot.
P	<b>0,82</b>	0,21	0,32	<b>0,90</b>	0,51	<b>0,79</b>	<b>0,94</b>	

Legenda: Lin.-Linear; Exp.- Exponencial; Pot.-Potencial; Log.- Logarítmica; T.A.-Teor de ar; T.K.- Tubo *Karsten*; A.C.- Absorção capilar ;M.V. - Massa volúmica aparente no estado endurecido; I.S.-Índice de secagem; R.C.- Resistência à compressão;  $\lambda$  - Coeficiente de condutibilidade térmica; P- Porosidade.

Pela análise da Tabela 4.15, verifica-se uma elevada correlação entre o coeficiente condutibilidade térmica e a massa volúmica aparente, no estado endurecido ( $R^2=0,93$ ). Ou seja, quanto menor a massa volúmica aparente, no estado endurecido, menor o coeficiente de condutibilidade térmica, como se depreende-se pela Figura 4.19.

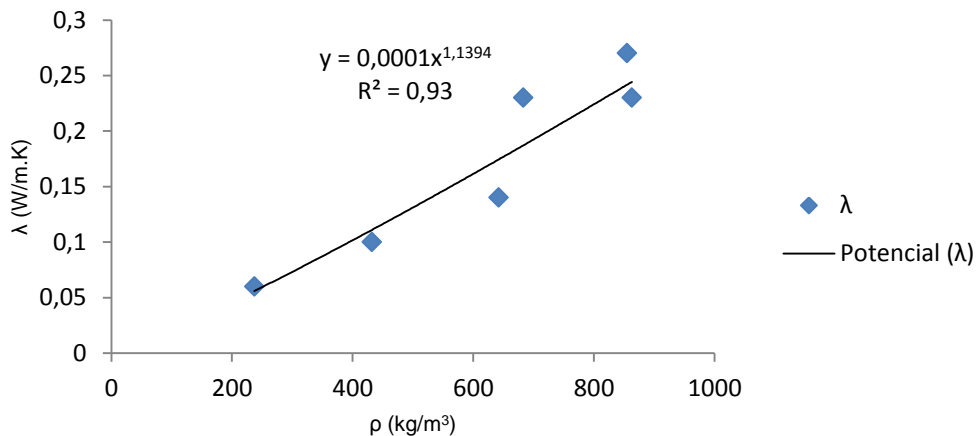


Figura 4.19 - Correlação entre massa volúmica, no estado endurecido e o coeficiente de condutibilidade térmica

Na Figura 4.20, mostra que há um crescimento simultâneo entre o coeficiente de condutibilidade térmica e a resistência à compressão, com um  $R^2 = 0,74$ . Ambos os parâmetros têm elevadas correlações com a massa volúmica aparente, no estado endurecido, ou seja, uma argamassa com uma massa volúmica aparente elevada, apresenta maiores valores de resistência à compressão, apresentando ainda maiores coeficientes de condutibilidade térmica e vice-versa. A argamassa de referência não foi contabilizada, pois apresenta valores de condutibilidade térmica e de resistência à compressão muito superiores às das restantes argamassas.

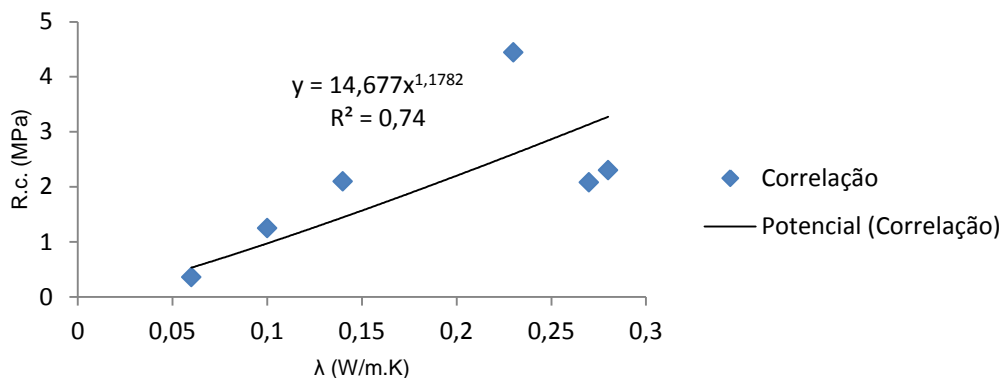


Figura 4.20 - Correlação entre a R.C. e o coeficiente de condutibilidade térmica das argamassas

Apesar de não ser possível a obtenção do valor da porosidade de todas as argamassas, esse parâmetro foi analisado com os valores obtidos.

É de salientar o facto de ter elevada correlação com a massa volúmica aparente, no estado endurecido, Figura 4.21, ou seja, quanto menor a porosidade de uma argamassa, maior será a sua massa volúmica aparente, no estado endurecido.

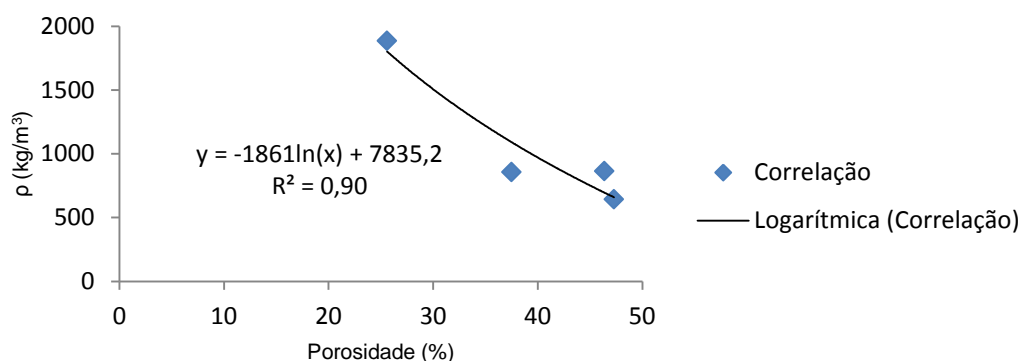


Figura 4.21 - Correlação entre a massa volúmica aparente no estado endurecido com a porosidade aparente

O parâmetro índice de secagem, também, tem uma boa relação com a resistência à compressão, associada a uma menor porosidade.

As restantes correlações não foram relevantes, em particular as que se relacionam com a absorção de água por capilaridade e sob baixa pressão, possivelmente, pelo facto da presença de hidrófugos nas argamassas industriais, alteram o seu normal comportamento, apesar da sua elevada porosidade.

É de salientar a fraca correlação do coeficiente de absorção capilar, do teor de ar e da permeabilidade à água líquida com os restantes ensaios. O ensaio da massa volúmica no estado endurecido está fortemente correlacionado com os restantes ensaios

## 4.6. Conclusão do capítulo

Na Tabela 4.16, são apresentados os valores facultados pelos fabricantes, sempre que possível, e os valores obtidos na campanha experimental do presente trabalho para as argamassas ensaiadas.

Segundo o fabricante da argamassa  $A_{EPS}^{ind}$ , esta insere-a na classe W1, da Norma EN 998-1 (CEN, 2010), relativamente ao coeficiente de absorção capilar e na classe T1, da Norma EN 998-1 (CEN, 2010), em relação à condutibilidade térmica. No presente trabalho, só foi possível comprovar a classe T1, sendo que o coeficiente de absorção capilar obtido foi muito superior. Estando o espalhamento e a massa volúmica, no estado fresco, coerentes com os valores fornecidos, os desvios de valores poderão estar associados à sensibilidade do método de mistura, à moldagem dos provetes, ou ao próprio procedimento de ensaio. É de salientar que esta argamassa pode ser utilizada no interior e no exterior, embora neste último caso seja necessário a aplicação de um acabamento adicional.

O fabricante da argamassa  $B_{EPS}^{ind}$  insere-a na classe W2, da Norma EN 998-1 (CEN, 2010), em relação ao coeficiente de absorção capilar e na classe T1, da Norma EN 998-1 (CEN, 2010), em relação ao coeficiente de condutibilidade térmica. No presente trabalho foi comprovado a classe T1, contudo, o valor obtido do coeficiente de absorção capilar insere-a na classe W1, ao invés da classe W2. No entanto, todos os valores estão inseridos nos intervalos preconizados, pela Norma EN 998-1 (CEN, 2010), para uma argamassa térmica.

De acordo com o fabricante da argamassa  $C_{Cort}^{ind}$ , esta insere-a na classe W2, da Norma EN 998-1 (CEN, 2010), em relação ao coeficiente de absorção capilar e na classe T2, da Norma EN 998-1 (CEN, 2010), em relação à condutibilidade térmica. Ambos os parâmetros foram confirmados com o presente trabalho. Apesar do valor de condutibilidade térmica máximo, da classe T2, para as argamassas térmicas ser 0,2 W.m/K, foi considerado que a argamassa  $C_{Cort}^{ind}$  ( $\lambda=0,23$  W/m.K) pertencia à classe. O fabricante considera-a uma argamassa térmica e faculta o intervalo de valor de 0,13 a 0,23 W/m.K. Dos ensaios realizados, aos 28 dias, nos provetes tipo 1, o valor 0,23 W/m.K resulta de uma média, sendo o seu coeficiente de variação de 6%. Apesar de a argamassa em questão pertencer à classe T2 e não à T1, como acontece com a argamassa  $A_{EPS}^{ind}$  e  $B_{EPS}^{ind}$ , é de notar o seu melhor desempenho, face à presença da água, realçado pelos seus baixos valores de absorção de água. O fabricante da argamassa  $D_{Cort}^{ind}$  insere-a na classe W1, da Norma EN 998-1 (CEN, 2010), em relação ao coeficiente de absorção capilar e na classe T1, da Norma EN 998-1 (CEN, 2010), em relação à condutibilidade térmica. No presente trabalho o coeficiente de absorção capilar obtido foi superior ao facultado pelo fabricante, não se integrando em nenhuma classe. O coeficiente de condutibilidade térmica obtido foi ligeiramente superior, fazendo com que esta argamassa pertença à classe T2, e não à classe T1 como declara o fabricante. Realce para o facto de a massa volúmica no estado endurecido, obtida neste trabalho, ser superior em cerca de 36% logo

seria expectável alterações nas restantes características, provavelmente devido a factores relacionados com a produção, mistura e compactação da argamassa.

Em relação às argamassas tradicionais, foi mais difícil obter valores dentro das classes das argamassas térmicas, como se pode ver na Tabela 4.16. A argamassa  $F_{Cort}^{Trad}$  tem um valor de coeficiente de absorção capilar bastante superior ao limite indicado na Norma EN 998-1 (CEN, 2010) ( $C=0,4 \text{ kg/m}^3 \cdot \sqrt{\text{min}}$ ). O facto de não se usar hidrófugos condicionou este item. Em relação ao coeficiente de condutibilidade térmica, apesar de este ter decrescido em cerca de 80%, em relação à argamassa de referência, não atingiu o limite de coeficiente estabelecido pela Norma EN 998-1 (CEN, 2010) ( $\lambda=0,1-0,2 \text{ W/m.K}$ ). A argamassa  $G_{EPS}^{Trad}$  apresenta um baixo valor de absorção capilar, sendo esta argamassa enquadrada na classe W1. O coeficiente de condutibilidade térmica, apesar de ter sofrido um decréscimo de 80%, em relação à argamassa de referência, não atingiu os limites estabelecidos pela respetiva norma.

A incorporação de granulado, de cortiça e de EPS, numa argamassa tem, como resultado, um grande decréscimo em características físicas. Na massa volúmica, no estado fresco, cerca de 50% e 70%, respectivamente; na massa volúmica no estado endurecido, cerca de 55% e 65%; no coeficiente de absorção de água por capilaridade, cerca de 20% e 70%, na absorção de água sob baixa pressão, cerca de 75% e 50%, no índice de secagem, cerca de 25% e 15%, e na condutibilidade térmica, cerca de 80% e 85%, todos respetivamente. Também, a inclusão de granulado de cortiça e de EPS provoca um decréscimo, de cerca de 80%, em relação à argamassa de referência, da resistência à compressão assim, como em todas as outras características mecânicas (VALE, 2014). Por sua vez, parâmetros como o teor de ar e a porosidade aumentam, ou seja, as argamassas são mais porosas. Os resultados dos ensaios realizados às argamassas tradicionais não dão uma clara perceção de qual o tipo de agregado isolante mais adequado para a produção de argamassas térmicas. Contudo e analisando todas as argamassas, há uma tendência para o granulado de cortiça se evidenciar do EPS, pois obtendo argamassas térmicas ou com um desempenho térmico melhorado, consegue-se ao mesmo tempo uma argamassa com resistências superiores (VALE, 2014) e mais sustentáveis pois a cortiça é um produto natural, sendo Portugal o maior produtor mundial.

Com este estudo, é perceptível a necessidade da incorporação de grandes quantidades de materiais isolantes nos rebocos de modo a estes cumpram os requisitos designados pela Norma EN 998-1. Há uma tendência, também, para o uso de hidrófugos de modo a controlar a absorção de água. A introdução de elevadas percentagens de granulado de cortiça e de EPS dão azo a argamassas menos compactadas, mas com desempenho térmico muito melhorado, ou seja, com coeficientes de condutibilidade térmica muito inferiores. São argamassas mais porosas, com maior teor de ar, apresentando uma melhoria no comportamento à absorção de água por capilaridade e sob baixa pressão, bem como uma melhoria no que diz respeito à secagem da própria argamassa (medida indirecta da permeabilidade ao vapor de água).

Tabela 4.16 – Características físicas das argamassas estudadas

Argamassas		Espalhamento (mm)	M.V. estado fresco (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de ar (%)	Tubo <i>Karsten</i> (kg/m <sup>3</sup> .√min)	Abs. capilar (kg/m <sup>2</sup> .√min)	Porosidade (%)	Índice de secagem	$\lambda$ (W/m.K)	M.V. estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )
<b>A</b> <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	Previstos	130-150	375-525	-	-	0,4	-	-	0,05	-
	Obtidos	141	411	9,6	1,51	0,92	-	0,23	0,06	237
<b>B</b> <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	Previstos	130-150	350-450	-	-	0,2	-	-	0,07	200-300
	Obtidos	132	560	5,2	0,21	0,31	-	0,23	0,1	432
<b>C</b> <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	Previstos	-	850-950	-	-	0,2	46,6	-	≤0,2	850-950
	Obtidos	151	1016	6,6	0,1	0,13	46,4	0,45	0,23	863
<b>D</b> <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	Previstos	-	-	-	-	0,35	-	-	0,083	430-470
	Obtidos	151	896	6	0,3	0,67	47,3	0,31	0,14	642
<b>E</b> <sup>Ref</sup>	Obtidos	172	2105	4,7	0,36	0,74	25,6	0,32	1,34	1885
<b>F</b> <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>	Obtidos	158	1056	5	0,09	0,64	37,5	0,28	0,27	855
<b>G</b> <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>	Obtidos	151	662	6,2	0,19	0,23	-	0,29	0,23	683





## **5. Conclusões e desenvolvimentos futuros**

### **5.1. Considerações finais**

O trabalho realizado incidiu na avaliação experimental, em laboratório, do comportamento físico de argamassas térmica ou com desempenho térmico melhorado.

Para aferir esse comportamento, procedeu-se à realização de ensaios físicos, tais como: massa volúmica aparente no estado fresco, consistência por espalhamento, teor de ar, massa volúmica aparente, no estado endurecido, porosidade aparente, absorção de água sob baixa pressão, absorção de água por capilaridade, secagem e condutibilidade térmica.

Neste último capítulo, é feito um resumo das conclusões conseguidas no desenvolvimento da dissertação e apresentam-se algumas propostas para trabalhos futuros no âmbito do tema em que a presente dissertação se insere.

### **5.2. Conclusões gerais**

Numa análise global, no que se refere à influência da incorporação de agregados isolantes nas argamassas tradicionais, são necessárias percentagens de incorporação de granulado de cortiça e de EPS de cerca de 80%, em substituição, em volume de agregado, para se obter argamassas com desempenho térmico melhorado.

Apesar das argamassas tradicionais apresentarem baixos coeficientes de condutibilidade térmica, segundo a norma EN 998-1, (CEN 2010), estas podem não ser classificadas como argamassas térmicas, pois para tal, necessitariam de coeficiente de condutibilidade térmica inferior ou igual a 0,2 W/m.K. É de realçar o facto de não se terem utilizado quaisquer aditivos ou adjuvantes nas argamassas tradicionais produzidas em laboratório. Apesar de haver uma grande melhoria a nível térmico, as características físicas são afetadas, umas pela positiva, outras pela negativa. De seguida analisa-se, individualmente, as características de ordem física que sofreram alterações.

#### **i) Trabalhabilidade:**

Nas argamassas tradicionais, a cortiça retém uma maior quantidade de água nos instantes iniciais, daí ser necessário uma maior relação a/c na argamassa com granulado de cortiça do que na argamassa com granulado de EPS. Nas composições com EPS verifica-se uma trabalhabilidade semelhante à argamassa com cortiça, apesar da relação a/c ser 30% inferior nesta argamassa, relativamente à argamassa com granulado de cortiça, pelo facto do EPS ser um material não absorvente.

No que se refere às argamassas industriais, a trabalhabilidade é controlada pelo uso de adições superplastificantes e introdutores de ar na mistura em pé fornecida.

ii) Massa volúmica aparente no estado fresco

As argamassas com incorporação de granulado de EPS têm massas volúmicas entre os 414 e os 646 kg/m<sup>3</sup>, enquanto as argamassas com granulado de cortiça têm massas volúmicas aparentes entre os 914 e 1032 kg/m<sup>3</sup>. Houve um decréscimo médio, em relação à argamassa de referência de cerca de 55% e de 75% nas argamassas com cortiça e EPS, respetivamente.

iii) Massa volúmica aparente no estado endurecido

A introdução de granulado de cortiça e de EPS, na constituição das argamassas, provoca um grande decréscimo da massa volúmica aparente, chegando mesmo a reduções na ordem dos 65%. As argamassas industriais têm massas volúmicas inferiores às das argamassas tradicionais e, dentro destas, as argamassas com incorporação de granulado de EPS têm massas volúmicas menores, o que seria de esperar dado o material EPS ter uma massa volúmica menor do que a cortiça. Em suma, a incorporação do granulado de cortiça e de EPS conduz a argamassas mais leves, chegando essas a serem classificadas, segundo a norma EN 998-1, (CEN 2010), de argamassas leves ( $\rho \leq 1300 \text{kg/m}^3$ ).

iv) Absorção de água por capilaridade

No que diz respeito às argamassas tradicionais, os coeficientes de absorção capilar diminuíram em relação à argamassa de referência. Verifica-se, na fase inicial, uma rápida absorção capilar da argamassa com incorporação de cortiça, quando comparada com a argamassa com granulado de EPS. O uso de partículas de reduzidas dimensões, como na cortiça, melhora as propriedades mecânicas da argamassa, contudo torna-as mais permeáveis face a agregados de maiores dimensões. Em suma, apenas a argamassa com granulado de EPS cumpre os requisitos, do coeficiente de absorção capilar, para ser considerada uma argamassa térmica, segundo a norma EN 998-1, (CEN, 2010).

No caso das argamassas industriais, este parâmetro é controlado pelos hidrófugos. A utilização de hidrófugos faz baixar o coeficiente de absorção capilar.. O facto de no presente estudo não se ter impermeabilizado as faces laterais dos provetes ensaiados pode ter influenciado o resultado (condução a valores maiores de absorção capilar), no entanto os fabricantes não disponibilizam informações, acerca da impermeabilização dos provetes.

#### v) Absorção de água sob baixa pressão

No que diz respeito às argamassas tradicionais, estas absorveram menos água, sob baixa pressão, do que a argamassa de referência. Houve um decréscimo de cerca 75% e de 50% das argamassas com granulado de cortiça e de EPS, respetivamente.

Em relação às argamassas industriais, os valores do coeficiente de absorção, sob baixa pressão, situam-se na mesma ordem de grandeza dos valores das argamassas tradicionais, à exceção da argamassa  $A_{EPS}^{ind}$  que tem um valor muito superior aos das restantes argamassas, tal como acontece com o valor do coeficiente de absorção capilar que é bastante superior aos das restantes argamassas. Os resultados obtidos, e os poucos trabalhos encontrados com este ensaio em argamassas com desempenho térmico melhorado, tornam os valores inconclusivos, embora quando analisados em paralelo com os valores do coeficiente de absorção capilar, infere-se que as argamassas que tendem a absorver mais água, sob baixa pressão, são as mesmas que absorvem mais água por capilaridade, e vice-versa.

#### vi) Porosidade aparente

A presença de granulado de cortiça faz aumentar a porosidade das argamassas. No caso das argamassas industriais, este aumento é mais notório. Não foram obtidos resultados com as argamassas com incorporação de EPS, devido à dificuldade do ensaio de pesagem hidrostática.

#### vii) Coeficiente de condutibilidade térmica

A incorporação do granulado de cortiça e de EPS, nas argamassas tradicionais sem adições, provocou uma melhoria no desempenho térmico das argamassas, contudo, mesmo assim, não preencheram os requisitos mínimos ( $\lambda \leq 0,1-0,2 \text{ W/m.K}$ ) estabelecidos pela norma EN 998-1, (CEN, 2010). Em relação às argamassas industriais, todos os valores obtidos, enquadram-se no intervalo de valores, do coeficiente de condutibilidade térmica, preconizado pela norma EN 998-1.

Apesar de não serem estudadas nesta dissertação, foi notória a importância das adições/adjuvantes no comportamento físico e térmico das argamassas. As argamassas industriais, são as que apresentam melhores resultados ao nível da absorção de água e a nível de isolamento térmico, apresentando vários tipos de adições na sua constituição, como por exemplo, introdutores de ar, hidrófugos, promotores de aderência, entre outros. Todas as características físicas são alteradas com a introdução de agregados isolantes, neste caso, cortiça e EPS. De um modo geral, o comportamento físico das argamassas melhora com a introdução de agregados isolantes, nomeadamente no que diz respeito à massa volúmica aparente, à resistência à penetração de água e

à condutibilidade térmica, e sabendo que o comportamento mecânico das argamassas reduz, mas preenche os requisitos mecânicos exigidos pela norma EN 998-1, (CEN, 2010) (VALE, 2014), comprova que estas argamassas continuam a desempenhar as funções para a qual foram desenvolvidas, tornando-se uma solução viável e mais sustentável que vai de encontro às preocupações actuais ao nível energético e ambiental.

Em suma, as argamassas estudadas, devido aos seus baixos valores de coeficientes de condutibilidade térmica, tornam-se uma boa solução ao combate às pontes térmicas, prevenindo diversos tipos de patologias na construção. São adequadas para a realização de revestimento de paredes, tanto pelo interior como pelo exterior, garantindo um bom isolamento térmico. Estas argamassas proporcionam uma boa resistência, do reboco, face à presença de água e valores aceitáveis de resistências mecânicas VALE (2014). Em relação à aplicação dessas argamassas no exterior, há que ter a atenção os seguintes aspectos: a argamassa  $C_{Cort}^{ind}$  é a única que poderá ser aplicada em paredes expostas a choques ou em zonas com condições meteorológicas adversas. A argamassa  $A_{ind}^{EPS}$ ,  $D_{ind}^{Cort}$  e  $F_{Cort}^{trad}$ , precisam de um acabamento adicional que lhe confira maior protecção à sucção de água e as argamassas  $B_{EPS}^{ind}$  e  $G_{EPS}^{trad}$ , podem ser aplicadas em condições meteorológicas moderadas. Estas argamassas são adequadas para isolamento térmico de paredes novas ou a reabilitar.

### 5.3. Propostas de desenvolvimentos futuros

As argamassas, os materiais isolantes e as próprias adições possuem inúmeras propriedades cujo estudo não se encontra de nenhuma forma concluído nesta dissertação, pelo que se podem desenvolver novos e mais diversos trabalhos, no domínio da investigação experimental ou laboratorial e científica. Para futuros trabalhos, que tenham o objetivo de dar continuidade à presente investigação, propõe-se:

- estudo da microestrutura e da constituição mineralógica e química das argamassas industriais térmicas;
- avaliação da influência da dimensão das partículas dos materiais isolantes nas características físicas e mecânicas de argamassas com desempenho térmico melhorado;
- avaliação de influência das adições nas argamassas tradicionais com desempenho térmico melhorado;
- caracterização de argamassas com desempenho térmico melhorado com diferentes ligantes
- estudo de argamassas com desempenho térmico melhorado com PCM (*Phase change materials*);
- estudo da variabilidade da técnica de medição do coeficiente de condutibilidade térmica, tendo em conta a rugosidade da superfície, espessura do provete e homogeneidade da mistura.

## 6. Referências bibliográficas

ACIU, C; TAMAS-GAVREA, R.; MUNTEANU, C. (2011). – “Manufacture of ecological mortars by cork and sawdust waste recycling”. Faculty of Civil Engineering - Technical University of Cluj-Napoca, pp 417- 424.

AGOSTINHO, C. (2008). – “Estudo da evolução do desempenho no tempo de argamassas de cal aérea”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2008.

ALI Y. (2011) – “Use of expanded polystyrene in developing solid and hollow block masonry units “. Master of Science in Construction Engineering – The American University in Cairo, 2011, p. 163.

ALVES, A. (2010). – “Durabilidade de argamassas poliméricas de agregados leves”. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologias - Universidade Nova de Lisboa, 2010.

APPS, C.A.C.P. (2011) – “Avaliação da variabilidade da técnica de ensaio de tubo de Karsten na medição da permeabilidade à água líquida em revestimentos de ladrilhos cerâmicos e argamassas” – Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2011, 108p.

APPLETON, J. (2003). – “Reabilitação de Edifícios Antigos. Patologias e tecnologias de intervenção”. Edições Orion, 2003.

ARROMBA, J. (2011). – “Influência do suporte no desempenho de rebocos aplicados em suportes de tijolo e betão recorrendo a técnicas de ensaio *in-situ*.” Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, 2011, 122p.

ASTM C518 (2010)– “Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus”. American Society for Testing and Materials.

AZEVEDO, A.F.F.L.C. (2002). - “Betões de elevado desempenho com incorporação de cinzas volantes”. Dissertação de Doutoramento – Universidade do Minho, 2002, 456p.

BABU, K.G.; BADU, D.S. (2004). - “ Performance of fly ash concretes containing lightweight EPS aggregates. Cement & Concrete Composites, 2004; 26:605-11.

BABU, D.S;BABU K.G.; TIONG-HUAN W. (2006) – “Effect of polystyrene aggregate size on strength and moisture migration characteristics of lightweight concrete. Cement and Concrete Composites 28 (2006), pp. 520-527.

BARROSA, M.R. (2004). – “Princípios fundamentais da transferência de calor”. Pós-Graduação. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, 2004, 48p.

BAUER, F. (2000) – “Materiais de Construção”. 5ª Edição. Rio de Janeiro.2000. LTC Editora revisada, Volume 1.

BEGONHA, A. S. (2001) – “Meteorização do granito e deterioração da pedra em monumentos e edifícios da cidade do Porto”. 1ª ed. Porto. FEUP, 445p.

BENAZZOUK, A.; DOUZANE, O.; MEZRED, K.; LAIDOUDI, B.; QUÉNEUDEK, M. (2008). – “Thermal conductivity of cement composites containing rubber waste particles: Experimental study and modelling”. *Construction and Building Material*, volume 22, Issue 4, Janeiro 2008, pp 573-579.

BHUTTA, M.A.R.; TSURUTA, K.; OHAMA, Y. (2008). – “Flexural Behavior of Polymer Mortar Permanent Forms Using Methyl Methacrylate Solution of Waste Expanded Polystyrene” - *International Journal of Concrete Structures and Materials*, Vol. 2, No.1, 2008, pp35-39.

BJORN, B. (2007). – “Ecologia dos Materiais de Construção”. Edição Universidade Minho, Lisboa 2007. ISBN; 978-972-99179-3-6. Volume 1.

BOTAS, S. (2009). – “Avaliação do Comportamento de Argamassas em Climas Frios”. Dissertação de Mestrado, Faculdade Ciências e Tecnologias – Universidade Nova de Lisboa, 2009.

BRANCO, J. PAZ; “Manual do pedreiro”, LNEC, Lisboa, 1981.

BRÁS, A.; LEAL, M.; FARIA, P. (2012). – “Argamassas com comportamento térmico melhorado com materiais sustentáveis”. 2ª Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono (CRSEEL), 2012, 5p.

BRÁS, A.; LEAL, M.; FARIA, P. (2013) – “Cement-cork mortars for thermal bridges correction. Comparison with cement-eps mortars performance”. *Construction and Building Materials*, 49, 2013, pp. 315-327.

BROWN, W. C.; DIETRICH, M.; LATIMER, M. (2004). - "Assessing the impact of thickness on the performance of stucco cladding". Technical Series 04-123. Research Highlight. Ottawa: Canada Mortgage and Housing Corporation.

CEN (1998a) – “Methods of test for mortar masonry – Part:2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars”. EN 1015-2. Brussels: Comité Européen de Normalisation.

CEN (1998b). – “Methods of test for mortar for masonry – Part 6: Determination of bulk density of fresh”. EN 1015-6. Brussels: Comité Européen de Normalisation.

CEN (1998c). – “Method of test for mortar for masonry – Part 7: Determination of air content of fresh mortar. EN 1015-7. Brussels: Comité Européen de Normalisation.

CEN (1999a) – “Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)”. EN 1015-3. Brussels: Comité Européen de Normalisation.

CEN (1999b). – “Methods of test for mortar masonry – Part 10: Determination of dry bulk density of hardener mortar”. EN 1015-10. Brussels: Comité Européen de Normalisation.

CEN (2002) – “Methods of test for mortar for masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar”. EN 1015-18. Brussels: Comité Européen de Normalisation.

CEN (2007) – “Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – Detailed calculations” ISO 10211:2007.

CEN (2010). – “Specification for mortar for masonry. Part 1: Rendering and plastering mortar”. EN 998-1. Brussels: Comité Européen de Normalisation.

CORINALDESI, V.;MAZZOLI, A.;MORICONI, G. (2011) – “Mechanical behavior and thermal conductivity of mortars containing waste rubber particles” - Materials and Design, Volume 32, Issue 3 March 2011, pp 1646-1650.

COUTINHO, A. S (1973) – “ Fabrico e propriedades do betão”. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Vol 1, 1973.

CSTB (1993) – “Certification CSTB des enduits monocouche d’impermeabilisation. Modalités d’essais”. Cahier 2669-4. Paris: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, (341): Juillet-Août.

EN ISO 10211-1:1995 – “Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – Part 1: General calculation methods;

FARIA, P. [2012] – “Argamassas Sustentáveis” – 2ª Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono. Lisboa, 2012, 12p.

FARIA, P.; HENRIQUES, F.; RATO, V. – “Argamassas Correntes: Influência do Tipo de Ligante e do Agregado. Congresso Nacional de Argamassas de Construção, 2007.

FLORES-COLEN, I. (2009). – “Metodologia de avaliação do Desempenho em Serviço de Fachadas Rebocadas na óptica da manutenção preditiva”. Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, 2009, 487 p.

FORTES, M.A.; ROSA, M. E; PEREIRA, H. (2004). – “ a Cortiça”. Lisboa: Ist Press. 2004.

FRADE, D.; et al. (2012). – “ Argamassas industriais com incorporação de granulado de cortiça”. APFAC, Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção. Congresso, 2012.

FU, X.; CHUNG, D. (1996) – “Degree of dispersion of latex particles in cement paste, as assessed by electrical resistivity measurement “ – Cement and concrete Research, Vol. 26 nº 7, 1996, pp 985-991.

GALVÃO, J. (2009). – “Técnicas de ensaio in-situ para avaliação comportamento mecânico de rebocos em fachadas – Esclerómetro e ultra-sons”. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2009, 136p.

GIL, L. (2007). – “A Cortiça como material de construção” – Manual Técnico. APCOR, 2007.

GONÇALVES, A.E.N. (2010) – “Estudo da influência dos factores de aplicação no desempenho de argamassas de revestimentos recorrendo a técnicas de ensaio *in-situ*”. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2010, 156p.

GONÇALVES, P.J.; FRADE, D.F.; BRITES, J. (2012). – “Argamassas industriais com incorporação de granulado de cortiça” – 4º Congresso Português de argamassas e ETICS, Coimbra 2012, pp 1-10.

HENZ, C. (2009). – “Análise experimental de compatibilidade das argamassas com revestimento e encunhamento” Graduação de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre- 2009.

IPQ (1971) - “Tijolos de barro vermelho para alvenaria. Formatos”. NP 834 (1971). Lisboa: Instituto Português de Qualidade.



IPQ (1973). – “Inertes para argamassas e betões. Determinação da baridade”. NP 955:1973 (Ed. 1). Lisboa: Instituto Português de Qualidade.

IPQ (2008). – “Cimento – Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes”. NP EN 197-1: 2001/A1:2005/A3:2008. Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

IPQ (2002). – “Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios”. NP EN 1097-3:2002 (Ed.2). Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

IPQ (2010). – “Agregados Para Betão”. NP EN 12620:2001/A1:2010. Lisboa: Instituto Português de Qualidade.

IPQ (2005) - “Alvenarias e elementos de alvenaria – Métodos para determinação de valores térmicos de cálculo”- NP EN 1745:2005:Lisboa: Instituto Português da Qualidade..

IPQ (2006). – Métodos de ensaio de cimentos – Parte 1: Determinação das resistências mecânicas. NP EN 196-1:2006. Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

IPQ (2007). – Betão – Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade. NP EN 206-1:2007/Emenda 2:2010. Lisboa: Instituto Português de Qualidade.

IPQ (2010a). – “Specification for mortar for masonry – Part 1: Rendering and plastering mortar”. NP EN 998-1:2010. Lisboa: Instituto Português de Qualidade.

ISO 8301:1991, Thermal insulation – Determination of steady-state thermal resistance and related properties – Heat flow meter apparatus, International Organization for Standardisation, 1991.

ISOMET 2114 (2011): Thermal properties analyzer. User’s Guide. Version 120712. Applied Precision 2011.

KIBERT,C.J.(2008). – “Sustainable Construction - Green Building Design and Delivery”.2º Edition.Canada, 2008.

LABRINCHA, J.; SAMAGALHO A.; VICENTE R. (2006). – “Associação para o desenvolvimento da casa do futuro - sub projecto de isolamento térmico” – Universidade de Aveiro 2006, pp57.

LANAS, J.; PÉREZ-BERNAL, J.L.; BELLO, M.A.; ALVAREZ GALINDO, J.I.; “Mechanical properties of natural hydraulic lime based mortars”, Cement and Concrete Research 34 (2004), pp2191-2201.

LEAL, M.M.R. (2012). – “Desenvolvimento de argamassas de revestimento com desempenho térmico melhorado” – Dissertação de Mestrado - Instituto Politécnico de Setúbal, 2012, 144p.

LNEC (2002). – “Revestimentos de paredes. Ensaio de absorção de água sob baixa pressão”. Ficha de ensaio FE Pa 39.1.Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

LOURENCI, S. (2003). – “Caracterização de argamassas de revestimento fabricadas como materiais alternativos”. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências e Tecnologias - Universidade do Estado de Santa Catarina, 2003, 129p.

LOW, K.; SOON-CHING, Ng (2010) – “Thermal conductivity of newspaper sandwiched aerated lightweight concrete panel”, Energy and Buildings 42 (2010), pp 2452-2456.

- LUCAS, J.A. C. (1990) – “Exigências funcionais de revestimento de paredes! ITE 25, LNEC, Lisboa 1990.
- MARQUES, S. (2005). - “Estudo de argamassas de Reabilitação de Edifícios Antigos”, Dissertação de Mestrado - Universidade de Aveiro, 2005.
- MARTINS, M. (2010). – “Comportamento Físico de Argamassas de Reboco com Regranulado Negro de Cortiça”. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2010, 119p.
- MENDES, S.E.S. (2002). – “Estudo Experimental de Concreto de Alto Desempenho Utilizando Agregados Graúdos Disponíveis na Região Metropolitana de Curitiba”. Dissertação Mestrado - Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2002.
- MENDONÇA, B.V. (2007). – “Estudo do Desempenho das Argamassas Hidráulicas”. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, 2007, p.94.
- MESHGIN, P.; XI, Y.; LI, Y. (2011). – “Utilization of phase change materials and rubber particles to improve the thermal and mechanical properties of mortar”. Construction and Building Materials 28, November 2011, pp 713-721.
- MONTEIRO, D. (2008). – “Avarias em argamassas: Causas, produção e reparação.” Monografia de Licenciatura, Faculdade de Ciências e Tecnologias - Universidade Fernando Pessoa, 2008.
- MORET RODRIGUES A; CANHA PIEDADE A.; BRAGA, A.M. (2009). – “Térmica de Edifícios”.1ª Edição. Alfragide: Edições Orion, 2009, pp 673.
- NASCIMENTO, R.S.V.M. (2006). – “Caracterização de Argamassas Industriais”. Dissertação de Mestrado - Universidade de Aveiro, 2006, 142p.
- NÓVOA, P.; RIBEIRO, M.; FERREIRA, A.; MARQUES, A. (2004) – “Mechanical characterization of lightweight polymer mortar modified with cork granulates”, Composites Science and Technology 64 (2004) pp. 2197-2205.
- PANESAR, D.K; SHINDMAN B. (2012). – “The mechanical, transport and thermal properties of mortar and concrete containing waste cork”. Cement & Concrete Composites, vol. 34, Outubro 2012, pp 982-992.
- PAULO, R. N. (2006) – “Caracterização de argamassas industriais”. Dissertação de Mestrado em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos. Aveiro: UA, 22p.
- PÁSCOA, L.S.N. (2012) – “Índice de secagem como parâmetro em serviço dos rebocos aplicados em paredes exteriores”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, 2012, Lisboa, 98p.
- PENAS, F. (2008). – “Argamassas de cal hidráulica para revestimento de parede”. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2008, 90p.
- PEREIRA, P.P. (2009). – “Construção sustentável: o desafio”. Tese para obtenção do grau de licenciatura - Universidade Fernando Pessoa, Porto 2009, 106p.
- POLETTO, M. (2009). – “Obtenção e caracterização de compósitos preparados com poliestireno expandido reciclado e pó de madeira”. Dissertação de Mestrado - Universidade de Caxias do Sul, 2009.
- PROCEQ (2001). - "Porosity measurement according to the Karsten system", Porositester. <[www.proceq.com](http://www.proceq.com)>. Acesso em 2013.09.02.

RATO, V. (2006) – “Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas”. Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, 2006.

RECENA, F.A.P. (2008). – “Conhecendo a Argamassa” – 1ª Edição. Brasil: EDIPUCRS, 2008.

RIBEIRO, M. (2004). – “Argamassas cimentícias modificadas com adjuvantes poliméricos. Composição e características.” – Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil pela Universidade Técnica de Lisboa, LNEC, 2004.

RILEM (1980). – “Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods, Commission RILEM/25-PEM: Protection et Erosion des Monuments”.pp.175-253.

RIXON, N; MAILVAGANAM, N. (1999). – Chemical Admixtures for concrete, 3th Ed E & FN Spon, London, 437 p.

SANTOS, C.A.P. (2006) – “ Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios”,ICT Informação técnica: Edifícios – ITE 50, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa 2006.

SANTOS, S. (2009). – “Argamassas Pré-doseadas Para Rebocos Em Edifícios Recentes”. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, 2009, 96p.

SECIL (2006) – “Fascículo de Patente de invenção “ - Instituto Nacional da propriedade industrial –, Número da publicação 11, Classificação Internacional: C04B18/24, 2006.

SILVA, S.P.; SABINO M.A.; FERNANDES E.M, CORRELO V.M; BOESEL L.F; REIS R.L. – “Cork: Properties, Capabilities and Applications”. International Materials Reviews. Vol.50. nº 6, 2005.

SMITH M.R.; COLLIS L. – “Aggregates – Sand, gravel and crushed Rock aggregates for construction purposes” – 3<sup>rd</sup> edition.London: Geological Society Engineering – Publication N° 17, 2001.

SOARES, A. (2011) – “Análise das características mecânicas de amostras recolhidas em fachadas rebocadas” – Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2011, p. 184.

SOARES A.; FEITEIRA J.; FLORES-COLEN I.; BRITO J. “ Argamassas de Revestimento com Nanoaerogel de Sílica” – Congresso Nacional Construção, Lisboa, 2012.

VALE, H. (2014) – “Caracterização Experimental do Comportamento Mecânico de Argamassas de Desempenho Térmico Melhorado” – Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, 2014, Lisboa, p 80.

VEIGA, M.R.S. (2001). – “Comportamento de argamassas de revestimento de paredes – Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação”. Dissertação de Doutoramento - Universidade Técnica de Porto, 2001, p.522.

VEIGA, M.R.S; CARVALHO, F. (2002). – “Argamassas de reboco para paredes de edifícios antigos – Requisitos e características a respeitar”.Lisboa: LNEC, Outubro de 2002. Cadernos de Edifícios, nº2.

VEIGA, M.R.S. (2012). – “ETICS e argamassas térmicas: novos desafios de desempenho e sustentabilidade”. Seminário TEKTÓNICA 2012, LNEC, Lisboa.

VIEIRA, Júlia. (2010). – “Interacção Cimento-Superplastificante – Avaliação da estabilidade do Comportamento”. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

ZHANG, Z.; SHI, G.; WANG, S.; FANG, X.; LIU, X. (2012) – “Thermal energy storage cement mortar containing n-octadecane/expanded graphite composite phase change material” – Renewable Energy, September 2012, pp 670-675.

[W1] - IISBE – International Initiative for a Sustainable Built Environment <Disponível em [www.iisbeportugal.org](http://www.iisbeportugal.org)> - acedido em [14/04/2013];

[W2] – SECIL – “Catálogo de produtos e soluções” < <http://www.secil.pt/>> acedido a [02/03/2013].

[W3] - EMO (2001). – “EMOdicó - Dicionário Técnico de Argamassas” European Mortar Industry Organization <<http://www.euromortar.com/>>, acedido a [18/10/2013].

[W4] – APFAC – Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETIC´S– < [www.apfac.pt](http://www.apfac.pt)>- acedido a [20/08/2013].

[W5] – FUTURENG – “Engenharia e Projecto” < [www.futureng.pt](http://www.futureng.pt)>, [06/07/2013];

[W6] – PROTO LAB – “Laboratório de Propriedades Termofísicas e Prototipação - <[www.protolab.com.br/](http://www.protolab.com.br/)> acedido a [08/09/2013];

[W7] – Grupo Amorim – Informação Global – A Cortiça – < <http://www.amorim.pt>> - acedido a [12/12/2013].

[W8] - SOTECNISOL – “Materiais de construção, Isolamento e Energias Renováveis”< [www.sotecnisol.pt](http://www.sotecnisol.pt)> - acedido a [15/12/2013].

[W9] - ACEPE (2005) – Associação Industrial Poliestireno Expandido. <[www.acepe.pt](http://www.acepe.pt)> . acedido a [15/06/2013].



## **Anexos**

## Anexo A.3.1 – Ficha da areia



### FICHA TÉCNICA DE PRODUTO



Produto:  Origem:   
 Aplicação:   
 Tipo:

#### CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO

##### Distribuição granulométrica <sup>1)</sup>

Peneiro (mm)	Valores típicos (%)	Limites Mínimos (%)	Limites Máximos (%)
31,5	100		
25	100		
20	100		
16	100		
12,5	100		
10	100		
8	100		
6,3	100		
4	100	100	100
2	100	95	100
1	99	79	100
0,5	77		
0,25	18	0	43
0,125	1		
0,063	0,5	0,0	3,0

<sup>1)</sup> Valores em percentagem de passados

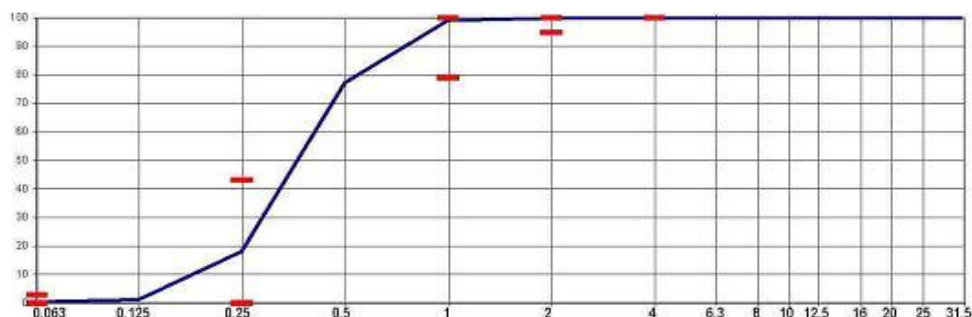
##### Controlo da produção

Parâmetro	Típico	Mínimo	Máximo
MF	2,03	1,53	2,53
CF	2,27	1,77	2,77

##### Outras características

Característica	NP EN 12620	NP EN 13043
Dimensão nominal (d/D)	0/2	
Granulometria	G <sub>85</sub>	G <sub>85</sub> -G <sub>10</sub> -20
Massa Volumica:		
-- Material impermeável	2,63 Mg/m <sup>3</sup>	
-- Partículas secas em estufa	2,62 Mg/m <sup>3</sup>	
-- Partículas saturadas	2,62 Mg/m <sup>3</sup>	
Absorção de água	0,2%	
Teor de finos	f <sub>3</sub>	NA
Qualidade dos finos	NA	
Teor de cloretos	≤ 0,01%	
Sulfatos solúveis em ácido	AS <sub>0,5</sub>	
Enxofre total	0,04%	
Teor de Húmus	Mais claro	
Teor de cont. orgânicos leves	DND	
Teor de carbonato de cálcio	DND	
Refracção por secagem	0,019%	
Teor de carbonato de cálcio	DND	
Resistência gelo/degelo	DND	
Reactividade alcali-silica	DND	
Resistência choque térmico	DND	

NA-Não aplicável DND- Desempenho não determinado



Data: 02 / 01/ 2007

O Director Produção:

F 06.01 - 16/09/2005

## Anexo A.4.1 - Ensaio da baridade

Tabela A.4. 1 - Resultados individuais do ensaio da baridade

Material	Massa do recipiente vazio (g)	Ensaios	Massa do recipiente cheio (g)	Massa volúmica aparente sem compactação (kg/m <sup>3</sup> )	Massa volúmica média (kg/m <sup>3</sup> )	Desvio Padrão (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)
Areia da Mesquita	1171,2	1	2752,8	1575,6	1578	4	0,25
		2	2753,7	1575,5			
		3	2759,8	1582,6			
Cimento		1	2234,7	1057,5	1052	5	0,48
		2	2225,9	1048,7			
		3	2228,3	1051,1			
Cortiça		1	1279,5	102,3	101	1	0,99
		2	1278,1	100,9			
		3	1278	100,8			
EPS		1	1187,8	10,6	11	0	0
		2	1187,7	10,5			
		3	1187,6	10,4			
A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>		1	1364,2	187,0	173	13	7,51
		2	1337,9	160,7			
		3	1348,2	171,0			
B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>		1	1497,8	320,6	319	1	0,31
		2	1495,2	318,0			
		3	1496,5	319,3			
C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>		1	1787,0	609,8	604	5	0,83
		2	1778,0	600,8			
		3	1780,0	602,8			
D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>		1	1623,9	446,7	446	1	0,22
		2	1622,8	445,6			
		3	1623	445,8			



## Anexo A.4.2 – Massa volúmica aparente, no estado fresco

Tabela A.4. 2 - Resultados individuais do ensaio da massa volúmica aparente no estado fresco

Argamassa		1º Ensaio	2º Ensaio	3º Ensaio	Massa volúmica aparente média (kg/m <sup>3</sup> )	Desvio Padrão (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)
		Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )			
Industrial	A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	408,6	411,1	413,2	411,0	2	0,49
	B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	567,3	557,0	563,6	563,0	5	0,89
	C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	1028,5	1022,3	998,4	1016,0	16	1,58
	D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	870,2	905,2	913,2	896,0	23	2,57
Tradicional	E <sup>Ref</sup>	2110,3	2112,9	2090,9	2105,0	12	0,57
	F <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>	1085,8	1049,6	1032,4	1056,0	27	2,56
	G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>	648,3	692,5	646,0	662,0	26	3,93

## Anexo A4.3 – Consistência por espalhamento

Tabela A.4. 3 - Resultados individuais da consistência por espalhamento

Argamassa		1º Ensaio		2º Ensaio		3º Ensaio		Espalhamento médio (mm)	DP (mm)	CV (%)
		D <sub>1</sub> (mm)	D <sub>2</sub> (mm)	D <sub>1</sub> (mm)	D <sub>2</sub> (mm)	D <sub>1</sub> (mm)	D <sub>2</sub> (mm)			
Industrial	A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	140	140	142	140	141	143	141	1	0,71
	B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	130	130	135	132	130	133	132	2	1,52
	C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	150	150	153	152	150	153	151	1	0,66
	D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	150	150	154	152	150	152	151	2	1,33
Tradicional	E <sup>Ref</sup>	170	170	170	176	175	172	172	2	1,16
	F <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>	161	162	155	152	156	160	158	4	2,53
	G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>	151	151	153	150	150	150	151	1	0,66

## Anexo A4.4 – Teor de ar

Tabela A.4. 4 - Ensaio do teor de ar (%)

Argamassa	1º Ensaio	2º Ensaio	3º Ensaio	Média do teor de ar (%)	Desvio Padrão (%)	CV (%)
A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	10,0	9,2	9,6	9,6	0,327	3,40
B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	5,0	5,4	5,2	5,2	0,163	3,14
C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	6,3	6,9	6,6	6,6	0,245	3,71
D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	5,5	6,5	6,0	6,0	0,408	6,80
E <sup>Ref</sup>	4,9	4,5	4,7	4,7	0,163	3,47
F <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>	5,0	5,1	5,0	5,0	0,047	0,94
G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>	6,0	6,4	6,2	6,2	0,163	2,63

## Anexo A4.5 - Massa Volúmica aparente no estado endurecido (método geométrico e método de pesagem hidrostático)

Tabela A.4.5 1 - Resultados individuais da massa volúmica aparente no estado endurecido das argamassas industriais (método geométrico)

Argamassa A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>							Argamassa C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>						
Provete	Massa (g)	Volume (m <sup>3</sup> )	Mv (kg/m <sup>3</sup> )	Mv Média (kg/m <sup>3</sup> )	DP (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)	Provete	Massa (g)	Volume (m <sup>3</sup> )	Mv (kg/m <sup>3</sup> )	Mv Média (kg/m <sup>3</sup> )	DP (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)
A6	58,13	0,00026	227,07	236,62	17,00	7,18	C7	219,00	0,00026	855,47	862,89	13,29	1,54
A7	55,67		217,46				C8	223,20		871,88			
A8	66,04		257,97				C9	220,80		862,50			
A9	65,61		256,29				C10	216,70		846,48			
A10	57,52		224,69				C11	226,30		883,98			
A11	60,48		236,25				C12	219,40		857,03			
Argamassa B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>							Argamassa D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>						
Provete	Massa (g)	Volume (m <sup>3</sup> )	Mv (kg/m <sup>3</sup> )	Mv Média (kg/m <sup>3</sup> )	DP (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)	Provete	Massa (g)	Volume (m <sup>3</sup> )	Mv (kg/m <sup>3</sup> )	Mv Média (kg/m <sup>3</sup> )	DP (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)
B7	107,50	0,00026	419,92	431,57	17,23	3,99	D7	164,05	0,00026	640,82	641,96	12,45	1,93
B8	104,89		409,73				D8	166,35		649,80			
B9	115,46		451,02				D9	160,73		627,85			
B10	113,48		443,28				D10	165,12		645,00			
B11	114,19		446,05				D11	168,93		659,88			
B12	107,38		419,45				D12	160,88		628,44			

Tabela A.4.5 2 - Resultados individuais da massa volúmica aparente no estado endurecido das argamassas tradicionais (método geométrico)

Argamassa E <sup>Ref</sup>							Argamassa G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>						
Provete	Massa (g)	Volume (m <sup>3</sup> )	Mv (kg/m <sup>3</sup> )	Mv Média (kg/m <sup>3</sup> )	DP (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)	Provete	Massa (g)	Volume (m <sup>3</sup> )	Mv (kg/m <sup>3</sup> )	Mv Média (kg/m <sup>3</sup> )	DP (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)
E7	482,28	0,00026	1883,91	1885,43	8,17	0,43	G7	180,72	0,00026	705,94	683,21	20,00	2,92
E8	478,89		1870,66				G8	168,43		657,93			
E9	482,47		1884,65				G9	179,28		700,31			
E10	484,43		1892,30				G10	174,20		680,74			
E11	484,65		1893,16				G11	171,81		671,13			
E12	483,31		1887,93										
Argamassa F <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>													
Provete	Massa (g)	Volume (m <sup>3</sup> )	Mv (kg/m <sup>3</sup> )	Mv Média (kg/m <sup>3</sup> )	DP (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)							
F7	215,97	0,00026	843,63	854,56	20,47	2,39							
F8	220,69		862,07										
F9	217,77		850,66										
F10	210,66		822,89										
F11	225,91		882,46										
F12	221,61		865,66										

Tabela A.4.5 3 - Resultados individuais da massa volúmica aparente no estado endurecido (método de pesagem hidrostático)

Argamassas		M1 (g)	M2 (g)	M3(g)	Massa volúmica aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Massa volúmica Média (kg/m <sup>3</sup> )	DP (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)
A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	1º Ensaio	61,84	-	178,36	-	-	-	-
	2º Ensaio	61,50	-	178,00	-			
	3º Ensaio	61,20	-	177,90	-			
B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	1º Ensaio	101,76	-	180,99	-	-	-	-
	2º Ensaio	102,10	-	181,20	-			
	3º Ensaio	104,10	-	182,50	-			
C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	1º Ensaio	204,60	78,28	314,49	866,18	867,37	1,18	0,14
	2º Ensaio	206,40	79,00	316,50	869,05			
	3º Ensaio	206,00	78,70	316,20	867,37			
D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	1º Ensaio	166,27	41,85	282,78	690,12	690,78	4,97	0,72
	2º Ensaio	173,70	40,50	288,30	700,97			
	3º Ensaio	170,00	40,40	286,50	690,78			
E <sup>Ref</sup>	1º Ensaio	470,80	286,35	535,57	1889,09	1853,09	17,91	0,97
	2º Ensaio	483,10	288,30	549,00	1853,09			
	3º Ensaio	482,30	288,20	548,99	1849,38			
F <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>	1º Ensaio	213,22	63,50	303,65	887,86	887,86	1,31	0,15
	2º Ensaio	211,00	61,70	299,80	886,18			
	3º Ensaio	213,10	63,40	303,00	889,40			
G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>	1º Ensaio	170,90	-	222,00	-	-	-	-
	2º Ensaio	170,20	-	221,00	-			
	3º Ensaio	170,00	-	220,80	-			

## Anexo A4.6 – Porosidade aparente

Tabela A.4. 6 - Resultados individuais da porosidade

Argamassas		M1 (g)	M2 (g)	M3(g)	Porosidade Aberta (%)	Porosidade Aberta média (%)	DP (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)
A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	1º Ensaio	61,84	-	178,36	-	-	-	-
	2º Ensaio	61,50	-	178,00	-			
	3º Ensaio	61,20	-	177,90	-			
B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	1º Ensaio	101,76	-	180,99	-	-	-	-
	2º Ensaio	102,10	-	181,20	-			
	3º Ensaio	104,10	-	182,50	-			
C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	1º Ensaio	204,60	78,28	314,49	46,52	46,40	0,07	0,15
	2º Ensaio	206,40	79,00	316,50	46,36			
	3º Ensaio	206,00	78,70	316,20	46,40			
D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	1º Ensaio	166,27	41,85	282,78	48,36	47,34	0,86	1,82
	2º Ensaio	173,70	40,50	288,30	46,25			
	3º Ensaio	170,00	40,40	286,50	47,34			
E <sup>Ref</sup>	1º Ensaio	470,80	286,35	535,57	25,99	25,57	0,29	1,14
	2º Ensaio	483,10	288,30	549,00	25,28			
	3º Ensaio	482,30	288,20	548,99	25,57			
F <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>	1º Ensaio	213,22	63,50	303,65	37,66	37,52	0,15	0,40
	2º Ensaio	211,00	61,70	299,80	37,30			
	3º Ensaio	213,10	63,40	303,00	37,52			
G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>	1º Ensaio	170,90	-	222,00	-	-	-	-
	2º Ensaio	170,20	-	221,00	-			
	3º Ensaio	170,00	-	220,80	-			

## Anexo A4.7 – Ensaio de absorção de água por capilaridade

Tabela A.4.7 1 - Resultados individuais da absorção de água por capilaridade da argamassa A<sup>ind</sup><sub>EPS</sub>

A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	Provete 1			Provete 2			Provete 3			$\Delta M/s$ Médio(kg/m <sup>2</sup> )
	Tempo (min)	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	$\Delta M/s$ (kg/m <sup>2</sup> )	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	$\Delta M/s$ (kg/m <sup>2</sup> )	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	
0	0,054	0,000	0,000	0,053	0,000	0,000	0,052	0,000	0,000	0,000
10	0,063	0,010	6,000	0,062	0,010	6,000	0,063	0,011	6,813	6,000
45	0,069	0,016	9,813	0,068	0,015	9,563	0,068	0,016	10,188	9,813
90	0,073	0,019	12,063	0,072	0,019	11,750	0,071	0,020	12,188	12,063
120	0,075	0,021	13,250	0,073	0,020	12,625	0,073	0,021	13,125	13,125
150	0,076	0,023	14,313	0,075	0,022	13,688	0,074	0,022	13,875	13,875
180	0,078	0,024	15,250	0,076	0,023	14,625	0,076	0,024	14,813	14,813
210	0,079	0,026	16,000	0,077	0,025	15,375	0,077	0,025	15,563	15,563
480	0,085	0,032	19,688	0,083	0,031	19,063	0,083	0,031	19,250	19,250
1440	0,096	0,042	26,313	0,094	0,041	25,625	0,093	0,041	25,500	25,625
2880	0,097	0,043	27,063	0,095	0,042	26,438	0,094	0,042	26,250	26,438
4320	0,097	0,043	27,063	0,095	0,042	26,438	0,094	0,042	26,313	26,438
10080	0,099	0,045	28,125	0,097	0,044	27,438	0,096	0,044	27,375	27,438
11520	0,099	0,045	28,125	0,097	0,044	27,438	0,096	0,044	27,375	27,438
12960	0,099	0,045	28,125	0,097	0,044	27,438	0,096	0,044	27,375	27,438

Tabela A.4.7 2 - Resultados individuais da absorção de água por capilaridade da argamassa B<sup>ind</sup><sub>EPS</sub>

B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	Provete 1			Provete 2			Provete 3			ΔM/s Médio(kg/m <sup>2</sup> )
Tempo (min)	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	ΔM/s (kg/m <sup>2</sup> )	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	ΔM/s (kg/m <sup>2</sup> )	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	ΔM/s (kg/m <sup>2</sup> )	
0	0,112	0,000	0,000	0,112	0,000	0,000	0,113	0,000	0,000	0,000
10	0,115	0,003	1,875	0,115	0,003	1,875	0,116	0,003	1,750	1,750
45	0,117	0,004	3,063	0,117	0,005	3,063	0,118	0,005	3,125	3,063
90	0,118	0,005	3,813	0,118	0,006	3,813	0,120	0,006	3,875	3,813
120	0,118	0,006	4,125	0,119	0,007	4,125	0,120	0,007	4,250	4,125
150	0,119	0,007	4,500	0,120	0,007	4,500	0,121	0,007	4,563	4,500
180	0,120	0,007	4,938	0,120	0,008	4,938	0,121	0,008	5,000	4,938
210	0,120	0,008	5,250	0,121	0,008	5,250	0,122	0,008	5,313	5,250
480	0,121	0,009	5,975	0,122	0,010	5,975	0,123	0,010	6,037	5,975
1440	0,125	0,013	8,563	0,126	0,014	8,563	0,127	0,014	8,688	8,563
2880	0,128	0,016	10,375	0,129	0,017	10,375	0,130	0,016	10,250	10,250
4320	0,129	0,017	11,188	0,130	0,018	11,188	0,131	0,018	10,938	10,938
10080	0,133	0,021	13,063	0,133	0,021	13,063	0,134	0,021	12,813	13,063
11520	0,134	0,022	13,313	0,134	0,021	13,313	0,134	0,021	12,938	13,313
12960	0,134	0,022	13,750	0,134	0,022	13,750	0,135	0,021	13,250	13,563

Tabela A.4.7 3 - Resultados individuais da absorção de água por capilaridade da argamassa C<sup>ind</sup><sub>Cort</sub>

C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	Provete 1			Provete 2			Provete 3			ΔM/s Médio(kg/m <sup>2</sup> )
Tempo (min)	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	ΔM/s (kg/m <sup>2</sup> )	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	ΔM/s (kg/m <sup>2</sup> )	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	ΔM/s (kg/m <sup>2</sup> )	
0	0,214	0,000	0,000	0,215	0,000	0,000	0,214	0,000	0,000	13,531
10	0,215	0,001	0,625	0,216	0,001	0,750	0,215	0,001	0,625	13,844
45	0,216	0,002	1,125	0,217	0,002	1,063	0,216	0,002	1,125	14,625
90	0,216	0,002	1,438	0,217	0,002	1,375	0,217	0,003	1,563	14,781
120	0,217	0,003	1,625	0,218	0,003	1,688	0,217	0,003	1,812	14,875
150	0,217	0,003	1,812	0,218	0,003	1,875	0,218	0,003	1,937	1,812
180	0,217	0,003	1,937	0,218	0,003	1,937	0,218	0,003	2,125	1,937
210	0,217	0,003	2,063	0,219	0,004	2,188	0,218	0,004	2,250	2,063
240	0,217	0,003	2,125	0,219	0,004	2,250	0,218	0,004	2,312	1,063
270	0,218	0,004	2,250	0,219	0,004	2,375	0,218	0,004	2,437	2,063
480	0,218	0,004	2,712	0,220	0,005	2,837	0,219	0,005	2,900	2,887
1440	0,221	0,007	4,500	0,223	0,008	4,712	0,222	0,007	4,687	4,156
2730	0,225	0,011	6,625	0,227	0,012	7,250	0,226	0,011	7,000	5,375
3150	0,225	0,011	6,750	0,227	0,012	7,500	0,226	0,011	7,125	5,625
4170	0,226	0,012	7,375	0,229	0,014	8,438	0,227	0,013	8,000	6,156
5610	0,227	0,013	8,125	0,230	0,015	9,250	0,229	0,014	8,813	6,688
7050	0,228	0,014	8,750	0,231	0,016	10,000	0,230	0,015	9,500	7,362
8490	0,229	0,015	9,375	0,232	0,017	10,688	0,231	0,016	10,188	8,969
12729	0,231	0,017	10,750	0,234	0,019	12,063	0,233	0,018	11,375	10,563
14169	0,232	0,018	11,000	0,235	0,020	12,313	0,233	0,019	11,625	11,094
15609	0,232	0,018	11,250	0,235	0,020	12,625	0,233	0,019	11,875	12,156
17049	0,232	0,018	11,438	0,236	0,021	12,875	0,234	0,019	12,063	12,375



Tabela A.4.7 4 - Resultados individuais da absorção de água por capilaridade da argamassa  $D_{Cort}^{ind}$

$D_{Cort}^{ind}$	Provete 1			Provete 2			Provete 3			$\Delta M/s$ Médio(kg/m <sup>2</sup> )
Tempo (min)	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	$\Delta M/s$ (kg/m <sup>2</sup> )	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	$\Delta M/s$ (kg/m <sup>2</sup> )	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	$\Delta M/s$ (kg/m <sup>2</sup> )	
0	0,176	0,000	0,000	0,174	0,000	0,000	0,177	0,000	0,000	0,000
10	0,181	0,005	3,188	0,179	0,005	3,000	0,181	0,005	3,000	3,000
45	0,185	0,009	5,625	0,182	0,008	5,188	0,185	0,009	5,500	5,500
90	0,188	0,012	7,438	0,185	0,011	6,813	0,188	0,012	7,187	7,187
120	0,189	0,014	8,437	0,186	0,012	7,750	0,190	0,013	8,188	8,188
150	0,190	0,015	9,187	0,187	0,014	8,563	0,191	0,014	9,000	9,000
180	0,192	0,016	9,938	0,189	0,015	9,313	0,192	0,016	9,750	9,750
210	0,193	0,017	10,563	0,190	0,016	9,938	0,193	0,017	10,375	10,375
480	0,197	0,021	13,293	0,194	0,020	12,674	0,197	0,024	12,125	12,983
1440	0,212	0,037	23,000	0,210	0,036	22,625	0,214	0,038	23,438	23,000
2880	0,228	0,052	32,563	0,226	0,052	32,500	0,230	0,054	33,500	32,563
4320	0,239	0,064	39,688	0,237	0,063	39,563	0,242	0,065	40,563	39,688
10080	0,254	0,079	49,125	0,252	0,078	48,625	0,256	0,080	49,813	49,125
11520	0,255	0,080	49,875	0,253	0,079	49,375	0,258	0,081	50,688	49,875
12960	0,257	0,081	50,688	0,254	0,080	50,125	0,259	0,082	51,438	50,688

Tabela A.4.7 5 - Resultados individuais da absorção de água por capilaridade da argamassa de referência (E<sup>Ref</sup>)

E <sup>ref</sup>	Provete 1			Provete 2			Provete 3			ΔM/s Médio(kg/m <sup>2</sup> )
Tempo (min)	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	ΔM/s (kg/m <sup>2</sup> )	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	ΔM/s (kg/m <sup>2</sup> )	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	ΔM/s (kg/m <sup>2</sup> )	
0	0,490	0,000	0,000	0,483	0,000	0,000	0,487	0,000	0,000	0,000
10	0,496	0,496	3,375	0,489	0,006	3,563	0,492	0,006	3,438	3,438
45	0,500	0,996	6,125	0,493	0,010	6,375	0,497	0,010	6,375	6,375
90	0,503	1,499	7,875	0,496	0,013	8,188	0,500	0,013	8,313	8,188
120	0,505	2,004	8,875	0,498	0,015	9,125	0,502	0,015	9,438	9,125
150	0,506	2,510	9,688	0,499	0,016	10,000	0,503	0,016	10,250	10,000
180	0,507	3,017	10,438	0,500	0,017	10,750	0,504	0,018	11,000	10,750
210	0,508	3,525	11,063	0,501	0,018	11,375	0,505	0,019	11,625	11,375
480	0,512	4,037	13,681	0,505	0,022	13,994	0,509	0,023	14,244	13,994
1440	0,527	4,564	23,000	0,521	0,038	23,563	0,525	0,038	23,688	23,563
2880	0,531	5,095	25,063	0,524	0,041	25,313	0,527	0,040	25,188	25,188
4320	0,531	5,625	25,188	0,529	0,046	28,563	0,527	0,041	25,375	25,375
10080	0,532	6,157	25,875	0,525	0,042	26,000	0,528	0,042	25,938	25,938
11520	0,532	6,689	25,875	0,525	0,042	26,188	0,528	0,042	26,000	26,000
12960	0,532	7,221	26,000	0,525	0,042	26,313	0,528	0,042	26,125	26,125

Tabela A.4.7 6 - Resultados individuais da absorção de água por capilaridade da argamassa  $F_{Cort}^{rad}$

$F_{Cort}^{rad}$	Provete 1			Provete 2			Provete 3			$\Delta M/s$ Médio(kg/m <sup>2</sup> )
Tempo (min)	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	$\Delta M/s$ (kg/m <sup>2</sup> )	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	$\Delta M/s$ (kg/m <sup>2</sup> )	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	$\Delta M/s$ (kg/m <sup>2</sup> )	
0	0,216	0,000	0,000	0,211	0,000	0,000	0,221	0,000	0,000	0,000
10	0,220	0,004	2,437	0,216	0,005	2,813	0,225	0,005	2,938	2,813
45	0,225	0,009	5,437	0,219	0,008	5,250	0,229	0,009	5,313	5,313
90	0,228	0,011	7,063	0,222	0,011	6,813	0,232	0,011	6,875	6,875
120	0,229	0,013	7,875	0,223	0,012	7,688	0,233	0,013	7,813	7,813
150	0,230	0,014	8,688	0,225	0,014	8,438	0,234	0,014	8,500	8,500
180	0,231	0,015	9,500	0,226	0,015	9,250	0,235	0,015	9,313	9,313
210	0,233	0,017	10,313	0,227	0,016	10,063	0,237	0,016	10,125	10,125
480	0,237	0,021	12,813	0,231	0,020	12,563	0,241	0,020	12,625	12,625
1440	0,249	0,033	20,688	0,243	0,032	19,938	0,254	0,033	20,688	20,688
2880	0,262	0,045	28,313	0,255	0,044	27,688	0,266	0,046	28,563	28,313
4320	0,266	0,050	31,188	0,260	0,049	30,563	0,271	0,050	31,438	31,188
10080	0,275	0,059	36,625	0,268	0,057	35,813	0,280	0,059	36,938	36,625
11520	0,276	0,060	37,313	0,269	0,058	36,438	0,281	0,060	37,563	37,313
12960	0,277	0,061	37,938	0,270	0,059	37,000	0,282	0,061	38,188	37,938

Tabela A.4.7 7 - Resultados individuais da absorção de água por capilaridade da argamassa  $G_{EPS}^{trad}$

$G_{EPS}^{trad}$	Provete 1			Provete 2			Provete 3			$\Delta M/s$ Médio(kg/m <sup>2</sup> )
Tempo (min)	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	$\Delta M/s$ (kg/m <sup>2</sup> )	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	$\Delta M/s$ (kg/m <sup>2</sup> )	Massa (kg)	Água absorvida acumulada (kg)	$\Delta M/s$ (kg/m <sup>2</sup> )	
0	0,175	0,000	0,000	0,165	0,000	0,000	0,170	0,000	0,000	0,000
10	0,177	0,002	1,238	0,166	0,002	0,944	0,172	0,001	0,838	0,944
45	0,179	0,004	2,425	0,168	0,003	2,006	0,173	0,003	1,775	2,006
90	0,180	0,005	3,113	0,168	0,004	2,319	0,174	0,004	2,275	2,319
120	0,181	0,006	3,488	0,169	0,005	2,819	0,174	0,004	2,650	2,819
150	0,181	0,006	3,800	0,170	0,005	3,069	0,175	0,005	2,837	3,069
180	0,181	0,006	4,050	0,170	0,005	3,194	0,175	0,005	3,025	3,194
210	0,182	0,007	4,363	0,170	0,005	3,381	0,175	0,005	3,213	3,381
240	0,182	0,007	4,613	0,170	0,006	3,506	0,176	0,005	3,400	3,506
270	0,183	0,008	4,800	0,171	0,006	3,756	0,176	0,006	3,588	3,756
300	0,183	0,008	4,988	0,171	0,006	3,881	0,176	0,006	3,713	3,881
480	0,183	0,008	5,263	0,171	0,007	4,156	0,177	0,006	3,988	4,156
1320	0,189	0,014	8,800	0,175	0,010	6,194	0,181	0,010	6,525	6,525
1680	0,190	0,015	9,175	0,175	0,010	6,506	0,181	0,011	6,713	6,713
2700	0,192	0,017	10,000	0,176	0,012	7,319	0,183	0,012	7,775	7,775
4080	0,194	0,019	10,400	0,178	0,014	8,506	0,184	0,014	8,713	8,713
5700	0,196	0,021	10,800	0,179	0,015	9,194	0,185	0,015	9,400	9,400
7140	0,197	0,022	10,900	0,180	0,015	9,319	0,186	0,015	9,588	9,588

## Anexo A4.8 – Ensaio de absorção de água sob baixa pressão – Tubo de *Karsten*

Tabela A.8. 1 - Valores individuais do ensaio de absorção de água sob baixa pressão-Tubo de *Karsten*, das argamassas A<sup>ind</sup><sub>EPS</sub> e B<sup>ind</sup><sub>EPS</sub>

A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	Tijolo 1		Tijolo 2		B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	Tijolo 1		Tijolo 2		
	Tubo Karsten 1	Tubo Karsten 2	Tubo Karsten 3	Tubo Karsten 4		Tempo (min)	Tubo Karsten 1	Tubo Karsten 2	Tubo Karsten 3	Tubo Karsten 4
	Absorção (cm <sup>3</sup> )		Absorção (cm <sup>3</sup> )			Absorção (cm <sup>3</sup> )		Absorção (cm <sup>3</sup> )		
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	Deficiente isolamento do tubo de <i>Karsten</i>	
5	0,70	0,90	0,90	0,90	5	0,30	0,30	0,20		
10	0,50	0,70	0,80	0,90	10	0,20	0,10	0,20		
15	0,50	0,60	0,70	0,70	15	0,10	0,10	0,10		
30	1,40	1,60	1,80	1,80	30	0,20	0,20	0,20		
60	2,10	2,50	3,00	2,80	60	0,20	0,20	0,20		
Absorção total (cm <sup>3</sup> )	5,20	6,30	7,20	7,10	Absorção total (cm <sup>3</sup> )	1,00	0,90	0,90		
Absorção Total Média (cm <sup>3</sup> )	6,70				Absorção Total Média (cm <sup>3</sup> )	0,90				
DP (cm <sup>3</sup> )	0,80				DP (cm <sup>3</sup> )	0,05				
CV (%)	11,96				CV (%)	5,24				

A.4.8. 1 - - Valores individuais do ensaio de absorção de água sob baixa pressão-Tubo de Karsten, das argamassas  $C_{Cort}^{ind}$  e  $D_{Cort}^{ind}$

$C_{Cort}^{ind}$	Tijolo 1		Tijolo 2		$D_{Cort}^{ind}$	Tijolo 1		Tijolo 2	
Tempo (min)	Tubo Karsten 1	Tubo Karsten 2	Tubo Karsten 3	Tubo Karsten 4	Tempo (min)	Tubo Karsten 1	Tubo Karsten 2	Tubo Karsten 3	Tubo Karsten 4
	Absorção (cm <sup>3</sup> )		Absorção (cm <sup>3</sup> )			Absorção (cm <sup>3</sup> )		Absorção (cm <sup>3</sup> )	
0	0,00	0,00	0,00	Deficiente isolamento do tubo de <i>Karsten</i>	0	0,00	0,00	0,00	Deficiente isolamento do tubo de <i>Karsten</i>
5	0,20	0,10	0,20		5	0,20	0,10	0,20	
10	0,10	0,10	0,10		10	0,20	0,10	0,20	
15	0,00	0,00	0,10		15	0,20	0,10	0,20	
30	0,10	0,10	0,00		30	0,20	0,20	0,40	
60	0,00	0,00	0,10		60	0,40	0,40	0,60	
Absorção total (cm <sup>3</sup> )	0,40	0,30	0,50		Absorção total (cm <sup>3</sup> )	1,20	0,90	1,60	
Absorção Total Média (cm <sup>3</sup> )	0,40			Absorção Total Média (cm <sup>3</sup> )	1,20				
DP (cm <sup>3</sup> )	0,08			DP (cm <sup>3</sup> )	0,29				
CV (%)	20,41			CV (%)	23,90				

A.4.8. 2 - Valores individuais do ensaio de absorção de água sob baixa pressão-Tubo de *Karsten*, da argamassa de referência ( $E^{ref}$ )

$E^{ref}$	Tijolo 1		Tijolo 2	
Tempo (min)	Tubo Karsten 1	Tubo Karsten 2	Tubo Karsten 3	Tubo Karsten 4
	Absorção (cm <sup>3</sup> )		Absorção (cm <sup>3</sup> )	
0	0,00	0,00	0,00	Deficiente isolamento do tubo de <i>Karsten</i>
5	0,30	0,30	0,30	
10	0,20	0,10	0,10	
15	0,20	0,10	0,10	
30	0,40	0,30	0,30	
60	0,70	0,60	0,60	
Absorção total (cm <sup>3</sup> )	1,80	1,40	1,40	
Absorção Total Média (cm <sup>3</sup> )	1,40			
DP (cm <sup>3</sup> )	0,19			
CV (%)	13,47			

A.4.8. 3 - Valores individuais do ensaio de absorção de água sob baixa pressão-Tubo de Karsten, das argamassas  $F_{Cort}^{trad}$  e  $G_{EPS}^{trad}$

$F_{Cort}^{trad}$	Tijolo 1		Tijolo 2		$G_{EPS}^{trad}$	Tijolo 1		Tijolo 2		
	Tubo Karsten 1	Tubo Karsten 2	Tubo Karsten 3	Tubo Karsten 4		Tempo (min)	Tubo Karsten 1	Tubo Karsten 2	Tubo Karsten 3	Tubo Karsten 4
	Absorção (cm <sup>3</sup> )		Absorção (cm <sup>3</sup> )			Absorção (cm <sup>3</sup> )		Absorção (cm <sup>3</sup> )		
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
5	0,10	0,10	0,20	0,20	5	0,20	0,30	0,20	0,20	
10	0,00	0,10	0,00	0,00	10	0,10	0,10	0,20	0,10	
15	0,00	0,00	0,00	0,00	15	0,10	0,10	0,10	0,20	
30	0,00	0,00	0,10	0,20	30	0,10	0,10	0,10	0,10	
60	0,10	0,10	0,20	0,10	60	0,30	0,30	0,20	0,30	
Absorção total (cm <sup>3</sup> )	0,20	0,30	0,50	0,50	Absorção total (cm <sup>3</sup> )	0,80	0,90	0,80	0,90	
Absorção Total Média (cm <sup>3</sup> )	0,40				Absorção Total Média (cm <sup>3</sup> )	0,85				
DP (cm <sup>3</sup> )	0,13				DP (cm <sup>3</sup> )	0,05				
CV (%)	32,48				CV (%)	5,88				



## Anexo A4.9 – Coeficiente de Condutibilidade Térmica

A.4.9 1 - Resultados individuais do coeficiente de condutibilidade térmica, aos 28 dias de idade

Argamassas	Provetes Tipo-1 (Isomet 2114)						Proveto Tipo-2		Modelo argamassa+tijolo	
	P1		P2		P3		Isomet 2114	Rapid-K	P1	P2
	Face 1	Face2	Face 1	Face2	Face 1	Face2			Isomet 2114	
A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	0,06	0,07	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,10	0,05	0,06
B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	0,09	0,10	0,10	0,11	0,10	0,08	0,11	0,14	0,08	0,09
C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	0,21	0,20	0,24	0,23	0,23	0,25	0,28	0,30	0,22	0,22
D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	0,14	0,15	0,13	0,12	0,14	0,14	0,17	0,17	0,13	0,14
E <sup>Ref</sup>	1,35	1,30	1,40	1,30	1,35	1,40	1,35	-	1,30	1,30
F <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>	0,28	0,26	0,25	0,26	0,27	0,28	0,26	0,30	0,27	0,26
G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>	0,27	0,15	0,29	0,19	0,28	0,17	0,26	0,28	0,08	0,09

A.4.9 2 - Resultados individuais do coeficiente de condutibilidade térmica, aos 14 dias de idade

Argamassas	Provetes Tipo-1 (Isomet 2114)			Proveto Tipo-2		Modelo argamassa+tijolo	
	P1	P2	P3	Isomet 2114	Rapid-K	P1	P2
						Isomet 2114	
A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	0,07	0,07	0,07	0,07	0,14	0,06	0,06
B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	0,12	0,11	0,11	0,15	0,23	0,09	0,10
C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	0,25	0,23	0,23	0,29	0,34	0,26	0,24
D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	0,16	0,16	0,16	0,23	0,25	0,16	0,15
E <sup>Ref</sup>	1,37	1,60	1,40	1,40	-	1,30	1,40
F <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>	0,30	0,29	0,29	0,40	0,50	0,28	0,29
G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>	0,28	0,29	0,29	0,29	0,30	0,09	0,10

A.4.9.3 - Resultados individuais do coeficiente de condutibilidade térmica, com os provetes saturados

Argamassas	Provetes Tipo-1 (Isomet 2114)		
	P1	P2	P3
A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	0,33	0,33	0,34
B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	0,29	0,30	0,30
C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	0,32	0,33	0,33
D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	0,26	0,27	0,26
E <sup>Ref</sup>	2,07	2,00	2,02
F <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>	0,69	0,67	0,68
G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>	0,30	0,32	0,30

A.4.9.4 - Resultados individuais do coeficiente de condutibilidade térmica, dos provetes secos

Argamassas	Provetes Tipo-1 (Isomet 2114)			Proveto Tipo-2		Modelo argamassa+tijolo	
	P1	P2	P3	Isomet 2114	Rapid-K	P1	P2
						Isomet 2114	
A <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	0,06	0,06		0,05	0,07	-	-
B <sup>ind</sup> <sub>EPS</sub>	0,08	0,09		0,09	0,10	-	-
C <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	0,17	0,17		0,21	0,27	-	-
D <sup>ind</sup> <sub>Cort</sub>	0,12	0,12		0,14	0,15	-	-
E <sup>Ref</sup>	1,30	1,30		1,30	-	-	-
F <sup>Trad</sup> <sub>Cort</sub>	0,24	0,23		0,25	0,26	-	-
G <sup>Trad</sup> <sub>EPS</sub>	0,22	0,23		0,21	0,24	-	-

