

# **APLICAÇÃO DE ARGAMASSAS LEVES DE REBOCO E ASSENTAMENTO EM ALVENARIAS**

**ARMINDO JOSÉ COELHO DE SOUSA**

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

---

Orientador: Professor Doutor Hipólito José Campos de Sousa

MARÇO DE 2010

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

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

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

Aos meus Pais



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos os que prestaram um contributo para a realização deste trabalho, que marca uma etapa importante no meu percurso académico e revelou ser muito significativo na minha formação pessoal. Assim sendo, presto os meus agradecimentos:

Ao Prof. Doutor Hipólito Sousa por toda a disponibilidade, ajuda e orientação prestada na concretização deste trabalho.



## **RESUMO**

A inovação tecnológica assume cada vez maior importância na construção civil. A busca de novos materiais tem ganhado um lugar de destaque no contexto da investigação. Actualmente o esforço existente para a melhoria do desempenho das alvenarias está orientado para uma maior economia de energia e melhoria das condições de conforto. Neste contexto as argamassas leves podem surgir como uma alternativa inteligente às argamassas correntes, dadas as vantagens dos materiais de baixa densidade: maior rapidez de construção, redução de custos e facilidade no transporte, bom isolamento térmico e acústico. Assim sendo, neste trabalho pretende-se avaliar o contributo das argamassas - leves para o desempenho dos elementos onde estão integrados, apresentando-se uma sistematização do conhecimento existente. Faz-se uma síntese da normalização sobre argamassas e seus constituintes. Definem-se as características das argamassas – leves. Analisa-se uma solução prática inovadora (reboco isolante) existente no mercado. Deste modo, apresenta-se uma fundamentada caracterização das argamassas leves avaliando as suas vantagens da sua aplicação no reboco e assentamento de alvenarias.

**PALAVRAS-CHAVE:** argamassas, argamassas leves, revestimento, assentamento, alvenarias.



## **ABSTRACT**

Technological innovation is increasingly gaining importance in the construction industry. The search for new materials has gained a prominent place in the context of research. Currently the existing effort to improve the performance of masonry is oriented to greater energy savings and improved comfort conditions. In this context, lightweight mortars may arise as a smart alternative to common mortars, given the advantages of low-density materials: faster construction, reduced costs and convenient transportation, good thermal and acoustic insulation. Therefore, this study aims to assess the contribution of lightweight mortars for the performance of the elements which are integrated, presenting a systematization of existing knowledge. It is a summary of standardization of mortars and their constituents. It presents the characteristics of lightweight mortars. It analyzes an innovative practical solution (insulating plaster) on the market. Thus, the aim of this work is the characterization of lightweight mortars evaluating the advantages of its application in plaster and masonry settlement.

**KEYWORDS:** mortars, lightweight mortars, plaster, settlement, masonry.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS</b> .....	1
1.1.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO .....	2
1.1.2. CONTEXTO ACTUAL E OBJECTIVOS .....	4
<b>1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO</b> .....	5
<b>2. ARGAMASSAS - CARACTERIZAÇÃO</b> .....	7
<b>2.1. GENERALIDADES E CONCEITOS</b> .....	7
2.1.1. FUNÇÕES E PROPRIEDADES .....	7
2.1.2. SITUAÇÃO ACTUAL DO SECTOR EM PORTUGAL.....	8
<b>2.2. CONTEÚDOS NORMATIVOS</b> .....	10
2.2.1. CLASSIFICAÇÃO .....	10
2.2.2. ARGAMASSAS DE REBOCO .....	11
2.2.2.1. Exigências funcionais.....	12
2.2.2.2. Exigências normativas .....	12
2.2.3. ARGAMASSAS DE ALVENARIA .....	17
2.2.3.1. Exigências funcionais.....	17
2.2.3.2. Exigências normativas .....	18
<b>2.3. CARACTERIZAÇÃO DOS CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS</b> .....	20
2.3.1. AGREGADOS .....	20
2.3.1.1. Classificação dos agregados .....	21
2.3.1.2. Propriedades dos agregados .....	24
2.3.2. LIGANTES .....	29
2.3.2.1. Ligantes de cal .....	29
2.3.2.2. Ligantes de gesso .....	32
2.3.2.3. Ligantes de cimento .....	33
2.3.3. ADJUVANTES E ADIÇÕES .....	36
2.3.3.1. Adjuvantes.....	36

2.3.3.2. Adições.....	39
2.3.3.3. Água .....	40
<b>3. ARGAMASSAS LEVES .....</b>	<b>41</b>
<b>3.1. MICROESTRUTURA POROSA DAS ARGAMASSAS.....</b>	<b>41</b>
3.1.1. INFLUÊNCIA NO SEU COMPORTAMENTO .....	41
<b>3.2. RELAÇÃO ENTRE ESTRUTURA POROSA E COMPONENTES ARGAMASSAS .....</b>	<b>44</b>
3.2.1. INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS .....	44
3.2.2. INFLUÊNCIA DOS LIGANTES .....	45
3.2.3. INFLUÊNCIA DA CURA .....	45
<b>3.3. CARACTERIZAÇÃO COMPORTAMENTAL DAS ARGAMASSAS LEVES .....</b>	<b>46</b>
<b>3.4. OS AGREGADOS LEVES .....</b>	<b>48</b>
3.4.1. ARGILA EXPANDIDA.....	48
3.4.2. XISTO EXPANDIDO .....	50
3.4.3. VERMICULITE EXPANDIDA.....	50
3.4.4. PERLITE EXPANDIDA .....	52
3.4.5. PEDRA - POMES.....	54
3.4.6. ESCÓRIA DE ALTO – FORNO EXPANDIDA.....	55
3.4.7. CINZAS VOLANTES.....	57
3.4.8. POZOLANAS.....	58
3.4.9. POLIESTIRENO EXPANDIDO.....	59
3.4.10. VIDRO EXPANDIDO.....	59
3.4.11. AGREGADOS ORGÂNICOS.....	60
<b>3.5. INFLUÊNCIA DO AGREGADO LEVE NA MICROESTRUTURA POROSA DAS ARGAMASSAS.....</b>	<b>61</b>
<b>3.6. ESTUDOS EXISTENTES DE FORMULAÇÕES DE ARGAMASSAS LEVES .....</b>	<b>63</b>
<b>4. ARGAMASSA NO DESEMPENHO DA ALVENARIA.....</b>	<b>67</b>
4.1. RELAÇÃO ENTRE AS FUNÇÕES DAS ARGAMASSAS E AS SUAS PROPRIEDADES .....	68
4.2. DESEMPENHO DAS ARGAMASSAS LEVES NAS PAREDES DE ALVENARIA.....	80
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>81</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>84</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Coliseu de Roma .....	2
Fig.2 – Transporte de cimento a granel .....	4
Fig.3 – Fábrica de argamassas industriais .....	4
Fig.4 – Argamassa de reboco .....	11
Fig.5 – Mesa de espalhamento .....	13
Fig.6 – Sonda de Vicat .....	14
Fig.7 – Material utilizado para o ensaio de determinação da retenção de água .....	14
Fig.8 – Medição de volumes de ar .....	15
Fig.9 – Argamassa para assentamento de alvenarias.....	17
Fig.10 – Diferentes tipos de agregados .....	20
Fig.11 – Exploração de maciço rochoso para obtenção de agregados.....	21
Fig.12 – Análise granulométrica de agregados.....	26
Fig.13 – Estudo de forma das partículas de agregados .....	27
Fig.14 – Cimento Portland.....	29
Fig.15 – Cal .....	29
Fig.16 – Reboco em gesso .....	32
Fig.17 – Preparação de cimento .....	33
Fig.18 – Diferentes tipos de microestruturas porosas de argamassas.....	41
Fig.19 – Zona de interface entre pasta de cimento e agregado .....	43
Fig.20 – Determinação de valor assintótico para um conjunto de argamassas .....	47
Fig.21 – Argila Expandida .....	48
Fig.22 – Xisto (matéria – prima).....	50
Fig.23 – Microestrutura da vermiculite expandida .....	51
Fig.24 – Vermiculite.....	51
Fig.25 – Perlite .....	52
Fig.26 – Microestrutura da perlite expandida.....	53
Fig.27 – Pedra - Pomes .....	54
Fig.28 – Extração da escória de alto – forno .....	55
Fig.29 – Microestrutura das cinzas volantes .....	57
Fig.30 – Pozolanas.....	58
Fig.31 – Poliestireno expandido.....	59
Fig.32 – Vidro expandido .....	59
Fig.33 – Granulado de cortiça.....	60

Fig.34 – Argamassa de agregado normal.....	62
Fig.35 – Argamassa de agregado leve .....	62
Fig.36 – Estrutura porticada de betão armado.....	67
Fig.37 – Exemplo de uma máquina pull – off .....	72
Fig.38 – Revestimento de argamassa .....	72
Fig.39 – Assentamento de alvenaria.....	73
Fig.40 – Sistema ETICS.....	77

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Sector das Argamassas em Portugal .....	8
Tabela 2 - Argamassas fabris secas em Portugal, por famílias.....	9
Tabela 3 - Argamassas secas em Portugal, por tipo de fornecimento .....	9
Tabela 4 - Classificação funcional de revestimentos de paredes segundo LNEC .....	12
Tabela 5 - Classificação para as propriedades das argamassas de reboco endurecidas (EN 998-1) .....	15
Tabela 6 - Síntese dos requisitos normativos para argamassas de reboco endurecidas (EN 998-1) .....	16
Tabela 7- Classes de resistência à compressão para argamassas de alvenaria.....	18
Tabela 8 – Requisitos normativos para argamassas de alvenaria endurecidas .....	19
Tabela 9 - Classificação de agregados de acordo com a origem.....	21
Tabela 10 - Classificação petrográfica de agregados.....	22
Tabela 11 - Classificação de agregados de acordo com a densidade .....	22
Tabela 12 - classificação de agregados de acordo com a baridade.....	23
Tabela 13 classificação de agregados de acordo com as dimensões.....	24
Tabela 14 - limites de granulometria (sobretamanhos e subtamanhos) para agregados .....	26
Tabela 15 - limites para o teor de finos .....	27
Tabela 16 - Requisitos físicos e químicos dos agregados.....	28
Tabela 17 - Tipos de cal de construção (NP EN 459 -1) .....	30
Tabela 18 - Resistência à compressão de cal hidráulica (NP EN 459-1; 2002).....	31
Tabela 19 - Tipos de cimentos fabricados em Portugal.....	35
Tabela 20 - Classes de resistência e requisitos físicos dos cimentos .....	35
Tabela 21 - Valores médios dos parâmetros de maior relevo do cimento.....	36
Tabela 22 - Definição do valor de espalhamento (EN1015-2: 1998).....	40
Tabela 23- Composição química das argilas com propriedades expansivas.....	49
Tabela 24 - Características da argila expandida.....	49
Tabela 25 - Características do xisto expandido .....	50
Tabela 26 - Composição química da vermiculite .....	51
Tabela 27 - Características da vermiculite expandida .....	52
Tabela 28 - Composição química da perlite.....	53
Tabela 29 - Características da perlite expandida.....	54
Tabela 30 - Composição química da pedra-pomes .....	55
Tabela 31 – Características da pedra – pomes .....	55

Tabela 32 – Composição química da escória de alto-forno expandida .....	56
Tabela 33 - Características da escória de alto-forno expandida .....	56
Tabela 34 - Composição química das cinzas volantes .....	57
Tabela 35 - Características das cinzas volantes.....	58
Tabela 36 - Composição química das Pozolanas.....	58
Tabela 37 - Características do poliestireno extrudido.....	59
Tabela 38 - Proporções da mistura para argamassa leve e argamassa normal .....	61
Tabela 39 - Características do cimento usado nas misturas .....	61
Tabela 40 - Propriedades das argamassas para assentamento e revestimento de alvenarias.....	75
Tabela 41 - Coeficientes de transmissão térmica U ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) de paredes de alvenaria .....	78

## **SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

IRA- Taxa inicial de absorção de água livre ( $\text{g}/200\text{cm}^2/\text{min}$ )

mu – massa húmida (g)

ms – massa seca (g)

i- volume de água absorvida por unidade de área ( $\text{g}/\text{mm}^2$ )

S- coeficiente de absorção de água ( $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1/2}$ )

t- tempo (min)

U- coeficiente de transmissão térmica ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$ )

$\lambda$ - coeficiente de condutibilidade térmica ( $\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ )

$\mu$ - coeficiente de permeabilidade ao vapor de água

APFAC – Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção

LNEC- Laboratório Nacional de Engenharia Civil

EN – Norma Europeia

ITZ – interfacial transition zone

SEM – Microscopia Electrónica de varrimento

RCCTE- Regulamento das Características de Comportamento Térmico em Edifícios

LECA – Argila Expandida



# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS

#### 1.1.1 ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

As argamassas são utilizadas desde sempre na construção, ocorrendo o seu uso desde há milhares de anos como material de assentamento e revestimento. As primeiras utilizações estão referenciadas na bibliografia datando como de há 10 mil anos de existência, sendo materiais constituídos à base de cal, cozidos posteriormente em fornos rudimentares. Os componentes de argamassas históricos são a cal aérea, o gesso, as pozolanas, a cal hidráulica e mais tarde os ligantes hidráulicos, e, por último, o cimento portland [1].

A fabricação da cal era familiar à maior parte dos povos da antiguidade, de uma forma universal. Os ligantes das argamassas mais antigas consistiam numa mistura de argilas calcinadas moídas e misturadas com cal para consolidação das alvenarias e em elaboração de rebocos [2]. A inovação na formulação de argamassas acontece com os povos romanos, que melhoraram a cozedura destas e iniciam a selecção dos seus componentes. O material obtido tem assim maior durabilidade.

Um incidente geológico, uma erupção vulcânica, foi uma significativa viragem na formulação de argamassas pois a queda de cinzas em Pozzuoli foi episódio fortuito para utilização destas cinzas, denominadas de pozolanas, componentes que, quando adicionados às argamassas, tornam-nas num material mais duradouro do que os obtidos até então [3]. As grandes obras públicas do Império Romano que hoje conhecemos apresentam material pozolânico que, dada a presença de silicatos de cálcio, conferiu resistência mecânica necessária a estas construções de grande porte [2].



Fig.1 – Coliseu de Roma

O uso de aditivos é também fruto da inventiva deste povo, sendo referidos vários materiais orgânicos na bibliografia.

Reflexo de situações conjunturais de crise, as argamassas de finais do Império Romano e as utilizadas durante a Idade Média são fabricados de modo pobre, com fraca qualidade. Assim, conseqüentemente, são mais significativas a areia e a argila, uma vez que a cal era mais dispendiosa [3].

A construção em zonas marítimas e fluviais acarreta novos desafios para a construção, sendo o episódio relevante que se segue a utilização de ligantes que podem endurecer debaixo de água, isto é, ligantes hidráulicos [4].

No século XVIII, em Inglaterra, John Smeaton investigou a hidraulicidade das argamassas. Estes estudos foram corolário de Vicat que também se dedicou a este tema. Estas argamassas são uma mistura proporcionada de calcário, cal, com pozolanas, a argila, dotando-se assim de impermeabilidade [1].

O cozimento em forno de cimento em temperaturas elevadas, dota-o de características melhoradas em termos de comportamento ligante. Pelo elevar da temperatura no forno, permite-se atingir a zona de clinquerização, caracterizando-se este material por elevada plasticidade, o que o torna muito competitivo na construção. Desde a Inglaterra do século XIX até hoje, ainda é amplamente usado, com a designação de cimento Portland dada a sua semelhança de cor e características com as pedras da ilha de Portland [3].

Com esta metodologia, passou a ser comum utilizar apenas o cimento Portland como ligante, o que trouxe incontornáveis vantagens em relação aos outros materiais até então utilizados na construção, como sendo a redução do tamanho do estaleiro, a menor necessidade de mão-de-obra e o encurtamento dos prazos em obra [1].

Para minorar os inconvenientes do uso de argamassas tradicionais, feitas em obra, garantindo qualidade mais constante aos cimentos a utilizar e permitindo ainda o encurtamento desejável dos prazos e uma menor necessidade de mão-de-obra, a indústria de argamassas na construção civil foi ganhando significado durante o século XX. Este novo sector da indústria nasce na década de sessenta do século passado, apresentando desde aí uma expressão generalizada, sendo responsável pela produção industrial de argamassas.

Estas argamassas secas prontas a aplicar apresentam novas vantagens, ao nível do transporte, sistematização do transporte a granel e mecanização dos sistemas de mistura, surgindo por toda a Europa fabricantes deste material.



Fig.2 – Transporte de cimento a granel

Em Portugal, as primeiras argamassas industriais iniciaram a sua produção na década de 70 do século passado, sendo essencialmente cimentos cola. A produção de monomassas (rebocos em uma única camada com cor na massa) que se estabeleceu no nosso país por esta altura adveio da influência francesa, sendo estes materiais muito utilizados nesse país. De notar que a indústria de construção francesa sempre teve influência marcante na portuguesa [5].

O desenvolvimento de argamassas industriais assume maior expressão nos anos 90 do século passado, nomeadamente os rebocos. Começa por esta altura a delinear-se no nosso país uma forte tendência para a construção nova, em detrimento da reabilitação de edifícios, sendo as zonas urbanas do país as que mais marcadamente sofreram esta tendência. Os edifícios antigos ficam para segundo plano, estando cada vez mais desertificados na sua função habitacional [5].

A viragem do século XX para o século XXI viu surgir, em Portugal, um conjunto significativo de empresas nacionais e multinacionais, sendo que, no ano de 2002, criou-se a Associação Portuguesa de Fabricantes de Argamassas de Construção, APFAC. Esta associação, presentemente, conta com quinze associados fabricantes de argamassas que representam mais de 80% do mercado [6]. Esta associação desde a sua fundação é filiada na EMO, *European Mortar Industry Organization*, que é a Federação Europeia de Fabricantes de Argamassas com sede em Duisburg na Alemanha [5].

Pelo supra citado, denota-se o desenvolvimento crescente deste sector da indústria da construção civil em Portugal, face às exigências da legislação vigente e a conseqüente, e não menos exigente, complexidade do mercado da construção, que também se torna cada vez mais competitivo e variado. Denota-se que o sector das argamassas ganhou peso na indústria da construção civil em Portugal mas não é do âmbito deste trabalho analisar economicamente este crescimento.



Fig.3 – Fábrica de argamassas industriais

De facto as argamassas fabris apresentam inúmeras vantagens em relação às argamassas feitas em obra. As argamassas industriais têm composições estudadas e propriedades consistentes, processos de fabrico rigorosos em que as normas são cumpridas, dotadas de ficha técnica e de segurança, promovendo a produtividade na aplicação e contribuindo para a organização e redução do espaço ocupado pelo estaleiro [5].

Exposto o contexto da utilização destes produtos no nosso país, apresentam-se as argamassas leves como objecto de estudo neste trabalho enquanto solução a empregar no assentamento e revestimento de paredes de alvenaria. De seguida contextualizam-se os factores que levaram à necessidade de utilização de materiais alternativos, como estas argamassas de baixa densidade.

### 1.1.2 CONTEXTO ACTUAL E OBJECTIVOS

A indústria da construção constitui um dos maiores e mais activos sectores económicos em toda a Europa, cuja actividade consome de forma expressiva muitas matérias-primas, consumindo também elevadas quantidades de energia. Os resíduos de construção e demolição representam uma agravante do ponto de vista ecológico deste tipo de actividade, mas grande parte desses resíduos tem a vantagem de poder ser reciclada. Materiais produzidos a partir de resíduos, com elevado nível de reciclagem, mais duráveis, que incorporem menos energia ou que sejam escolhidos mediante uma análise do seu ciclo de vida, constituem soluções que contribuem para uma construção sustentável [7].

Atendendo ao elevado número de soluções e sistemas construtivos disponíveis, urge a selecção do mais adequado, quanto ao tipo de clima, distância até à fonte de recurso, disponibilidade económica, estilo arquitectónico e estética pretendidos [8].

Resumidamente, os factores mais importantes que influenciam a selecção da tecnologia construtiva mais adequada são:

- durabilidade das soluções comparativamente à vida útil projectada para o edifício;
- análise global dos custos da solução (custo inicial, custo de operação, custo de manutenção, custo de reabilitação, custo de demolição/desmantelamento, valor venal, custo de eliminação);
- comportamento térmico – modo como uma solução construtiva condiciona o comportamento térmico do edifício é importante na previsão da quantidade de energia necessária nas operações de aquecimento e arrefecimento (custos económicos e ambientais);
- impacte ambiental de todos os materiais e componentes de construção utilizados, bem como, dos processos de construção associados;
- disponibilidade de materiais no mercado;
- a manutenção esperada;
- a flexibilidade da solução e o seu potencial de reutilização/reciclagem;
- a distância de transporte prevista para cada material e componente.

A inovação tecnológica tem um papel de extrema importância na construção civil devendo merecer especial atenção a busca de novos materiais [8].

Neste contexto reside o interesse deste trabalho, que sugere as argamassas leves como material alternativo a empregar no reboco e assentamento de alvenarias. As vantagens dos materiais de baixa densidade são numerosas, como sendo: redução do peso global, maior rapidez de construção, redução dos custos e maior facilidade no transporte, peso próprio do edifício é reduzido, bom isolamento térmico e acústico. Assim as argamassas leves são materiais sustentáveis dado as emissões de carbono que estão envolvidas no transporte até ao estaleiro se reduzirem significativamente em relação às argamassas normais.

Na Investigação e desenvolvimento tecnológico de argamassas caminham paralelamente a sustentabilidade e a eficiência energética, sendo previsível que as argamassas leves permitirão cumprir estes objectivos dado que, na formulação de argamassas leves é possível a incorporação de resíduos na sua composição.

Assim sendo, os objectivos deste trabalho são:

- sintetizar o conhecimento sobre as argamassas no contexto de edifícios, no que respeita ao seu emprego no assentamento e reboco;

- avaliar o contributo das argamassas para o desempenho dos elementos onde estão integrados, designadamente as paredes de alvenaria;
- sistematizar o conhecimento sobre as argamassas leves, pesquisando informação sobre argamassas disponíveis.

Nesta medida este trabalho é fundamentalmente uma monografia que faz um estado de arte razoavelmente aprofundado num domínio, como o de argamassas leves, relativamente inovador.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Na elaboração deste trabalho pretende-se avaliar, a partir das exigências normativas das argamassas, os campos de aplicação de argamassas leves em alvenarias e as vantagens do seu emprego numa perspectiva exigencial.

O estudo de materiais alternativos e inovadores é cada vez mais importante no contexto actual da indústria da construção civil.

De acordo com Rosário Veiga, a filosofia exigencial é a mais adaptada às situações onde a inovação surge com frequência e implica três passos:

- definição das funções que pretendemos ver desempenhadas pelo material numa determinada situação;
- identificação das características do material relevantes para o seu desempenho das funções definidas;
- estabelecimento de métodos de quantificação e de avaliação dessas características (métodos de ensaio e de valores limite considerados satisfatórios) [9].

As funções pretendidas para as argamassas leves, objecto de estudo deste trabalho, são as de revestimento e assentamento de alvenarias. Estas funções serão enquadradas comparando com os requisitos das argamassas correntes existentes no mercado, requisitos presentes em normalização e bibliografia existente.

Dado o exposto, este trabalho encontra-se dividido em duas partes.

A primeira parte contemplará:

- no Capítulo II caracteriza-se as argamassas na sua globalidade. Neste capítulo para além de explorar a normalização actual, pretende-se caracterizar este material de construção, ou seja, apresenta-se a sua definição, classificação, funções, propriedades e constituintes. Faz-se também uma breve contextualização do estado actual deste sector da indústria de construção civil;
- ainda no que concerne ao capítulo II, abordam-se, em subcapítulo, as argamassas correntes para revestimento e respectivas exigências de revestimentos de paredes e as argamassas para assentamento de alvenaria e suas exigências;
- no Capítulo III, estudam-se as características das argamassas leves e dos seus constituintes apresentando-se a respectiva contextualização bibliográfica, tendo em vista a definição das propriedades específicas que se requerem a este tipo de argamassas;

Relativamente à segunda parte deste trabalho, será apresentada a seguinte estrutura:

- no Capítulo IV, apresentam-se as propriedades das argamassas mais importantes para o bom desempenho das alvenarias. Exploram-se as vantagens e desvantagens do uso de argamassas leves enquadrando a sua aplicação;
- no Capítulo V, tiram-se as conclusões sobre a viabilidade das argamassas leves a aplicar nas soluções construtivas de alvenaria.

# 2

## ARGAMASSAS- CARACTERIZAÇÃO

### 2.1. GENERALIDADES E CONCEITOS

#### 2.1.1 FUNÇÕES E PROPRIEDADES

Uma argamassa consiste numa pedra artificial resultante da mistura homogénea de um agente ligante com agregados e água. Na formulação de uma argamassa importa ter em linha de conta a qualidade e a melhor proporção destes componentes. Quando o ligante, os agregados e a água se misturam fica sempre presente ar na argamassa que não pode ser eliminado por compactação, uma vez que estes materiais apresentam uma estrutura porosa. Assim sendo, pode-se considerar o ar como um constituinte.

As argamassas são produzidas com o objectivo de possuírem determinadas características ou propriedades, deste modo também existem substâncias que se adicionam na sua confecção para estas atingirem qualidades específicas – aditivos ou adjuvantes.

As argamassas são denominadas pelo componente ligante activo, componente este que pode ser o cimento, gesso ou cal. Quando intervém dois ligantes, cimento e cal ou gesso e cal designam-se por mistas ou “bastardas”.

A proporção dos componentes de uma argamassa chama-se dosagem e exprime-se em quilogramas para o ligante e metros cúbicos para os agregados. Pode-se verificar que na designação da dosagem de uma argamassa apenas figura o peso do ligante necessário para o emprego de um metro cúbico de agregado. A dosagem varia também conforme o fim que se pretende atingir. Outro modo comum de referência à dosagem é pelo traço. Chama-se traço de uma argamassa à indicação dos diferentes materiais que a compõem e das suas quantidades (traço 1:3 quer dizer um volume de ligante e três volumes iguais de areia). A dosagem tem uma grande influência na qualidade da argamassa pois pode-se obter uma argamassa medíocre com um ligante de boa qualidade se as proporções não forem correctamente formuladas.

As funções mais correntes das argamassas em edifícios são:

- proteger as alvenarias/suportes e a estrutura contra a acção de agentes hostis evitando a sua degradação e aumentando a sua durabilidade;
- unir com solidez elementos de alvenaria ajudando a resistir aos esforços a que as paredes estão submetidas;

- reduzir custos de manutenção de edifícios;
- auxiliar as alvenarias e pavimentos a cumprirem as suas funções, nomeadamente como isolamento térmico, acústico, estanquidade à água de segurança contra incêndio;
- funções estéticas e de acabamento [4].

No âmbito deste trabalho serão abordadas posteriormente as propriedades que caracterizam os métodos de ensaio para argamassas de revestimento e assentamento de alvenarias.

As argamassas para cumprirem as suas funções devem possuir características compatíveis com as condições a que estão expostas, condições de execução, condições específicas de desempenho previsto, natureza de base e do acabamento final. Além do aspecto estético devem possuir impermeabilidade líquida, permeabilidade ao vapor de água, resistência ao choque, resistência à fendilhação. Estes materiais apresentam logo após a mistura uma boa plasticidade mas no estado endurecido possuem rigidez, resistência e aderência.

## 2.1.2 SITUAÇÃO ACTUAL DO SECTOR EM PORTUGAL

Pode-se compreender melhor a situação do sector industrial da construção das argamassas em Portugal através das tabelas 1,2 e 3, que se seguem neste texto, apresentando estes dados da APFAC (Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção).

Tabela 1: Sector das Argamassas em Portugal (Fonte: APFAC) [5]

N.º de empresas	Argamassas fabris Secas	Argamassas fabris Estabilizadas	ETICS	Valor da produção	Estimativa da produção de argamassas em estaleiro (método tradicional)
Cerca de 30 (15 associadas da APFAC)	1 196 720 toneladas	85000 m <sup>3</sup> (equivalentes a 152 717 toneladas de argamassas fabris Secas)	185000 m <sup>2</sup>	Acima de 101 milhões de Euros	Entre 3 a 5 milhões de toneladas

As argamassas fabris Secas são fornecidas em saco e/ou granel apresentam-se em pó, necessitando apenas de ser misturadas com água para realizar a amassadura.

As Argamassas fabris Estabilizadas são preparadas em centrais e fornecidas a granel (destinadas a tinas colocadas em obra), nas condições de aplicação, permitindo a sua utilização num prazo em geral até 36 horas.

As argamassas industriais têm tido um crescimento progressivo, contudo assiste-se a uma queda da actividade da construção nova face à crescente expansão da actividade de reabilitação de edifícios.

Tabela 2: Argamassas fabris secas em Portugal, por famílias (Fonte: APFAC) [5]

Famílias	Norma Europeia	Peso percentual
Rebocos	EN 998-1	41.6
Cimentos-cola	EN 12004	22.9
Argamassas de Alvenaria	EN 998-2	21.5
Monomassas	EN 998-1	4.4
Pavimentos	EN 13813	3.9
Juntas em Cor	EN 13888	0,9
Outras argamassas	Diversas	4,8

Tabela 3: Argamassas secas em Portugal, por tipo de fornecimento (Fonte: APFAC) [5]

Fornecimento	2004	2005	2006
Granel	260.000	331.550	397.174
Saco	665.000	723.024	799.546
Total, Argamassas Secas, t	925.000	1.054.574	1.196.720

De início, apenas as obras muito grandes recebiam silos, mas desde 2005 que o crescimento do número de silos se constata ser muito elevado. Como refere Carlos Duarte, “os silos, frequentemente, são um meio promocional do fabricante, pois ao permanecer numa obra urbana, por vezes em locais de eleição em termos de visibilidade, funcionam melhor que um “outdoor”, sem custos, nem licenças camarárias”.

No que diz respeito às argamassas preparadas em obra (tradicionais, não fabris), não são conhecidas sem margem de erro as quantidades utilizadas no nosso país, referindo-se que, perante a falta de elementos fiáveis, a situação pode quantificar-se por um número que se situa entre 4 e 5 milhões de toneladas [5]. Foi este facto, a demanda desta grande quantidade de argamassas feitas em obra, que foi possivelmente responsável por os fabricantes de argamassas não sentirem o decréscimo da construção nova, excepto no caso de argamassas de colagem. Os cimentos-cola são a 100% de origem industrial e por isso, os fabricantes que dependem dessas argamassas notam quebra de vendas devido à redução de actividade da Construção Nova. O mesmo não se passa relativamente às outras argamassas (de assentamento de alvenarias, de reboco, de pavimento) onde ainda hoje, em grande parte, a origem é a preparação em obra.

No período de 2005 a 2015, o decréscimo na actividade de Construção Nova está instalado no nosso país, devendo estabilizar ao fim de alguns anos. De igual forma, esse crescimento estabilizará, porventura em cerca de 40%, se o modelo europeu actual se aplicar a Portugal.

## 2.2. CONTEÚDOS NORMATIVOS

### 2.2.1 CLASSIFICAÇÃO

A classificação das argamassas é abordada nas normas EN 998-1:2003 e EN 998-2:2003 classificam as argamassas com base em três critérios diferentes:

- de acordo com o modo de fabrico;
- de acordo com a concepção;
- de acordo com as suas propriedades e uso.

De seguida neste texto, será apresentada cada uma destas tipologias de classificação.

De acordo com o modo de fabrico, especificam-se na norma as argamassas que seguidamente se referem.

As argamassas industriais, doseadas e misturadas em fábrica, podem apresentar-se em pó, requerendo apenas a adição de água, ou em pasta já fornecida e pronta a aplicar.

As argamassas industriais semi-acabadas podem ser as argamassas pré-doseadas, cujos componentes são doseados em fábrica e fornecidos em obra, onde são misturados segundo as condições do fabricante, e podem ser as argamassas pré-misturadas, cujos componentes são doseados e misturados em fábrica, sendo em obra misturados outros componentes que o fabricante também fornece e específica.

As argamassas tradicionais são argamassas feitas em obra, constituídas pelos componentes primários (agregados, ligantes e água) doseados e misturadas *in situ*.

De acordo com a concepção, refere-se na norma o seguinte:

- argamassa de desempenho , cuja composição e o método de produção é escolhido pelo fabricante com o objectivo de atingir propriedades específicas (conceito de *performance*)
- argamassa de formulação ou prescrita, que são fabricadas em proporções pré-determinadas, para a qual as propriedades obtidas dependem dessa mesma proporção (conceito de receita).

De acordo com as propriedades e uso, refere-se na norma as seguintes argamassas:

- argamassas de uso geral (GP)
- argamassas leves (LW)
- monomassa “one-coat rendering mortar” (OC)
- argamassa de reboco para renovação (R)
- argamassa de reboco para isolamento térmico (T)
- argamassas de alvenaria em camada fina (T)

As propriedades e utilização das argamassas relacionam-se com o fim a que estas se destinam, rebocos, monomassas, argamassas de alvenaria, sendo consideradas também do ponto de vista da sua aplicação integrando cinco grupos dos quais apenas os dois primeiros se inserem no âmbito deste trabalho. Estes cinco grandes grupos compreendem:

- argamassas de alvenaria são usadas para elevar muros e paredes de alvenaria em tijolo ou em bloco. É fundamental que tenham boa resistência mecânica e boa aderência às estruturas de modo a lidarem com deformabilidades internas das paredes decorrentes de variações térmicas e humidades.
- argamassas de revestimento utilizadas para revestir paredes podendo ter a capacidade de repelir a água (hidrófugadas), serem pintadas ou constituírem grande diversidade de acabamentos. As monomassas são argamassas monocamada aplicáveis por projecção que desempenham as mesmas funções de protecção e decoração que os rebocos tradicionais multi-camada. Para tal as dosagens são pré-estudadas e a mistura é corrigida com adjuvantes, geralmente são coloridas.
- cimentos - cola são utilizados sobretudo para colar elementos cerâmicos sobre um suporte reboco, parede, ou pavimento. Imediatamente antes de serem usados mistura-se água ao líquido de amassadura.
- massas para juntas formuladas para atenuarem as tensões normais nas juntas entre os elementos dos revestimentos aplicados. As suas propriedades são determinadas pelo ligante e pela sua composição química.
- argamassas de suporte para pavimentos são utilizadas na regularização de pavimentos concebidas para a sua nivelção com a finalidade de obter uma superfície lisa e plana.

As normas abordadas EN 998-1:2003 e EN 998-2: 2003 dizem respeito às argamassas para reboco e argamassas de alvenaria. Apresentam-se as propriedades que definem as suas características bem como os métodos de ensaio destas argamassas, tanto em pasta como no estado endurecido. Pretende-se, portanto fazer uma síntese das exigências normativas deste tipo de materiais para uma extrapolação das características das argamassas leves estudadas em capítulo posterior.

### 2.2.2 ARGAMASSAS DE REBOCO



Fig.4 – Argamassa de reboco

É necessário esclarecer que as argamassas de revestimento para além de obrigatoriamente terem as propriedades mencionadas nas normas também têm de desempenhar as funções que se exigem aos revestimentos de paredes. Assim é muito importante encarar a solução construtiva de parede na sua totalidade, verificando as características do revestimento que obedecem às condições exigidas de um ponto de vista funcional.

### 2.2.2.1 Exigências Funcionais

Neste contexto, é importante apresentar as exigências funcionais dos revestimentos de paredes. A Directiva dos Produtos da Construção estabelece as seguintes seis Exigências essenciais para os produtos, materiais e sistemas a utilizar na construção de edifícios:

- EE1 estabilidade
- EE2 segurança contra incêndio
- EE3 higiene, saúde e ambiente
- EE4 segurança ao uso
- EE5 protecção contra o ruído
- EE6 economia de energia

Para que estas exigências façam sentido a durabilidade e adequabilidade ao uso são, portanto, propriedades essenciais dos materiais de construção e sistemas construtivos [9].

A classificação funcional que se adopta no LNEC para revestimentos de paredes centra-se no desempenho das seguintes funções, discriminadas na tabela 4:

Tabela 4: classificação funcional de revestimentos de paredes

Revestimentos exteriores	Revestimentos interiores
Estanquidade	Regularização
Impermeabilização	Acabamento
Isolamento térmico	Resistir à água
Acabamento	Decorativos

É de salientar, para os revestimentos exteriores, que estanquidade prende-se com o facto de a parede mesmo estando fendilhada conseguir evitar a entrada de água para o interior. Impermeabilização é a contribuição ao tosco da parede para evitar a entrada de água o que, só por si, não assegura a estanquidade [9].

### 2.2.2.2 Exigências Normativas

Como foi dito anteriormente as normas distinguem as argamassas de reboco em pasta das argamassas de reboco no estado endurecido. Por isso vamos abordar seguidamente as propriedades que as caracterizam fazendo referência às normas que descrevem os métodos de ensaio para determinação destas.

Quanto às argamassas de reboco em pasta, citam-se as seguintes propriedades:

- **Trabalhabilidade** (tempo aberto, em min.) (EN 1015-9)

Propriedade complexa dificilmente quantificável que depende da aderência, coesão, espalhamento, plasticidade e viscosidade. Influencia a maior parte das outras propriedades.

A Norma distingue três métodos para a sua determinação:

- Método A: trabalhabilidade de argamassa para uso geral é medida pelo tempo em minutos em que se atinge o limite de resistência à penetração de uma sonda *standard*.

- Método B: trabalhabilidade de argamassa de espessura reduzida é determinada pela medição do tempo em minutos em que o abaixamento de argamassa diferencia-se de 30 mm do inicial, medido 10 minutos após preparação dos lotes.

- Método C: medição do tempo aberto da argamassa (intervalo de tempo máximo para o acabamento, desde o momento de aplicação). É determinado pelo tempo em minutos em que 50% da superfície de contacto de um cubo colocado numa superfície de argamassa para alvenaria, e depois removido, fica coberta de argamassa aderente.

- **Consistência** (EN 1015-3; EN 1015-4)

A consistência é uma medida da fluidez e/ ou da água que apresenta uma argamassa fresca, permitindo prever a sua deformabilidade, quando a argamassa fresca está submetida a uma determinada tensão.

Consideram-se três tipos de consistências:

- Seca: a pasta preenche apenas os vazios e os grãos fazem um contacto entre si;

- Plástica: a superfície dos grãos é molhada pela pasta, garantindo boa aderência, lubrificação, e trabalhabilidade;

- Fluida: os grãos estão submersos na pasta, sem coesão.

De um modo geral, há uma correlação linear entre os valores determinados pelo ensaio de espalhamento (EN 1015-3) e aqueles determinados pelo ensaio de penetração por sonda (EN1015-4). O princípio do ensaio de espalhamento reside no cálculo da média dos diâmetros de uma amostra colocada numa mesa-disco, submetida a um número determinado de quedas livres de uma altura predefinida.



Fig.5 – Mesa de espalhamento

O ensaio de penetração da sonda de Vicat dá um valor associado à amostra de argamassa fresca, que é medido através da queda vertical livre de uma sonda que penetra a argamassa a partir de determinada altura.



Fig.6 – Sonda de Vicat

- **Capacidade de retenção de água (EN1015-8)**

Esta capacidade traduz-se na avaliação da facilidade com que a argamassa perde parte da sua água por amassadura quando em contacto com material absorvente e mesmo por evaporação. Tal permite também avaliar a sua consistência plástica. Define-se conteúdo de água como sendo a massa de água presente na argamassa como fracção da sua massa total. Para determinar tal propriedade, a argamassa fresca é submetida a um definido tratamento de sucção padrão, usando-se um filtro de papel como substrato. A capacidade de retenção de água da amostra é determinada pela massa de água retida após este tratamento de sucção e é expressa em percentagem do seu conteúdo de água inicial.



Fig.7 – Material utilizado para o ensaio de determinação da retenção de água

- **Ar contido (em %) (EN1015-7)**

A determinação desta propriedade está relacionada com o volume de ar presente na argamassa. Para o especificar, um volume de argamassa é colocado num determinado recipiente de medição. Introdz-se água no topo da superfície da argamassa e, aplicando pressão de ar ou utilizando uma solução de álcool e água, a água inicialmente introduzida é forçada a penetrar na argamassa, preenchendo os espaços ocupados anteriormente por ar, nos seus poros. Por este meio, o decréscimo de nível de água

no recipiente graduado irá reflectir o volume de ar que estava previamente contido nos poros da argamassa.

- **Densidade (em kg/m<sup>3</sup>) (EN1015-6)**

A densidade da argamassa fresca é determinada pelo cociente da sua massa pelo volume que esta ocupa quando introduzida num recipiente graduado de medição, por procedimento estandardizado, e compactada.



Fig.8- Medições volumétricas em argamassas

Após explicitar o normativo sobre as argamassas de reboco em pasta, apresentam-se de seguida as propriedades que a legislação consagra quanto às argamassas de reboco endurecidas, na Tabela 5 e na Tabela 6.

Tabela 5 – Classificação para as propriedades das argamassas de reboco endurecidas (EN 998-1)

Propriedades	Categorias	Valores
Resistência à compressão em 28 dias	CS I	0,4 a 2,5 N/mm <sup>2</sup>
	CS II	1,5 a 5,0 N/mm <sup>2</sup>
	CS III	3,5 a 7,5 N/mm <sup>2</sup>
	CS IV	≥6 N/mm <sup>2</sup>
Absorção de água por capilaridade	W 0	Não especificado
	W 1	c≤0,40 kg /m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup>
	W 2	c≤0,20 kg /m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup>
Condutividade térmica	T 1	≤0,1 W/ m. K
	T 2	≤0,5 W/ m. K

Tabela 6 – Síntese dos requisitos normativos para argamassas de reboco endurecidas (EN 998-1)

Parâmetro	Norma	Uso geral	Leves	Coloridas	Monomassa	Renovação	I. Térmico
Massa volúmica kg /m <sup>3</sup>	EN 1015-10	Intervalo de valores declarado	Intervalo de valores declarado  ≤1300	Intervalo de valores declarado	Intervalo de valores declarado	Intervalo de valores declarado	Intervalo de valores declarado
Resistência à compressão (categorias)	EN 1015-11	CS I a CS IV	CS I a CS III	CS I a CS IV	CS I a CS IV	CS II	CS I a CS II
Aderência (N/mm <sup>2</sup> ) e tipo de fractura (A, B ou C)	EN 1015-12	≥ Valor declarado e tipo de fractura	≥ Valor declarado e tipo de fractura	≥ Valor declarado e tipo de fractura	–	≥ Valor declarado e tipo de fractura	≥ Valor declarado e tipo de fractura
Aderência após ciclos de cura (N/mm <sup>2</sup> ) e tipo de fractura (A, B ou C)	EN 1015-21	–	–	–	Valor declarado e tipo de fractura	–	–
Absorção de água por capilaridade	EN 1015-18	W 0 a W 2	W 0 a W 2	W 0 a W 2	W 1 a W 2	≥ 0,3 kg /m <sup>2</sup> após 24 horas	W 1
Penetração de água após ensaio de capilaridade (mm)	EN 1015-18	–	–	–	–	≤ 5 mm	–
Permeabilidade à água após ciclos de cura (ml/ cm <sup>2</sup> , após 48h)	EN 1015-21	–	–	–	≤ 1 ml/ cm <sup>2</sup> após 48 horas	–	–
Coefficiente de permeabilidade ao vapor de água (μ)	NP EN 1015-19	≤ valor declarado	≤ valor declarado	≤ valor declarado	≤ valor declarado	≤ 15	≤ 15
Condutividade térmica (W/ m. K)	EN 1745 A.12Tabela	Valor tabelado	Valor tabelado	Valor tabelado	Valor tabelado	Valor tabelado	–
	EN 1745 Ponto 4.2.2	–	–	–	–	–	T 1:≤0,10 T 2:≤0,20
Reacção ao fogo (classe)	NP EN 13501-1	Declarados: rebocos, com % em massa ou em volume (a mais elevada) de matéria orgânica ≤ 1%, classificados como classe A1, sem efectuar teste; rebocos, com % em massa ou em volume (a mais elevada) de matéria orgânica ≥ 1%, classificados de acordo com NP EN 13501-1 e declarada respectiva classe de reacção ao fogo.					
Durabilidade	-	Não há requisitos prescritos, excepto para monomassas, em que a aderência e a permeabilidade á água, após ciclos de cura, têm de ser avaliados					

### 2.2.3 ARGAMASSAS DE ALVENARIA



Fig.9- Argamassa para assentamento de alvenarias

É conveniente abordar as exigências funcionais das paredes de alvenaria para uma melhor compreensão dos requisitos deste tipo de argamassas. Assim passam-se a citar as principais exigências funcionais das paredes exteriores de alvenaria [10].

#### 2.2.3.1 Exigências Funcionais

- **Segurança Estrutural** - As paredes de alvenaria estão sujeitas a grande variedade de acções, peso próprio incluindo revestimentos, cargas suspensas, vento, impacto, deformação dos suportes, acções térmicas e acções acidentais (sismo, incêndio e explosões) Na estabilidade de paredes exteriores há que ter em conta as ligações à estrutura, a localização em termos de vento, acções térmicas e sismo, tipo de parede (simples, dupla) bem como a dimensão e a forma dos vãos.
- **Segurança ao fogo** – As alvenarias devem ser concebidas para apresentarem um comportamento face ao fogo adequado à sua utilização. O comportamento dos materiais de construção e elementos construtivos caracteriza-se por determinados indicadores – reacção e resistência ao fogo.
- **Estanquidade à água** - A garantia de estanquidade corresponde à ausência de infiltrações para o interior por efeito da chuva e vento e ausência de infiltrações na parede que provoquem o seu humedecimento exagerado e prolongado com deterioração. Os principais factores que condicionam a estanquidade prendem-se com a existência ou não e tipo de revestimento, constituição do tosco da parede, solução arquitectónica, localização e exposição da construção. Esta pode ser contabilizada através de ensaios especializados.
- **Adaptações a movimentos** – Os movimentos das alvenarias têm diversas origens e devem ser tidos em conta na sua concepção para melhorar o comportamento das paredes. Tem de se ter em consideração os movimentos das fundações, deformação estrutural, variações de temperatura, variações de humidade e volume, movimentos de origem química.
- **Durabilidade** – É condicionada pela concepção em termos de estanquidade e revestimentos, qualidade construtiva e dos materiais constituintes, quantidade de água contida na parede e pela compatibilidade física e química dos materiais constituintes.

- **Conforto termo higrométrico** – Importante limitar o valor do coeficiente de transmissão térmica tendo em conta as exigências regulamentares e privilegiar as inércias térmicas elevadas.
- **Conforto acústico** – O isolamento aos ruídos deve respeitar as exigências regulamentares.
- **Adaptação à utilização e execução** – Considerar a aptidão para receber acabamentos, facilidade de integrar outros elementos, geometria facilitando o armazenamento, prensão, realização de rebocos e remates.
- **Economia e produtividade** – Existe um crescente esforço, sobretudo nos países mais desenvolvidos, no sentido de racionalizar o assentamento das alvenarias com ganhos de produtividade. A inovação na tecnologia construtiva das alvenarias passa pela investigação e desenvolvimento de novos produtos, por actuação nos seus elementos ou nos métodos de assentamento. As principais linhas de orientação das melhorias do desempenho, residem nos aspectos de economia de energia e na diminuição dos custos de funcionamento e manutenção.

### 2.2.3.2 Exigências normativas

As normas distinguem três tipos de argamassas de assentamento de alvenaria, argamassas em pó, em pasta e endurecidas que têm requisitos específicos conforme as suas propriedades.

Quanto às argamassas de assentamento de alvenaria em pó, segundo a norma EN 1015-1, que tem em conta a determinação da granulometria, a propriedade a ter em conta é a máxima dimensão do grão em mm. Para as argamassas de assentamento de alvenaria de camada fina está limitado a 2 mm.

Para as argamassas de assentamento de alvenaria em pasta a norma EN 998-2 preconiza as seguintes propriedades:

- **Tempo aberto, (min.)** (EN 1015-9) - Já definida em 2.2.2.2, neste texto.
- **Teor em cloretos (%)** (EN 1015-17) – Quando relevante o teor em cloretos deve ser declarado pelo fabricante e não pode exceder o valor de 0,1% da massa seca da argamassa. A norma EN 1015-17 apresenta o método de determinação do conteúdo de cloreto em argamassas em pasta.
- **Ar contido (em %)** (EN1015-7) – Já definida em 2.2.2.2, neste texto.
- **Tempo de correcção (min.)** (EN 1015-9) - Já definida em 2.2.2.2, neste texto.

As resistências à compressão das argamassas de assentamento de alvenaria expressam-se em N/mm<sup>2</sup> e designam-se com a letra M. A título de exemplo a designação M5 refere-se a uma argamassa de assentamento de alvenaria, cuja resistência à compressão, a 28 dias é 5N / mm<sup>2</sup>.

A norma EN 998-2 contempla as classes de resistência à compressão que figuram na tabela 7 seguinte.

Tabela 7 – Classes de resistência à compressão, aos 28 dias, de argamassas de assentamento de alvenaria

Classe	M 1	M 2,5	M 5	M 10	M 15	M 20	M d
Resistência à compressão N/mm <sup>2</sup>	1	2,5	5	10	15	20	d
d é a resistência à compressão, superior a 25 N/mm <sup>2</sup> , declarada pelo fabricante.							

No caso das argamassas de formulação o fabricante tem que declarar as proporções dos constituintes não sendo obrigado a declarar a classe de resistência.

Em relação às argamassas de assentamento de alvenaria endurecidas, a tabela 8 identifica os requisitos para as suas propriedades e normas de ensaio.

Tabela 8 – Síntese dos requisitos normativos para argamassas de assentamento de alvenaria endurecidas

Produto: Tipos de argamassas de alvenaria industriais: - uso geral (GP);- camada fina (T)- leve (LW).		
Propriedades	Normas de ensaio	Tipos de declaração
Resistência à compressão (classe)	EN 1015-11	M1 a Md ( tabela 7) Para as argamassas de desempenho. A .resistência à compressão terá que ser superior à classe declarada.
Proporção de constituintes	EN 998-2	Valor declarado por volume ou em peso para argamassas pré-doseadas.
Resistência cisalhamento (N/mm <sup>2</sup> )	EN 1052-3  EN 998-2	Valor declarado para argamassas de desempenho a serem utilizadas em elementos sujeitos a requisitos estruturais.  Valor declarado para argamassas de desempenho a serem utilizadas em elementos sujeitos a requisitos estruturais.
Conteúdo em cloretos	EN 1015-17	Valor declarado como fracção em massa em %.
Reacção ao fogo (classe)	NP EN 13501-1	Classe declarada:  -Argamassas, com % em massa ou em volume (a mais elevada) de <b>matéria orgânica</b> inferior a 1%, podem ser classificados como <b>classe A1</b> , sem necessidade de efectuar qualquer teste.  --Argamassas, com % em massa ou em volume (a mais elevada) de <b>matéria orgânica</b> superior a 1%, devem ser classificados de acordo com NP EN 13501-1 e declarada a respectiva classe de reacção ao fogo.
Absorção de água	EN 1015-18	Valor declarado para argamassas a serem utilizadas em exteriores com exposição directa.
Coefficiente permeabilidade ao vapor de água (μ)	EN 1745	Valor tabelado para argamassas a serem utilizadas em exteriores com exposição directa
Densidade (kg/ m <sup>3</sup> )	EN 1015-10	Intervalo declarado apenas nas argamassas em que seja relevante para o fim em uso.
Durabilidade		Não há requisitos

## 2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS

### 2.3.1 AGREGADOS

Define-se agregado como sendo material granular usado na construção. O agregado pode ser natural, artificial ou reciclado. A utilização de agregados na mistura de cimento e água deriva da instabilidade dimensional (fluência elevada e retracção elevada) e custo elevado da pasta de cimento. O agregado é constituído por partículas de rochas, por materiais provenientes de depósitos arenosos ou por partículas artificiais especificamente fabricadas para o emprego em argamassas ou betões. Também se obtém agregados de partículas a partir da reciclagem de determinados materiais, tendo em conta que as características destes determinam as características das argamassas [11].



Fig.10- Diferentes tipos de agregados

Por vezes, aplica-se o termo “inerte” para estas partículas. Este termo não é o mais correcto pois estas partículas não são inactivas, uma vez que reagem com a matriz cimentícia das argamassas, afectando profundamente o seu desempenho.

As propriedades mais importantes exigidas a um agregado são de natureza geométrica, física e química, devendo assim apresentar:

- adequada forma e dimensões proporcionadas (granulometria), segundo determinadas regras;
- adequada resistência às forças;
- adequadas propriedades térmicas;
- adequadas propriedades químicas relativamente ao ligante e às acções exteriores;
- isenção de substâncias prejudiciais

### 2.3.1.1 Classificação dos agregados

Os agregados são classificados de acordo com vários parâmetros. Assim, classificam-se segundo a origem, a petrografia (da rocha que lhes deu origem), a densidade (massa volúmica), a baridade e a dimensão das partículas que os formam [11].



Fig.11- Exploração de maciço rochoso para obtenção de agregados

- Classificação segundo a origem

Os agregados podem ter origem natural (areias ou godos) ou serem obtidos por britagem de materiais naturais por fractura artificial (britas ou areias britadas). Também se podem obter agregados por processos industriais para conferirem determinadas propriedades às argamassas ou betões, sendo exemplos a argila ou xisto expandido. Agregados resultantes da reciclagem de subprodutos industriais (cinzas volantes, escórias de alto forno, granulados de cortiça) ou da reciclagem de resíduos da construção também são muitas vezes utilizados. A tabela 9 apresenta os tipos de agregados quanto à origem.

Tabela 9: classificação de agregados de acordo com a origem

Classificação do agregado	Exemplos
Natural	Areias Godos
Industrial	Argila expandida Xisto expandido

- Classificação petrográfica

Os agregados naturais são também classificados de acordo com a rocha que lhes deu origem. Assim, uma classificação petrográfica poderá designá-los como ígneos, sedimentares ou metamórficos, de acordo com a génese geológica da rocha original. A tabela 10 que se segue apresenta exemplos dessa classificação.

Tabela 10: classificação petrográfica de agregados

Classificação do agregado	Rocha de origem
Ígneo	Granitos
	Basaltos
Sedimentar	Arenitos
	Calcários
Metamórfico	Xistos

- Classificação segundo a densidade

Podem-se distinguir os agregados de acordo com a sua densidade, conforme a sua massa volúmica ( $\gamma$ ). Classificam-se como leves, com massa volúmica normal e pesados.

Os agregados pesados utilizam-se quando é necessário utilizar um betão de massa volúmica elevada, para protecção de radiações ou noutras situações excepcionais.

Os agregados de massa volúmica normal são os mais utilizados. São exemplos as areias ou os agregados obtidos de rochas ígneas, tais como granitos ou basaltos, ou de rochas sedimentares mais resistentes, como arenitos e calcários

Os agregados leves são utilizados para o fabrico de betões leves e argamassas leves, e, como constituem primordial objecto deste trabalho, serão tratados em detalhe no capítulo seguinte.

A tabela 11 seguinte apresenta esta classificação dos agregados quanto à densidade.

Tabela 11: classificação de agregados de acordo com a densidade

Classificação do agregado	Massa volúmica $\gamma$ (kg/ m <sup>3</sup> )
Leve	< 2000
Normal	2000 a 3000
Pesado	>3000

▪ Classificação segundo a baridade

A baridade ( $\delta$ ) de um agregado é definida como a massa por unidade de volume do agregado contida num recipiente. Esse volume inclui os espaços entre as partículas do agregado e entre as partículas deste e o recipiente. Por isso, é um volume “aparente”, maior que o volume real que as partículas ocupam. Salienta-se que, como sendo os agregados leves o objecto de análise deste trabalho, serão tratados em detalhe no capítulo seguinte.

Como se apresenta na tabela 12 que se segue, o emprego no fabrico dos betões e argamassas de determinado agregado irá permitir diferentes aplicações dessa argamassa. Esta análise será também retomada posteriormente neste texto.

Tabela 12: classificação de agregados de acordo com a baridade (e principais aplicações do betão fabricado)

Classificação do agregado	Baridade, $\delta$ (kg/ m <sup>3</sup> )	Exemplos	Aplicações e designação do betão
Ultraleve	< 300	poliestireno expandido	Estritamente isolamento térmico (sem funções de resistência)
		poliestireno expandido peletizado (d=4-5mm)-	
		vermiculite	
		perlite expandida	
		vidro expandido	
Leve	300 a 1200	argila expandida (d=5-20mm)	Com funções de isolamento térmico, com funções de resistência (betão estrutural) e diminuição do peso próprio
		xisto expandido	
		escória de alto-forno expandida	
		cinzas volantes sinterizadas	
		pedra-pomes	
		granulado de cortiça (d=5-20mm)	
		granulado de cortiça com banho de calda de cimento (d=5-20mm)	
Denso (normal)	1200 a 1600	areia	Normal, com funções de resistência (betão estrutural)
	1200 a 1400	godo	
	1300 a 1500	rocha britada	
Ultradenso	>1700	limonite	Com funções de protecção contra as radiações atómicas e com funções resistentes
		magnetite	
		barite	

- Classificação segundo a dimensão das partículas

A dimensão das partículas (d) é determinada de acordo com a retenção do agregado em peneiro de malha de abertura determinada, sendo que essa retenção implica dimensão superior à abertura da malha em questão.

O agregado que fica retido no peneiro de 5mm de abertura é designado por agregado grosso que, de acordo com os anteriores parâmetros de classificação já apresentados, pode ser godo rolado (calhau ou seixo) ou pode ser brita. O agregado com dimensões inferiores a 5mm é designado por areia rolada ou areia britada, de acordo com a origem, respectivamente, natural ou por fractura artificial .

A combinação mais usada no fabrico de betão é a brita e areia rolada.

A tabela 13 explicita esta classificação dos agregados de acordo com as suas dimensões.

Tabela 13: classificação de agregados de acordo com as dimensões (d)

Classificação do agregado	Dimensão (d) (mm)	Exemplo
Fino	# ≤ 5	Areia britada
		Areia rolada
Grosso	# > 5	Brita
		Godó

### 2.3.1.2 Propriedades dos agregados

As propriedades dos agregados, como já foi focado anteriormente, influenciam directamente as características e aplicações do betão com eles fabricado.

Para além da massa volúmica dos agregados que influencia, como referido, a do betão, as propriedades dos agregados com maior expressão no comportamento das argamassas são:

- granulometria;
- forma das partículas;
- porosidade;
- absorção;
- elasticidade;
- resistência mecânica;
- características da superfície das partículas que afectam a aderência à pasta de cimento endurecida[11].

Os agregados são quase sempre o constituinte presente em maior quantidade nas argamassas e conseqüentemente determinam a maioria das suas propriedades finais. A baixa inércia química, baixo coeficiente de expansão térmica e durabilidade dos agregados são importantes mas a forma e dimensão das partículas tem uma influência determinante [6].

Os agregados utilizados em argamassas de construção civil apresentam geralmente partículas entre os 0,150 e 1,250 mm. Os agregados grossos, como por exemplo o cascalho natural, são retidos no peneiro de 4,76mm. Estes agregados encontram-se nas argamassas em percentagem reduzida. Agregados de dimensões superiores passam a constituir betões em vez de argamassas.

Uma argamassa de qualidade exige que os agregados estejam bem envolvidos pela pasta de cimento.

Existem algumas condições para que se crie uma zona de interface pasta de cimento/agregados que dê origem a uma boa argamassa. Enumeram-se as seguintes:

- os grãos sejam hidrófilos (capazes de atrair água - absorventes);
- a mistura contenha uma dosagem em água que tenha também em conta a superfície específica do agregado e não só a hidratação do cimento de modo a que os grãos sejam molhados pela água e pela pasta de cimento;
- ter em atenção à natureza das areias, por exemplo certas partículas de argila podem impedir o contacto entre os grãos e os elementos activos do ligante com prejuízo para a aderência da argamassa;
- quanto maior for a dimensão dos grãos, mais difícil é de conseguir uma dispersão homogênea dos grãos mais finos do cimento.

Por conseguinte, de acordo com o exposto, os agregados mais frequentemente utilizados no fabrico de argamassas são areias existentes em areiros naturais, rochas britadas e escórias siderúrgicas apropriadas. Em todo o caso é da responsabilidade do fornecedor de agregados, que deverá garantir o cumprimento das exigências regulamentares de acordo com o tipo de agregado a ser utilizado.

Se o agregado possui marcação CE, não é necessário proceder á realização de ensaios, a responsabilidade da conformidade das suas características é do fornecedor ou fabricante dos agregados.

A norma EN 13139:2005, contempla as propriedades dos agregados aplicados nas argamassas de revestimento e de assentamento de alvenaria. Estas propriedades dividem-se em três grupos de requisitos específicos, requisitos geométricos, físicos e químicos.

Os **requisitos geométricos** dos agregados são:

- dimensões do agregado;
- granulometria;
- forma das partículas;
- teor de finos.

No que concerne às **dimensões dos agregados** estas são especificadas usando as aberturas dos peneiros que abrangem a dimensão da maior parte das partículas, sendo  $d$  a abertura do peneiro inferior e  $D$  correspondente à abertura do peneiro superior.

De acordo com a norma NP EN 933-2, estabelece como série principal de peneiros os seguintes (0,063-0,125-0,250-0,500-1-2-4 e 8) mm.

No caso dos agregados para argamassas, os tamanhos que se utilizam ( $d/D$ ) são os seguintes: (0/1-0/2-0/4-0/8-2/4-e2/8) mm.

Define-se **granulometria** de um agregado à distribuição das partículas segundo as dimensões dessas mesmas partículas e tem influência muito grande nas propriedades das argamassas, sobretudo na trabalhabilidade e compactidade [12]. A razão ( $d/D$ ) em mm condiciona os limites inferiores e superiores para o tamanho das partículas. Agregados especiais podem apresentar valores diferentes.



Fig.12- Análise granulométrica de agregados

Apresenta-se em seguida a tabela 14, que especifica os requisitos em função desta razão.

Tabela 14: limites de granulometria (sobretamanhos e subtamanhos) para agregados [6]

Dimensão dos agregados (mm)	Limite em percentagem de passados, em massa				
	Sobretamanho			Subtamanho	
	$2D^a$	$1,4D^b$	$D^c$	d	$0,5d^b$
<b>0/1</b>	100	95-100	85-99	-	-
<b>0/2</b>	100	95-100	85-99	-	-
<b>0/4</b>	100	95-100	85-99	-	-
<b>0/8</b>	100	98-100	90-99	-	-
<b>2/4</b>	100	95-100	85-99	0-20	0-5
<b>2/8</b>	100	98-100	85-99	0-20	0-5

<sup>a</sup> Quando seja essencial para utilizações especiais, a abertura do peneiro correspondente a 100% de passados pode ser inferior ao valor 2 D. Para a argamassa utilizada em camada fina (0/1 mm), no peneiro de abertura D devem passar 100% das partículas.

<sup>b</sup> Quando as aberturas dos peneiros calculados como 0,5 d e 1,4 D não corresponderem a números exactos das dimensões exactas das malhas das séries de peneiros R20 da ISSO 565:1990, deve ser adoptado o peneiro com a abertura mais próxima.

<sup>c</sup> Se a percentagem de passados em D for superior a 99% em massa, o produtor deve documentar e declarar a granulometria típica incluindo os peneiros identificados.

A **forma das partículas** é contemplada nas normas NP 933-3 e NP EN 933-4, que contemplam a determinação do índice de forma e de achatamento.



Fig.13- Estudo de forma das partículas de agregados

O **teor de finos** é limitado de acordo com a regulamentação actual, de acordo com a função a desempenhar pela argamassa, com está explícito na tabela 15 seguinte:

Tabela 15: limites para o teor de finos [6]

Dimensão dos agregados (mm)	Percentagem máxima de passados no peneiro 0,063mm, em massa				
	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4	Categoria 5
0/1 <sup>a</sup>	3	5	8	30	>30 <sup>a</sup>
0/2	3	5	8	30	-
0/4; 2/4 <sup>b</sup>	3	5	8	30	-
0/8; 2/8 <sup>b</sup>	3	5	8	11	-

<sup>a</sup> Valor a declarar pelo produtor.

<sup>b</sup> As dimensões 2/4 e 2/8 são usadas apenas em argamassas combinadas com as dimensões 0/1, 0/2, 0/4 e 0/8. As combinações das diferentes dimensões devem respeitar os limites para o teor de finos à dimensão combinada apropriada.

Quanto aos requisitos físicos e químicos especificados para os agregados sabe-se que estes devem variar de acordo com a sua aplicação e dependem da sua origem. A tabela 16 aborda estes requisitos e respectiva norma em que estão contemplados.

Tabela 16: Requisitos físicos e químicos dos agregados [6]

Requisitos físicos	Requisitos químicos
Massa volúmica (NP EN 1097-6:2003)	Conteúdo cloretos (EN 1744-1:1998)
Absorção de água (NP EN 1097-6:2003)	Teor de iões cloro solúveis em água (EN 1744-1:1998)
Resistência ao gelo/ degelo para agregados superiores 4mm (NP EN 1367-1:2003)	Compostos contendo enxofre (EN 1744-1:1998)
Resistência ao gelo/ degelo para agregados a partir de fracções de 10mm a 14mm (NP EN 1367-2:2002)	Teor de sulfatos solúveis em ácido (EN 1744-1:1998)
-	Matéria solúvel e perda ao fogo (NP EN 13139-1:2005)
-	Avaliação reactividade alcali-silica (NP EN 13139-1:2005)

Em conclusão convém referir que o fabricante de argamassas é responsável pela exigência de uma amostra ao fornecedor de agregados que garanta que estes cumprem os requisitos normativos. A realização dos ensaios descritos nas normas atrás mencionadas é da responsabilidade do fornecedor. Os agregados devem ser armazenados devidamente separados para evitar que sofram contaminações ou que haja mistura das suas fracções granulométricas.

### 2.3.2. LIGANTES



Fig.14- Cimento portland

Como foi atrás referido as argamassas podem ser classificadas pelo tipo de ligante. Este componente é aglomerante tendo a capacidade de aderir a outros materiais. Os ligantes são corpos sólidos que se apresentam finamente moídos e quando misturados com água formam pastas mais ou menos plásticas que ganham presa, ou seja, endurecem. A presa é o intervalo de tempo que decorre desde o início até ao final do processo de endurecimento e é consequente das reacções do ligante com a água. As reacções de hidratação induzem transformações químicas nos ligantes que funcionam como elementos activos nas argamassas. Destacam-se três grupos diferentes de ligantes utilizados na construção civil **cal, gesso ou cimento**. As propriedades e comportamento das argamassas situam-se entre os limites correspondentes à utilização de cal aérea e cimento. Com características intermédias existem as argamassas com cal aérea e pozolanas, cal hidráulica e argamassas bastardas com ligantes mistos (resultado da mistura de ligantes aéreos e hidráulicos), ou seja, os ligantes podem ser combinados quando são compatíveis entre eles de forma a otimizar as propriedades da mistura. Em seguida tratam-se estes três grupos separadamente descrevendo os aspectos mais importantes que os distinguem [12].

#### 2.3.2.1 Ligantes de cal



Fig.15- cal

A Norma NP EN 459-1:2002 define cal como “material abrangendo quaisquer formas físicas e químicas, sob as quais pode aparecer o óxido de cálcio e ou de magnésio (CaO e MgO) e ou hidróxidos (Ca(OH)<sub>2</sub> e Mg(OH)<sub>2</sub>) explicita também que existem diversos tipos de cais de construção que se definem simplesmente como aquelas utilizadas nas obras de engenharia civil. Dentro desta diversidade destacam-se os seguintes tipos de cal, designados na norma NP EN 459-1:2002 de acordo com a tabela 17 seguinte.

Tabela 17: Tipos de cal de construção (NP EN 459 -1)

Designação	Notação
Cal cálcica 90	CL 90
Cal cálcica 80	CL 80
Cal cálcica 70	CL 70
Cal dolomítica 85	DL 85
Cal dolomítica 80	DL 80
Cal hidráulica 2	HL 2
Cal hidráulica 3,5	HL 3,5
Cal hidráulica 5	HL 5
Cal hidráulica natural 2	NHL 2
Cal hidráulica natural 3,5	NHL 3,5
Cal natural 5	NHL 5

De seguida, apresenta-se uma breve síntese explicativa sobre cada uma destas tipologias, explicitadas na tabela 17 anterior.

**Cais aéreas** -a norma define-as como sendo constituídas principalmente por óxido ou hidróxido de cálcio. Endurecem lentamente ao ar por reacção com o dióxido de carbono atmosférico, é desse mecanismo de cristalização que advém o seu nome. Não têm propriedades hidráulicas portanto não fazem presa dentro de água.

Podem ser designadas como cais cálcicas (CL) ou cais dolomíticas (DL) dependendo do teor de (CaO e MgO). Podem ser **cais vivas** (Q) ou **cais hidratadas** (S). As cais vivas são produzidas por calcinação de rocha calcária e ou de dolomite. Têm uma reacção exotérmica quando em contacto com água. O seu processo de endurecimento é um resultado da recombinação do hidróxido com o gás carbónico presente na atmosfera (recarbonatação) [12]. Pode apresentar-se em pó seco ou em pedaços,

para ser usada na construção o óxido deve ser hidratado transformando-se em hidróxido ou seja proceder-se à sua extinção, neste caso no seu local de emprego, que tem como resultado a cal apagada. As cal hidratadas têm o seu processo de extinção previamente controlado em fábrica são produzidas sob a forma de pó seco, de pasta, ou de calda (leite de cal). Estas apresentam vantagens sobre as anteriores, facilidade de manuseamento, transporte, armazenamento e menor perigosidade sendo prontas a usar. As argamassas resultantes do emprego destes ligantes apresentam alguns inconvenientes tais como, tempos de presa lentos, menores valores de resistência mecânica, baixa coesão interna e elevada porosidade, vulnerabilidade à cristalização de sais e deterioração devida ao gelo-degelo. As suas aplicações na construção civil traduzem-se na composição de argamassas bastardas para alvenarias e rebocos com os benefícios de garantirem boa trabalhabilidade, impermeabilidade, durabilidade e economia.

**Cais hidráulicas naturais (NHL)** - citando a norma definem-se como “cais produzidas por calcinação de calcários mais ou menos argilosos ou siliciosos com redução a pó por extinção, com ou sem moagem. Têm a propriedade de fazer presa e endurecer debaixo de água. O dióxido de carbono atmosférico contribui para o processo de endurecimento.” São classificadas mediante a sua resistência à compressão. Podem-se considerar como intermédias entre a cal aérea e o cimento.

Tabela 18: Resistência à compressão de cal hidráulica e da cal hidráulica natural (NP EN 459-1; 2002)

Tipo de cal de construção	Resistência à compressão	
	MPa	
	7 dias	28 dias
HL 2 e NHL 2	-	= 2 a = 10
HL 3,5 e NHL 3,5	-	= 3,5 a = 14
HL 5 e NHL 5	= 2	= 5 a = 20

HL 5 e NHL 5, com uma massa aparente inferior a 0,90 kg/ dm<sup>3</sup>, podem ter uma resistência até 20 MPa.

A calcinação faz-se a temperaturas que rondam os 1000°C dando-se a dissociação dos elementos argilosos em aluminatos e silicatos de cálcio bem como cal livre (CaO) que posteriormente se extinguirá por processos industriais. No final da extinção obtém-se o produto em pó que poderá ser refinado por moagem originando o *grappier* de qualidade superior. Apresentam diferentes graus de hidraulicidade que se relacionam com os tempos de presa e com a resistência mecânica. Com efeito é a hidraulicidade que distingue os dois subgrupos de argamassas de cal, esta confere uma melhor trabalhabilidade, resistências mecânicas adequadas, boa aderência e maior qualidade para a construção civil. As argamassas realizadas com cal hidráulica apresentam como vantagens principais em relação a outros ligantes fissurabilidade e fendilhamentos mínimos, menor capilaridade e maior impermeabilização do suporte, adequada resistência à compressão e boa trabalhabilidade.

Em complemento, as cais aéreas são classificadas de acordo com as suas condições de fornecimento, em cal viva (Q) ou cal hidratada (S). No caso particular de cais dolomíticas hidratadas, o grau de hidratação é identificado por S1: semi-hidratada, ou por S2: totalmente hidratada.

As argamassas de cal assumem relevância no mercado sobretudo no campo da reabilitação de edifícios antigos pois há a necessidade de compatibilizar as características da argamassa com as do suporte. O seu fornecimento pode ser feito em saco ou a granel e o seu armazenamento toma lugar em espaços obrigatoriamente isentos de humidade. Cabe ao fabricante assegurar que se realizam os ensaios específicos excepto se estes produtos já dispõem de marcação CE. O armazenamento não deve ser prolongado sob pena de alteração das propriedades.

### 2.3.2.2 Ligantes de gesso



Fig.16- Reboco em gesso

O uso de gesso na construção civil vem desde a antiguidade até aos tempos modernos, no entanto não teve um ritmo crescente na sua utilização. Actualmente é reconhecida a sua importância no reboco interior de tectos e paredes. Apresenta-se na natureza sob a forma de anidrite cristalizado (anidrite- $\text{SO}_4\text{Ca}$ ) e sulfato de cálcio hidratado com duas moléculas de água ( $\text{SO}_4\text{Ca}, 2\text{H}_2\text{O}$ ), denominado de pedra de gesso. É um material resultante da desidratação total ou parcial da pedra de gesso. Depois de triturado e amassado com água recupera a cristalização endurecendo [12].

A temperatura relativamente baixa, da ordem dos  $150^\circ\text{C}$ , a água é parcialmente evaporada ficando uma molécula de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ligada a duas moléculas de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ). O produto resultante desta reacção surge em forma de pó branco que com adição de água recristaliza, expandindo ligeiramente e formando o hidrato original, um sólido rígido. Enquanto esta reacção decorre dá-se uma presa muito rápida que proporciona uma adesão rígida ao suporte poucos minutos após colocação da argamassa [6].

Se a pedra de gesso for calcinada a temperaturas acima de  $350^\circ\text{C}$ , que possibilitem a evaporação total da água, forma-se um composto chamado anidrite que só pode ser transformado em gesso por hidratação na presença de um composto catalizador. Este composto pode ser o óxido de cálcio que se forma durante a calcinação portanto este processo vai depender do tempo e temperatura de calcinação.

Como vantagens principais do uso de gesso incluem-se a facilidade de obtenção de matéria-prima, presa rápida e baixas temperaturas de produção. Os principais inconvenientes da sua utilização são a

baixa resistência e a solubilidade nas águas pluviais o que limita o seu uso apenas em climas secos ou no revestimento e decoração do interior dos edifícios.

O fornecimento de gesso realiza-se a granel e o armazenamento é feito em zonas isentas de humidade.

### 2.3.2.3 Ligantes de cimento



Fig.17- Preparação de cimento

A palavra Cimento vem do latim “ Caementum” e designa um material mineral ligante com propriedades hidráulicas, constituído por pós muito finos que amassados com água formam uma pasta que endurecendo confere grande coesão e resistência ao conjunto que pretende aglomerar [3].

O cimento é de forma inequívoca o ligante mais utilizado na composição de argamassas. Do conjunto dos aglomerantes é aquele sobre o qual se debruça mais atenção devido às suas propriedades hidráulicas muito favoráveis a par das vantagens económicas que acarreta.

A importância do cimento como material de construção em Portugal tem uma expressão mais do que evidente sendo a sua produção de aproximadamente de sete milhões de toneladas por ano [12].

O processo de fabrico do cimento prende-se inicialmente com a extracção de matérias-primas que se faz através da exploração de pedreiras. A extracção do minério é feita normalmente a céu aberto, seja em bancos ou em andares, seja em secções verticais a toda altura da jazida do minério.

O cimento *portland* artificial cinzento é obtido a partir de uma mistura devidamente proporcionada de calcário (carbonato de cálcio), argila (silicatos de alumínio e ferro) e, eventualmente, outros constituintes ricos em sílica (areia), alumina (bauxite) ou ferro (granalha) [3].

No caso do cimento branco, o teor de óxido de ferro é aproximadamente nulo. Não é utilizada granalha e as matérias são de cor branca. O material, após extracção, apresenta-se em blocos com dimensões que podem ir até ao 1m<sup>3</sup>. Estes blocos são reduzidos de tamanho em britadores. No processo industrial de fabricação de cimento é necessário prever a armazenagem de uma grande quantidade de matérias-primas, acção que pode ser combinada com uma função de pré-homogeneização. Estas matérias-primas depois de seleccionadas são doseadas, tendo em consideração a qualidade do produto a obter – clínquer. A moagem das matérias-primas em moinhos especializados

conduz à obtenção do cru - uma mistura finamente moída em proporções bem definidas. O cru é depois cozido nos chamados “fornos rotativos”, constituídos por um tubo rotativo revestidos de material refractário que confere protecção ao tubo e reduz as perdas térmicas capazes de atingir temperaturas muito altas. Para possibilitar a cozedura do cru são necessários 1450°C no cimento comum e de 1550°C no cimento branco. Na cozedura do cimento branco não se podem utilizar combustíveis de carvão. Este processo de cozedura tem o nome de clinquerização. Depois da formação completa do clínquer dá-se o processo de arrefecimento em arrefecedores industriais especializados como os de satélite, grelha ou tambor rotativo [12].

Na obtenção de clínquer por cozedura do cru, as transformações sofridas são [12]:

- Até 100°C: evaporação da água livre;
- Cerca de 500°C: desidratação das argilas;
- Cerca de 900°C: cristalização dos minérios resultantes e decomposição do carbonato;
- De 900°C a 1200°C: reacção de cal com os silicatos e aluminatos;
- De 1250°C a 1280°C: início da fusão;
- Acima de 1280°C: formação dos compostos e do clínquer.

As reacções químicas associadas às transformações supracitadas são bastante complexas pelo que serão abordadas neste trabalho superficialmente. São estas:

- Entre 800ª e 900°C forma-se o silicato monocálcico;
- Entre 900º e 1200°C ao aumentar a proporção de óxido de cálcio, forma-se o silicato bicálcico;
- Entre 1200°C e 1300°C forma-se o aluminato tricálcico e o ferro aluminato tetracálcico;
- A 1260°C dão-se as primeiras formações em fusão;
- Entre 1260 e 1450°C o silicato bicálcico reage com mais uma molécula de sal dando lugar ao silicato tricálcico.

O clínquer de um cimento *portland* é constituído por silicatos tricálcicos e bicálcicos que lhe conferem a elevada resistência mecânica, o aluminato tricálcico tem um efeito considerável na resistência até aos vinte e oito dias depois o seu efeito torna-se pouco expressivo. O clínquer depois de sair do forno é arrefecido e está sob a forma de uma pedra muito dura e inerte que após moagem se adiciona o radial SO<sub>3</sub> presente no gesso, é o retardador de presa indispensável no cimento *portland* comum. Na sua ausência, o clínquer pulverizado poderia ganhar presa muito rápida até quando em contacto com o ar. Depois de este processo estar concluído o cimento vai para silos onde permanece até ao momento de ensacagem. Quando o fornecimento é feito a granel é transferido do silo para camiões cisterna que o conduzirão ao estaleiro de obra [3].

O fabricante de argamassas é responsável pelos ensaios que permitem verificar a sua conformidade com a norma europeia de cimentos, excepto quando no seu fornecimento já são disponibilizados com marcação CE (certificado de qualidade). Os cimentos comuns (CEM) encontram-se normalizados na norma EN 197-1, por sua vez os cimentos brancos (BR) estão contemplados segundo a norma NP 4326. A selecção e dosagem dos cimentos têm de ser estabelecidas em função da aplicação da argamassa.

Em Portugal são utilizados correntemente três tipos de cimento, conforme o exposto na tabela 19 que se segue:

Tabela 19: Tipos de cimentos fabricados em Portugal [3]

Tipos principais	Tipos de cimento corrente em Portugal		Constituintes principais (%)			Constituintes adicionais minoritários (%)
			Clinker	Calcário	Cinza Volante Siliciosa	
			K	L	V	
CEM I	Cimento Portland	CEM I	95 – 100	-	-	0 – 5
CEM II	Cimento Portland de Calcário	CEM II/ A-L	80 – 94	6 – 20	-	0 – 5
		CEM II/ B-L	65 – 79	21 – 35	-	0 – 5
CEM IV	Cimento Pozolânico	CEM IV/ A	40 – 64	-	11 - 35	0 – 5

As classes de resistência e requisitos físicos, previstos na norma EN 197-1, são apresentados na tabela 20.

Tabela 20: Classes de resistência e requisitos físicos dos cimentos [3]

Classe de Resistência	Resistência à compressão			Tempo de início de presa	Expansibilidade
	Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência		
	2 dias	7 dias	28 dias		
32,5 N	-	≥16,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75
32,5 R	≥ 10,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60
42,5 N	≥ 10,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45
42,5 R	≥ 20,0	-	-	-	≤ 10
52,5 N	≥ 20,0	-	-	-	-
52,5 R	≥ 20,0	-	-	-	-

Na tabela 21 apresentam-se os valores médios dos parâmetros de maior relevo do cimento nas argamassas de alvenaria e de reboco.

Tabela 21: Valores médios dos parâmetros de maior relevo do cimento [3]

Designação	Parâmetros de maior relevo do cimento para a Indústria de Argamassas Industriais					Aplicação
	Resistência 28d [MPa]	Blaine [cm <sup>2</sup> /g]	Sulfatos [%]	Expans. [mm]	Cal Livre [%]	
CEM II/ A-L 42,5 R	54	3.975	3,3	0,8	1,3	Rebocos
CEM II/ B-L 32,5 N	40	4.493	2,9	0,8	1,1	Rebocos Argamassas alvenaria
CEM IV/ A (V) 32,5 R	44	4.326	2,8	0,6	1,2	-
CEM II/ B-L 32,5R (br)	45	4.964	2,7	0,8	1,8	Rebocos

### 2.3.3 ADJUVANTES E ADIÇÕES

O desenvolvimento tecnológico na formulação de argamassas está associado à utilização de adjuvantes e aditivos. Estes são cada vez mais usados com o fim de alterar determinadas propriedades das argamassas de modo a se obter determinada prestação específica. Assim o desenvolvimento global obriga a resposta constante a novas necessidades por parte dos materiais de construção o que permite compreender o papel destas substâncias. Com efeito, permitem, melhorar a trabalhabilidade, acelerar ou retardar a presa, acelerar o endurecimento nas primeiras idades, aumentar a resistência aos ciclos gelo/ degelo, diminuir a permeabilidade aos líquidos, impedir a segregação e sedimentação dos seus constituintes, criar uma ligeira expansão na argamassa, produzir argamassas coloridas entre outro grande número de efeitos de importância menor. Entre todos estes efeitos, salienta-se a capacidade de produzir argamassas leves.

#### 2.3.3.1 Adjuvantes

De acordo com o Dicionário Técnico (EMOdic), versão Portuguesa, editado pela EMO- European Mortar Industry Organization baseado nas normas EN 13318; EN 998-2, “adjuvante é todo o material orgânico ou inorgânico adicionado em pequenas quantidades com o objectivo de modificar as propriedades da argamassa fresca ou endurecida.” Faz-se a distinção entre aditivos e adjuvantes [13]. A diferença reside na quantidade de substância adicionada sendo inferior a 5% da massa do cimento que se adiciona na amassadura para os adjuvantes e superior a 5% desta massa para os aditivos [14].

No sector da indústria das argamassas, a terminologia mais corrente denomina de aditivos e adições respectivamente aos adjuvantes e aditivos. A classificação adoptada pelo Grupo de Trabalho da RILEM (Reunião Internacional dos Laboratórios de Ensaios de Materiais) adoptada na conferência de Paris em 1967 é a seguinte: [6]

- Modificadores da reologia da massa fresca;
- Modificadores do tempo de presa;
- Impermeabilizantes e Hidrófugos;
- Expansivos.

- **Modificadores da reologia de massa fresca**

Os adjuvantes modificadores da reologia da massa fresca são produtos que permitem alterar a consistência da massa. Estes podem ser classificados em:

**-Plastificantes/ redutores de água** – têm uma acção dispersiva nas partículas do ligante aumentando a sua superfície específica e facilitando a sua hidratação. Estes efeitos envolvem a diminuição da relação água/cimento, garantindo a mesma trabalhabilidade e a diminuição da permeabilidade. Como efeitos secundários surgem o retardamento da presa e uma redução das resistências iniciais. A curto prazo as propriedades mecânicas são afectadas mas estes aditivos permitem a obtenção de aumentos consideráveis de resistência.

**-Introdutores de ar** – modificam a reologia da massa fresca pela introdução de pequenas bolhas de ar. Os introdutores de ar são formados por moléculas orgânicas que em solução aquosa, se dissociam em iões complexos, cujo agrupamento polar é absorvido pelas superfícies das partículas finas do cimento e agregados. Este agrupamento polar faz com que se formem pequenas bolhas de ar fechadas de forma esférica que ficam no espaço entre o cimento e o agregado. Constituem-se como um corte na capilaridade dos cimentos, melhorando a capacidade de impermeabilização e a resistência aos ciclos gelo - degelo.

**-Plastificantes/ introdutores de ar** – Existem adjuvantes químicos que combinam os dois efeitos. Apresentam as vantagens dos dois tipos de aditivos actuam como fluidificantes introduzindo uma pequena quantidade de ar.

**-Retentores de água** – estes produtos são reguladores da perda de água de amassadura durante o processo de secagem, evitando que se produzam fissuras por retracção. Contribuem para obter uma boa aderência ao suporte e uma boa viscosidade da pasta. Na sua concepção é necessário ter em atenção que uma argamassa com pouca água não consegue uma cristalização do cimento eficiente não tendo qualidade e acarretando patologias. Por outro lado água em excesso acarreta problemas na secagem e dificuldades de acabamento.

**-Promotores de aderência/coesivos** – são normalmente constituídos por resinas sintéticas. Estes materiais quando combinados com ligantes hidráulicos, aumentam a aderência da massa fresca a qualquer substrato, dificultando a segregação. Contribuem também para aumentar a capacidade de impermeabilização das argamassas.

- **Modificadores do tempo de presa**

São produtos que modificam o tempo de presa e o desenvolvimento da resistência da argamassa durante o seu envelhecimento. São classificados como:

-**Activadores de endurecimento** – produtos que aceleram o desenvolvimento da resistência da argamassa, reduzindo em pouca proporção a trabalhabilidade da argamassa fresca.

-**Aceleradores de presa** - produtos que aceleram a presa e, conseqüentemente, o desenvolvimento da resistência da argamassa. Reduzem bastante o tempo e trabalhabilidade da massa. As resistências aos ciclos gelo/ degelo também são drasticamente reduzidas. O uso destes aceleradores não é, face a estas desvantagens, recomendado. É aconselhável procurar alternativas ao seu emprego sempre que seja possível.

-**Retardadores de presa** – são produtos que fazem com que as reacções de hidratação associadas aos mecanismos de endurecimento se processem mais lentamente. Actuam reduzindo a solubilidade dos compostos de hidratação do ligante aumentando a viscosidade da massa e o tempo de trabalhabilidade da massa fresca.

- **Impermeabilizantes e hidrófugos**

O objectivo do seu emprego é o impedimento da penetração ou circulação da água na argamassa. Actuam modificando a sua estrutura porosa preenchendo os vazios na pasta de cimento hidratado reduzindo a capilaridade da argamassa. O seu uso tem como vantagens a redução da deterioração por acção dos ciclos gelo/ degelo e a redução da possibilidade de ocorrência de eflorescências.

- **Expansivos**

Os adjuvantes expansivos têm como finalidade induzir uma resistência à retracção através de uma ligeira expansão sem alterar a coesão e resistência da mistura no estado endurecido.

A ligeira expansão referida induz um aumento da fluidez das argamassas que conseqüentemente provoca um aumento da aderência e melhoria da retenção de água na massa fresca. Durante a presa a retracção é evitada proporcionando-se um aumento da plasticidade e uma diminuição da relação água cimento. Contudo, no estado endurecido, o emprego deste aditivos tem como consequência uma redução da densidade e das resistências mecânicas das argamassas.

### 2.3.3.2 Adições

As normas EN 998-2 e EN 13318 definem adições como materiais inorgânicos finamente divididos que podem ser adicionados à argamassa com o objectivo de obter ou melhorar propriedades específicas. Usualmente distinguem-se adições de dois tipos: as adições praticamente inertes e as adições pozolânicas ou hidráulicas.

- **Adições praticamente inertes**

Quanto a este tipo de aditivos, podem considerar-se:

**-Cargas (*Fillers*) minerais** – São materiais inorgânicos, naturais ou artificiais, correntemente definidos como agregados cuja fracção maior passa no peneiro de 0,063mm.

Devido à sua granulometria, os *fillers* melhoram as propriedades físicas das argamassas nomeadamente a trabalhabilidade.

**-Pigmentos inorgânicos** - Pós muito finos de cor específica com a função de conferirem uma determinada coloração à argamassa. São usados em argamassas de revestimento.

- **Adições pozolânicas ou hidráulicas**

Quanto a este tipo de aditivos, são de salientar os materiais seguintes:

**-Materiais pozolânicos naturais ou artificiais** - Maioritariamente compostos de sílica e alumina que individualmente não têm propriedades hidráulicas ou aglomerantes. Estes compostos são adicionados às argamassas com o intuito de reagirem em presença da água e determinados constituintes dos ligantes, tais como o hidróxido de cálcio, conferindo grande estabilidade à mistura.

**-Cinzas Volantes** – São resíduos sólidos industriais constituídos por partículas muito leves que se obtêm por precipitação electrostática ou captação mecânica das poeiras contidas no fumo produzido pela queima de combustível, nas centrais termoeléctricas a carvão. São cinzas de combustível pulverizadas apresentam-se sob a forma de um pó muito fino. A composição química das cinzas está essencialmente dependente das características dos carvões queimados e das que estes possam conter pelo que é necessário saber se contém substâncias que possam ser prejudiciais para as argamassas e betões.

**-Sílica de Fumo** - A sílica de fumo é um subproduto industrial obtido durante a produção do silício e das ligas de ferro-silício em fornos eléctricos, devido à redução do quartzo puro pelo carbono. É constituída por partículas esféricas muito pequenas apresentando um elevado teor de sílica no estado amorfo.

**-Escória de alto-forno** - A escória granulada de alto-forno é um subproduto não metálico obtido simultaneamente com o ferro fundido em alto-forno e arrefecido bruscamente desde o estado de fusão por meio de água, vapor de água ou ar, adquirindo deste modo a forma granular. A maior parte da sua massa está no estado amorfo, ou seja, pode ser rígida mas não apresenta uma estrutura de material no estado sólido.

Hoje em dia, para além das adições acima referidas, utilizam-se uma grande diversidade de substâncias que conferem uma grande variedade de efeitos na formulação de argamassas e betões, há que ter sempre presente que as propriedades exigidas pelas normas não são comprometidas e que estes produtos não tenham outros efeitos prejudiciais. Deste modo o fabricante deve ter em sua posse os resultados dos ensaios efectuados e outras informações relevantes sobre os produtos a adicionar às argamassas. Caso esta informação não seja disponibilizada pelo fornecedor cabe ao fabricante de argamassas proceder à realização dos ensaios para garantir que se cumprem as especificações normativas.

### 2.3.3.3 Água

A água utilizada para a amassadura deve ser, de preferência, potável, ou seja, deve ser isenta de impurezas (argila, matéria orgânica) uma vez que estas podem afectar os componentes das argamassas alterando as suas propriedades. A quantidade de água recomendável é usualmente referida pelo fabricante. A quantidade de água a adicionar, no entanto, é o mais importante aspecto a ter em conta e que, segundo a norma EN 1015-2, é determinado pela relação entre massa volúmica da argamassa em estado fresco e o índice de consistência, traduzido pelo valor obtido no ensaio de mesa de espalhamento. Para tal, apresenta-se a tabela 22 seguinte:

Tabela 22: Definição do valor de espalhamento de vários tipos de argamassa de acordo com a massa volúmica em estado fresco (EN1015-2: 1998) [6].

Massa Volúmica da argamassa em estado fresco (kg/ m <sup>3</sup> )	Valor de espalhamento (mm)
> 1200	175 ± 10
> 600 a ≤ 1200	160 ± 10
> 300 a ≤ 600	140 ± 10
≤ 300	120 ± 10

Pelas características e propriedades que se sumariaram neste capítulo, encontra-se a conjuntura no que concerne às argamassas leves, alvo de estudo deste trabalho.

No entanto, importa referir que todos estes constituintes descritos são também utilizados na formulação das várias argamassas leves. Sem esta síntese descritiva, acima apresentada, parece-nos impossível contextualizar, quer normativamente, quer estruturalmente, as argamassas leves. No capítulo que se segue apresentar-se-ão os aspectos mais relevantes sobre este material de construção, que permitirão a sua caracterização bem como, posteriormente, avaliar possíveis aplicações em alvenarias.

# 3

## ARGAMASSAS LEVES

### 3.1. MICROESTRUTURA POROSA DAS ARGAMASSAS

#### 3.1.1. INFLUÊNCIA NO SEU COMPORTAMENTO

Os materiais aligeirados são aqueles que têm origem em densidades normais e mediante algum procedimento faz-se diminuir a sua densidade. Este procedimento consiste em ocupar parte do seu volume com algum material de muito menor densidade. No caso das argamassas leves, os agregados leves desempenham esta função.

Pensa-se ser muito importante a caracterização da estrutura porosa das argamassas leves para compreender o seu comportamento e as respectivas diferenças resultantes, comparativamente às argamassas de peso normal. De seguida, para tal, faz-se essa referência.

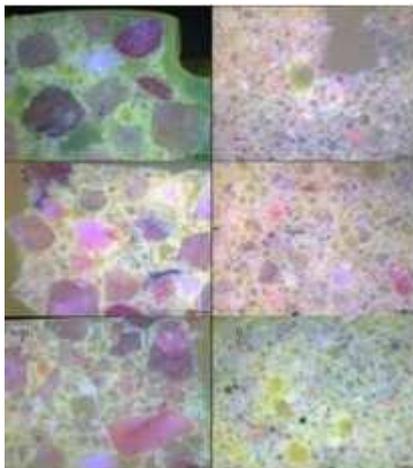


Fig.18- Diferentes tipos de microestruturas porosas de argamassas

Todas as argamassas são materiais porosos, o seu desempenho é dependente em grande parte das propriedades da sua microestrutura, que por sua vez é condicionada por um conjunto de factores: a escolha dos componentes da mistura, o traço, a cura, os procedimentos de aplicação e o tipo de suporte [15]. A estrutura das argamassas leves enquadra-se assim neste contexto, de acordo com as mesmas condições, mas a sua porosidade é muito maior.

A granulometria e o volume de vazios dos agregados desempenham um papel determinante nas propriedades da microestrutura morfológica das argamassas, isto é, nas dimensões, quantidade e forma dos poros. O estudo da influência da estrutura porosa no comportamento das argamassas leves necessita de um esclarecimento sobre o conceito de estrutura porosa e da forma como pode ser analisado, uma vez que todos os materiais aligeirados apresentam uma estrutura morfológica celular.

Importa definir material poroso como sendo aquele que cumpre pelo menos uma das seguintes condições, sendo que contenham espaços intersticiais não preenchidos por matéria sólida (poros), distribuídos na matriz sólida ou semi-sólida (estes espaços são geralmente ocupados por um fluido como ar, água ou vapor de água), e/ ou sejam permeáveis ao fluxo de diversos fluidos, assumindo neste caso a designação de materiais porosos permeáveis [15].

Existem dois tipos de propriedades na estrutura porosa: as macroscópicas e as microscópicas. As macroscópicas dizem respeito às características globais do material, definindo o seu comportamento integrado. As segundas estão relacionadas com a escala atómica e molecular.

O comportamento macroscópico é resultado dos inúmeros comportamentos microscópicos do material. A estrutura porosa assume uma enorme complexidade na dimensão microscópica. Em todas as argamassas, bem como nas argamassas leves, estas propriedades são a porometria e a geometria da rede porosa, que engloba a forma dos poros e o modo como se interligam. A dificuldade de definição de dimensão e forma dos poros persiste na medida em que a irregularidade do volume de um poro não permite comparações com geometrias padrão. Actualmente utilizam-se diferentes métodos para estudo das propriedades microscópicas pretendendo caracterizar a estrutura interna dos materiais: porosimetria de mercúrio, microscopia electrónica de varrimento (SEM) e modelação numérica.

Neste trabalho, face a complexidade dos métodos mencionados, encaram-se as propriedades dos materiais como o resultado da sua estrutura interna e o comportamento do material é o resultado do conjunto de propriedades.

As propriedades macroscópicas, mais importantes no contexto deste trabalho, são a porosidade, a área superficial específica, a permeabilidade e a difusividade. As primeiras são características intrínsecas da estrutura porosa, as duas últimas são propriedades de transporte que dependem da porosidade e da superfície específica mas também de outras propriedades microscópicas. Pode-se dizer que a permeabilidade e a difusividade caracterizam a estrutura porosa macroscopicamente de forma indirecta.

As propriedades resultantes da microestrutura morfológica das argamassas manifestam o seu comportamento de modo mais expressivo quanto mais poroso é o material em questão. Por isso, importa definir as propriedades de **porosidade**, **área de superfície específica**, **permeabilidade** e **difusividade**, no sentido de integrar o desempenho das argamassas leves:

- **Porosidade** – corresponde à fracção de volume aparente ocupada pelos poros. Em argamassas leves, o seu valor ultrapassa os 40% [16]. Distinguem-se dois tipos de porosidade: a porosidade aberta, constituída pelos poros que comunicam entre si formando uma rede contínua de vazios; e a porosidade fechada, constituída por poros ou agrupamentos de poros isolados no interior do

material, não constituindo, portanto, uma rede. Como é evidente, apenas a porosidade aberta contribui para o transporte de fluidos através do material. Deve ainda distinguir-se na porosidade aberta um tipo específico de poros: os chamados poros cegos, que apenas contactam com a rede porosa aberta contínua por uma das suas extremidades. A porosidade tem de ser classificada também de acordo com a sua localização no interior do material. Os poros que se encontram entre a matriz de pasta ligante e as partículas de agregado formam a porosidade de interface. Aqueles que se localizam no interior da pasta formam a porosidade de matriz. Estes dois tipos de porosidade podem incluir zonas abertas e zonas fechadas. A porosidade de matriz é mais complexa compreende espaços intersticiais entre os cristais do ligante de dimensão muito reduzida e outro tipos de poros maiores dimensões resultantes da evaporação da água. A zona correspondente à porosidade de interface frequentemente chamada de ITZ (interfacial transition zone)

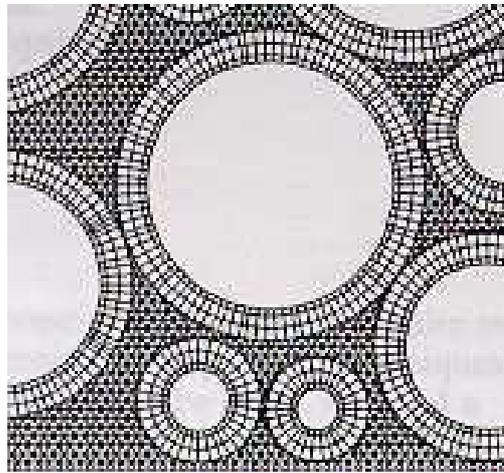


Fig.19- Zona de interface entre pasta de cimento e agregado

- **Área de superfície específica** – definida como a área de superfície das paredes dos poros. É geralmente expressa por unidade de massa ( $S$ ) ou de volume aparente ( $S_v$ ). Por vezes, encontra-se também expressa por unidade de volume absoluto ( $S_o$ ). A superfície específica desempenha um importante papel no transporte de humidade sobretudo porque determina a capacidade de adsorção de moléculas de vapor de água.
- **Permeabilidade específica**- aparece como um conceito dependente das características do material, do fluido e do mecanismo de permeação. Assim, recorre-se a um conceito de permeabilidade para quantificar a influência do material na permeabilidade que depende exclusivamente da sua estrutura porosa.
- **Difusividade** é representada por um coeficiente de transporte relacionado com a difusão de um fluido (líquido gás ou ião) sob um determinado gradiente de concentração aplicado existente. Um exemplo comum relacionado com a difusividade em argamassas é a difusão do vapor de água, habitualmente representado pelo coeficiente de permeabilidade ao vapor de água  $\mu$ .

### 3.2. RELAÇÃO ENTRE ESTRUTURA POROSA E COMPONENTES DAS ARGAMASSAS

A estrutura porosa condiciona o comportamento do material endurecido em relação às diferentes acções a que pode estar sujeito. Destaca-se o comportamento mecânico, à absorção de água por capilaridade, à difusão do vapor de água e à acção de sais solúveis. Os diversos componentes que fazem parte da constituição de uma argamassa em conjunto com o traço utilizado e o processo de cura, determinam o tipo de estrutura porosa que se desenvolve no processo de endurecimento. Salienta-se que enquanto o comportamento relativo ao transporte de fluidos é essencialmente o resultado das características morfológicas da estrutura porosa, o comportamento mecânico depende também da natureza mineralógica dos compostos que surgem das reacções de hidratação do ligante e da natureza mineralógica e forma das partículas dos agregados. Pelo que foi dito, uma vez que as argamassas leves são constituídas por agregados leves de características estruturais que muitas vezes incluem matérias-primas não mineralógicas, aponta-se esta razão pelo principal motivo das baixas resistências mecânicas apresentadas pelas argamassas de baixa densidade.

Refere-se que a tensão de rotura do agregado é determinante da resistência mecânica do betão [11] contudo as resistências mecânicas muitas vezes não são a prioridade no comportamento das argamassas, podendo haver diferentes formulações de acordo com o comportamento mais condicionante.

A avaliação da influência da estrutura porosa deve, em primeiro lugar, considerar a influência dos componentes e cura para posteriormente se inferir acerca do comportamento das argamassas.

#### 3.2.1. INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS

Os agregados condicionam a estrutura porosa sobretudo pela forma e pela dimensão das suas partículas, Estes dois aspectos determinam o grau de compactação e o volume de vazios disponível para o alojamento do ligante e da água no material fresco e da pasta de ligante resultante no material endurecido.

A formação de poros resulta essencialmente do excesso de água em relação à necessária para o processo de endurecimento que ao evaporar-se faz surgir os espaços por ela ocupada. Na ausência de componentes especiais como adjuvantes, os poros de maiores dimensões são os que se formam na zona de ligação entre a pasta de ligante e as partículas de agregado (porosidade de interface) e os poros de menores dimensões resultam do endurecimento do ligante (porosidade de matriz).

Agregados finos apresentam maior superfície específica e maior volume de vazios do que os agregados grossos. No entanto a superfície, isto é, a área ocupada por cada partícula é maior para os agregados grossos de maiores dimensões exigindo menor volume de ligante. A superfície específica acrescida para agregados finos implica mais ligações entre o agregado e a pasta ligante o que, por sua vez, implica maior quantidade de água de amassadura para o endurecimento da argamassa consequentemente existem mais poros.

Se os poros de interface resultam da evaporação da água concentrada e tendo em linha de conta o raciocínio anterior, os agregados grossos terão poros de maiores dimensões nesta zona. Pode-se concluir que maiores superfícies específicas dão origem a mais poros de dimensão inferior, portanto agregados grossos originam argamassas com zonas de interface com menor quantidade de poros mas

estes têm maior dimensão que argamassas de agregados finos. A relação entre a dimensão acrescida dos poros de interface e o seu menor número condiciona o valor da porosidade aberta.

### 3.2.2. INFLUÊNCIA DOS LIGANTES

No capítulo 2 já se distinguiram os diferentes tipos de ligantes e o seu processo de endurecimento. Como já foi exposto, as diferenças são grandes entre ligantes aéreos e hidráulicos. No que diz respeito ao comportamento das argamassas, podem ser definidos limites correspondentes ao uso de cal aérea, por um lado, e cimento por outro. Actualmente utilizam-se a cal e/ou cimento em formulações de argamassas de peso normal e leves.

Em argamassas mistas a porosidade aberta diminui com o aumento do teor em cimento. Aponta-se como justificação possível a eventualidade do cimento preencher os poros de maiores dimensões ocupando a progressiva hidratação dos grãos de cimento os espaços vazios. A evaporação de água necessária liberta poros que fazem com que as cais sejam mais leves do que os cimentos. A estrutura porosa vê-se influenciada pelo tipo de ligante. A escolha do ligante não determina as capacidades de desempenho desejáveis das argamassas leves pois estas têm a sua origem no agregado leve que resultam do seu processo de fabrico, como se apresenta posteriormente.

### 3.2.3. INFLUÊNCIA DA CURA

A influência da cura na formação da estrutura porosa de argamassas depende do tipo de ligante. No caso dos ligantes hidráulicos, está relacionada com o tempo de disponibilidade da água durante o processo de endurecimento e no caso dos ligantes aéreos está relacionado com a presença de dióxido de carbono. Como já foi referido, a evaporação de água é a causa principal na formação de poros na pasta ligante pelo que se entende a importância da cura na estrutura porosa das argamassas. Se as condições de cura forem húmidas, as argamassas e betões são mais impermeáveis por redução do volume de capilares e diminuição dos acessos de água. As condições de cura influenciam a porosidade aberta de betões e argamassas à base de ligantes hidráulicos.

Nas argamassas de ligantes aéreos a velocidade de carbonatação também é influenciada pela presença de humidade na argamassa. A duração da cura assume particular importância pois a carbonatação do hidróxido de cálcio é muito lenta podendo demorar anos a completar. Nestes materiais a estrutura porosa vai sendo continuamente alterada. Ao contrário dos ligantes hidráulicos, cujas reacções de hidratação se concluem ao fim de cerca de um mês.

### 3.3. CARACTERIZAÇÃO COMPORTAMENTAL DAS ARGAMASSAS LEVES

Deve salientar-se que, contrariamente ao que sucede na tecnologia do betão, a máxima compactidade possível não constitui um objectivo essencial nas argamassas, na medida em que os requisitos de resistências mecânicas são diferentes dos que se exigem para o betão estrutural [14].

No caso específico das argamassas de reabilitação, até se chega a limitar as resistências mecânicas de forma a tornar a argamassa mais compatível com o suporte antigo “adaptando o novo ao velho” [16]. O que pode ser conseguido usando argamassas bastardas ou argamassas leves. Como em reabilitação de edifícios se pretende fundamentalmente atingir compatibilidade entre as argamassas antigas mais porosas e as de substituição pensa-se oportuna a aplicabilidade de argamassas leves.

As ilações seguintes são consideradas como mais representativas no estabelecimento de relações entre estrutura porosa e comportamento mecânico. A resistência à compressão aumenta com a redução da porosidade aberta; por esta razão, e sendo as argamassas leves mais porosas, são inferiores os valores de resistência à compressão. No que concerne aos ligantes utilizados em formulações de argamassas leves, salienta-se que menores teores de cimento têm como consequência maior número de poros, apesar de não apresentarem os poros de maiores dimensões [15]. As argamassas de cal apresentam um aumento da porosidade associado a um aumento da quantidade de ligante, que se reflecte num aumento da resistência mecânica, ao contrário dos materiais cimentícios. Tal facto deve-se à porosidade facilitar as reacções de carbonatação.

O fenómeno da capilaridade também assume um significado de enorme importância no estudo de aplicação de qualquer tipo de argamassas em alvenarias, designadamente as argamassas leves. A capilaridade é o factor mais relevante da penetração de humidade no estado líquido num reboco e o factor mais determinante da estanquidade das paredes à água. Independente da sua origem, a absorção inicial da água é consequente da acção da capilaridade quer isoladamente quer em conjunto com outras acções como a pressão do vento em situações de chuva. O comportamento de uma argamassa leve e de peso normal, à acção da capilaridade, depende directamente da morfologia da sua estrutura porosa, isto é, da quantidade, dimensão e conectividade dos poros. Neste tipo de comportamento o tipo de ligante e a granulometria dos agregados não são tão condicionantes.

Na prática, o comportamento das argamassas à absorção capilar é geralmente avaliado através da determinação experimental do coeficiente de capilaridade ( $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$ ) frequentemente reportado aos primeiros sessenta minutos de ensaio [15]. Este coeficiente permite pois conhecer a velocidade com que a água é inicialmente absorvida pelo material. Um outro parâmetro assume particular significado: o valor assintótico da curva que relaciona a quantidade de água absorvida por unidade de superfície do provete ( $\text{kg/m}^2$ ) com o tempo ( $\text{s}^{0.5}$ ). Este valor corresponde à capacidade máxima de absorção de água da argamassa. Argamassas com maior porosidade aberta apresentam maior valor assintótico. Na figura 20 apresenta-se um exemplo, para uma determinado conjunto de argamassas submetidas a ensaio, da variação de massa por unidade de superfície imersa em função da raiz quadrada do tempo.

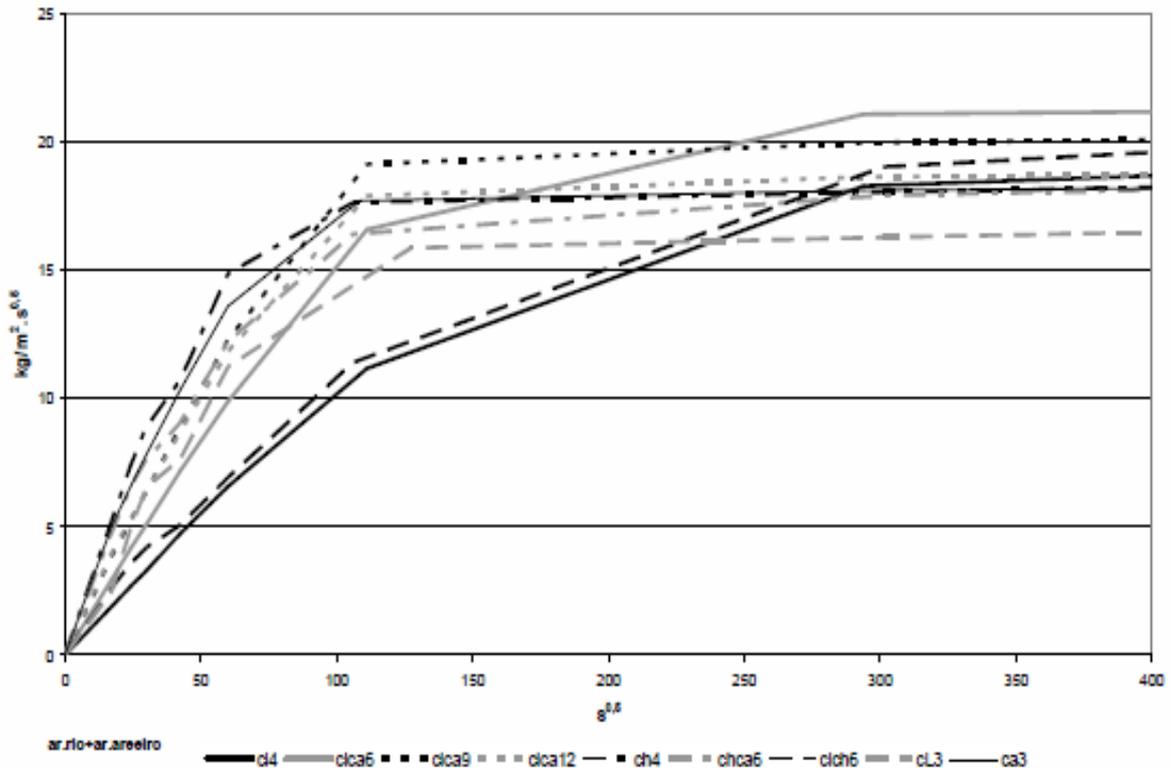


Fig.20-Exemplo de determinação do valor assintótico de um conjunto de argamassas

O objectivo face à acção da capilaridade é o de diminuir a duração do humedecimento do material pois as degradações e patologias estão relacionadas com a presença de água no interior dos materiais. Note-se que a facilidade com que o material tem em secar também é uma variável a ter em linha de conta, deste modo interessa perceber o comportamento da difusão de vapor de água.

Quanto à determinação da difusão do vapor de água, o movimento de vapor obedece às leis da difusão, havendo a tendência de a água absorvida secar por evaporação. A importância deste fenómeno reside no facto da taxa de secagem determinar a duração do humedecimento, pelo que a caracterização do coeficiente de permeabilidade do vapor de água ou coeficiente de difusão do vapor de água  $\mu$  é um indicador da durabilidade das argamassas.

É conhecido que a difusão em argamassas depende essencialmente do volume de espaço disponível para a sua ocorrência, ou seja, da porosidade aberta. Por isso, o coeficiente de difusão do vapor de água aumenta com a porosidade aberta. Deste modo, nas argamassas leves, esperam-se coeficientes de valor mais elevado do que nas argamassas normais. Por outro lado também tem de se considerar a conectividade entre poros entre as faces do material pois poderão existir poros cegos que não permitem a passagem de vapor de água. Neste sentido, para testar a aplicabilidade de qualquer tipo de formulação, pode ser muito útil analisar mais detalhadamente a estrutura porosa. A porosimetria de mercúrio é um exemplo que pode caracterizar a rede de transporte no material que contribui para o fenómeno de difusão. No entanto, posteriormente será abordada de forma mais aprofundada esta relação.

### 3.4. OS AGREGADOS LEVES

Estão disponíveis no mercado actualmente muitos agregados leves diferentes, que permitem a obtenção de várias argamassas leves com diversas características físicas e mecânicas. As características tão variadas dentro da diversidade deste tipo de agregados advém da forma como surgiram na natureza ou foram fabricados.

Seguidamente, caracterizar-se-ão os diversos tipos de agregados leves no que diz respeito às características físicas de cada um, bem como relativamente ao seu processo de fabrico.

#### 3.4.1. ARGILA EXPANDIDA

A forma dos agregados leves é dependente do processo usado no seu fabrico podendo variar desde a angulosa à quase perfeitamente esférica.

A argila expandida, quanto ao seu aspecto exterior, apresenta uma casca dura de cor acastanhada, razoavelmente fechada e de superfície pouco rugosa. Esta camada encerra uma matéria de estrutura alveolar, que tem origem na formação de gases que se expandem no seu interior devido à acção das temperaturas elevadas no forno.



Fig.21- Argila expandida

As argilas podem expandir até sete vezes o seu tamanho inicial. Se os constituintes que libertam gases não estiverem presentes na argila, podem ser incorporados artificialmente durante a preparação da pasta, é muito importante que a composição da argila tenha certas características em termos de teores de sílica, alumina e os fundentes como cal, magnésio, óxido de ferro e álcalis.

As temperaturas podem variar pela ordem dos 1150°C e 1400°C.

Na tabela 23 apresenta-se uma tabela que explicita a composição química com os intervalos em percentagem ponderal dos componentes químicos mais frequentes em argilas expandidas:

Tabela 23: Composição química das argilas com propriedades expansivas

Composto	Intervalo %
$Al_2O_3$	16 a 20
$SiO_2$	50 a 65
$Fe_2O_3$	5 a 9
CÃO	1 a 4
MgO	1.5 a 3.5
$ONa_2 + OK_2$	1.5 a 4.5
$SO_3$	0 a 1.5
S	0 a 1.5
Pedra ao rubro	6 a 8

De acordo com a EN 13055-1, podem designar-se os agregados de acordo com a sua dimensão mínima e máxima, d e D respectivamente. Estas dimensões são referidas às séries de aberturas indicadas na Tabela 1 da secção 4.3 da referida norma. Assim pode-se classificar a argila expandida como LECA 2/4 com a designação comum 2,0/8,0 e a LECA 3/8 por 4,0/16,0.

A argila expandida é um produto quimicamente neutro que não liberta gases, pois estes já foram libertados durante o seu fabrico, e não é deteriorada por parasitas ou fungos. É altamente resistente às mudanças súbitas de temperatura [17].

Tabela 24: Características da argila expandida

Massa volúmica	966 a 1118 kg/ m <sup>3</sup>
Condutibilidade térmica material seco (valor para a maior parte das argilas expandidas)	0,81 W/m .K

As aplicações da argila expandida como material de construção são muito diversificadas. Podem integrar as caixas - de - ar das paredes duplas funcionando como isolante térmico e acústico, intervir na regularização e isolamento de pisos, actuar como drenantes na estrutura dos pisos térreos, constituir camadas de forma de lajes aligeiradas, actuar no isolamento e formação de pendentes de coberturas planas e actuar como regulador de humidade das coberturas ajardinadas.

### 3.4.2. XISTO EXPANDIDO

O processo de preparação do xisto expandido faz-se por expansão, a preparação da matéria-prima é normalmente por via seca.



Fig.22- Xisto (matéria – prima)

O xisto é seco, transformado em pó e misturado ou não com um agente expensor, sendo, posteriormente, misturado com água de modo a formar uma pasta para depois ser extrudido. Geralmente, o xisto expandido é ligeiramente mais pesado e resistente do que a argila expandida.

Tabela 25: Características do xisto expandido

Massa volúmica	450 a 1050 kg/ m <sup>3</sup>
Condutibilidade térmica material seco (valor para a maior parte dos xistos expandidos)	0,13 a 0,93 W/m.K

Os xistos são incorporados em betões destinados à pré-fabricação de blocos ou painéis, etc. Em Portugal não é conhecida produção ou aplicação de granulados de xisto expandido [17].

### 3.4.3. VERMICULITE EXPANDIDA

A vermiculite é um mineral da família da mica composto por silicatos de alumínio ferro e magnésio. A vermiculite expandida resulta do tratamento térmico a temperaturas da ordem dos 700°C, em virtude das quais esta se expande exfoliando-se aumentando o seu volume inicial de 20 a 30 vezes. É um mineral lamelar.

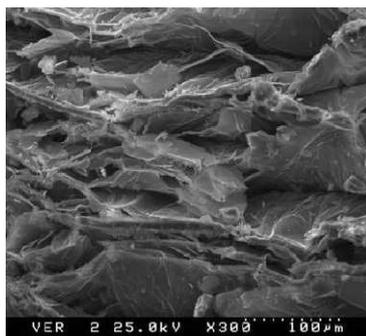


Fig.23- Microestrutura da vermiculite expandida

O tamanho maior da vermiculite oscila entre os 5,6 e 16mm e o menor tamanho entre 0,71mm.



Fig.24- Vermiculite

A composição química média da vermiculite expandida encontra-se descrita na tabela 26.

Tabela 26: Composição química da vermiculite

Composto	Intervalo %
$Al_2O_3$	6 a 15
$SiO_2$	35 a 45
$Fe_2O_3$	7 a 11
$H_2O$	6 a 12
MgO	21 a 27
Álcalis	0 a 6

A vermiculite expandida, em virtude das boas características e do elevado ponto de fusão, é aplicada na construção em elementos prefabricados, ou não, ou em zonas onde o objectivo é otimizar o comportamento térmico ou a protecção contra incêndio. A aplicação de vermiculite em argamassas,

como posteriormente será discutido, acarreta alguns inconvenientes a acautelar. Denota-se uma forte tendência à retração e redução progressiva do coeficiente de absorção de água devido à sua estrutura lamelar.

Tabela 27: Características da vermiculite expandida

Massas volúmicas aparentes correntes	
Classe granulométrica (mm):	
0 - 1	~ 125 kg/ m <sup>3</sup>
1 - 2	~ 95 kg/ m <sup>3</sup>
3 - 6	~ 80 kg/ m <sup>3</sup>
3 - 10	~ 65 kg/ m <sup>3</sup>
Condutibilidade térmica material seco à temperatura de 20 °C	0.04 a 0.05 W/m.K
Ponto de fusão	1300°C a 1400°C

Normalmente, produzem-se blocos pré-fabricados com a incorporação da vermiculite expandida, bem como betões leves para isolamentos térmicos ou ainda argamassas para aplicação em pavimentos com o fim de otimizar o isolamento acústico e diminuir o peso próprio da laje [17].

#### 3.4.4. PERLITE EXPANDIDA

A perlite é um silicato de origem vulcânica de cor branca. A sua produção assemelha-se à da argila expandida. É um mineral que se encontra em quase todas as zonas do mundo tais como os Estados Unidos, Grécia, Irlanda do Norte, Itália, Japão e Nova - Zelândia.



Fig.25- Perlite

A perlite é extraída e partida com uma dimensão conveniente e conduzida a um forno rotativo horizontal ou vertical que expande aos 900°C por libertação da água em forma de vapor que origina a formação de micro – células fechadas no seu interior aumentando de volume cerca de vinte vezes em relação ao tamanho inicial [17].



Fig.26- Microestrutura da perlite expandida

A composição química da perlite vem descrita na tabela 28:

Tabela28: Composição química da perlite

Composto	Intervalo %
$Al_2O_3$	10 a 16
$SiO_2$	65 a 75
$Fe_2O_3$	~0.9
$H_2O$ (perdida a 800°C/ 900°C)	~3.8
$H_2O$ (perdida a 800°C/ 900°C)	~0.20
$Na_2O, K_2O, CaO$	2 a 4

Algumas características físicas da perlite encontram-se na tabela 29:

Tabela 29: Características da perlite expandida

Massas volúmicas aparentes correntes		
Classe granulométrica (mm):		
	0 – 0.9	40 a 50 kg/ m <sup>3</sup>
	0 – 1.2	50 a 60 kg/ m <sup>3</sup>
	0 – 3.2	75 a 85 kg/ m <sup>3</sup>
Condutibilidade térmica material seco à temperatura de 20 °C		0.05 W/m.K

Como o processo de produção da perlite é semelhante ao da argila expandida as características deste material também são semelhantes, no entanto a densidade da perlite é menor e como consequência esta é menos resistente. Este facto pode constituir uma vantagem ou desvantagem dependendo dos objectivos da sua aplicação. As aplicações da perlite expandida também são muito variadas: aligeirar o peso do solo em coberturas ajardinadas, integrar o isolamento e regularização de pisos, usado como catalizador em explosivos, integrar o isolamento acústico e térmico de paredes de alvenaria, revestimento para protecção ao fogo em estruturas metálicas, etc. Como a perlite é quimicamente inerte é menos susceptível ao ataque de vermes e a colonizações biológicas.

Deste modo, e em conjunto com a argila expandida, deve ser privilegiada a sua utilização em argamassas relativamente aos outros agregados – leves.

#### 3.4.5. PEDRA-POMES

A pedra - pomes é um agregado leve natural de origem vulcânica. A sua leveza reside no facto de o seu interior ser celular. A expansão dos gases na transição da lava do ambiente interior comprimido para o exterior provoca a estrutura celular na lava.

A pedra-pomes é um dos mais antigos agregados leves, sendo utilizado desde a época dos Romanos.

A pedra-pomes é uma rocha ácida rica em sílica e álcalis, tendo como aspecto o de uma rocha rugosa e não vitrificada [17].



Fig.27- Pedra-pomes

A composição química e algumas das suas características físicas estão descritas nas tabelas seguintes:

Tabela 30: Composição química da pedra-pomes

Composto	Intervalo %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13 a 22
SiO <sub>2</sub>	55 a 73
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.7 a 3
CaO	1 a 1.9
MgO	0.3 a 0.4
Álcalis	8.1 a 11.3
Outros	0.1 a 0.3
Pedra ao rubro	1.3 a 2.4

Tabela 31: Características da pedra-pomes

Massa volúmica aparente corrente	500 a 900 kg/ m <sup>3</sup>
Condutibilidade térmica material seco	
massas volúmicas de 400 kg/ m <sup>3</sup>	~0.09 W/m.K
massas volúmicas de 600 a 700 kg/ m <sup>3</sup>	~0.17 W/m.K
Absorção de água em volume	30 a 40% em peso

A pedra - pomes é utilizada na construção civil como material de aterro ou preenchimento (tem óptimas condições térmicas e de baixa densidade). Em argamassas e betões é utilizado como aditivo.

#### 3.4.6. ESCÓRIA DE ALTO-FORNO EXPANDIDA

A escória do alto-forno expandida é um granulado alveolar cristalino resultante do lançamento da escória logo à saída do forno, sobre jactos de água.



Fig.28-Extracção da escória de alto-forno

O vapor de água produzido conduz ao arrefecimento rápido e à formação de pequenas bolhas que formam a estrutura alveolar do agregado.

Se a escória do alto-forno arrefecer lentamente ao ar, resulta, contrariamente, um agregado resistente à abrasão, utilizado em estradas, no betão normal ou pesado, ou ainda como aditivo para argamassas.

Conforme a NF P 17 302, a composição química da escória do alto-forno expandida deve ser como descrito na seguinte tabela:

Tabela 32: Composição química da escória de alto-forno expandida

Composto	Intervalo %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13 a 24
SiO <sub>2</sub>	29 a 38
FeO	≤ 4
CaO	38 a 48
MgO	≤ 6
MnO	≤ 2
SO <sub>3</sub>	≤ 0,5
S	≤ 2

No que respeita às características físicas da Escória do alto-forno, elas, estão resumidas na tabela 33:

Tabela 33: Características da escória de alto-forno expandida

Massa volúmica aparente	
Classe granulométrica (mm):	
0 - 6.3	≤ 1000 kg/ m <sup>3</sup>
6.3 – 12.5	≤ 900 kg/ m <sup>3</sup>
12.5 - 25	≤ 800 kg/ m <sup>3</sup>
Condutibilidade térmica material seco	~ 0.13 W/m.K
Absorção de água após imersão durante 24 h	19 a 25% em peso

### 3.4.7. CINZAS VOLANTES

As cinzas volantes descrevem-se como resíduo resultante da combustão de carvão em pó nomeadamente nas centrais termo eléctricas a temperaturas que podem atingir os 1500°C e são constituídas maioritariamente de material vítreo de dimensões geralmente inferiores a 200µ.

O agregado leve resulta da aglomeração das cinzas volantes em grânulos com a ajuda da água, sendo posteriormente sujeitos a uma temperatura que permite a “soldadura” entre os grãos. A temperatura de coesão é normalmente de 1200°C.

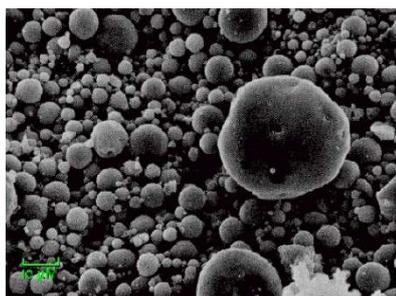


Fig.29- Microestrutura das cinzas volantes

A composição química é descrita no quadro 34:

Tabela 34: Composição química das cinzas volantes

Composto	Intervalo %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32
SiO <sub>2</sub>	50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.5
CaO	1.7 a 2
MgO	2
K <sub>2</sub> O	4.5
Na <sub>2</sub> O	0.8
SO <sub>3</sub>	0.1 a 0.3
Pedra ao rubro	5 a 8

Quanto às restantes características físicas e mecânicas, estas encontram-se resumidas no quadro 35:

Tabela 35: Características das cinzas volantes

Massa volúmica aparente	
Classe granulométrica (mm):	
0 - 5	~ 1040 kg/ m <sup>3</sup>
5 - 8	~ 835 kg/ m <sup>3</sup>
8 - 13	~ 770 kg/ m <sup>3</sup>
Condutibilidade térmica material seco	~ 0.14 W/m.K
Absorção de água após imersão durante 24 h	18 a 20% em peso

#### 3.4.8. POZOLANAS

A pozolana, também de origem vulcânica com estrutura interna alveolar, é considerada escória de alto-forno expandida de lava vulcânica.



Fig.30- Pozolanas

A composição das pozolanas Francesas vem descrita no quadro 7:

Tabela 36: Composição química das Pozolanas

Composto	Intervalo %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12 a 24
SiO <sub>2</sub>	43 a 55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8 a 20

### 3.4.9. POLIESTIRENO EXPANDIDO

O poliestireno expandido é o agregado mais leve. Constituído por um polímero, expande-se por libertação um gás do seu interior em presença do vapor de água. Na construção civil o poliestireno é essencialmente utilizado como isolante térmico, não absorvendo praticamente água.



Fig.31- Poliestireno expandido

Quando é utilizado no betão, é submetido a um tratamento prévio com vista à criação de uma capa em torno dos grânulos para promover a aderência ao cimento. Consoante as dosagens de cimento e areia, obtêm-se betões leves com massas volúmicas que variam entre 300 kg/m<sup>3</sup> e 1000 kg/m<sup>3</sup> e resistências de entre 0.2 MPa e 1.3 MPa, respectivamente. A tabela 37 apresenta as características deste agregado leve.

Tabela 37: Características do poliestireno extrudido

Massas volúmicas aparentes	12 a 14 kg/ m <sup>3</sup>
Condutibilidade térmica material seco à temperatura de 20°C	~0.035W/m.K

### 3.4.10. VIDRO EXPANDIDO

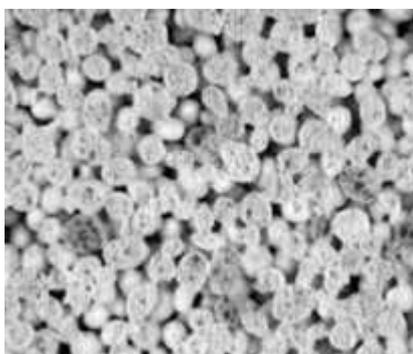


Fig.32- Vidro expandido

O vidro expandido resulta da reciclagem do vidro doméstico e do vidro industrial. O vidro, após ser moído, é misturado com um agente expensor, granulado e introduzido num forno onde expande. Os grânulos variam entre os 3mm e os 5mm com massa volúmica aparente que por sua vez varia entre 150 a 300 kg/m<sup>3</sup>.

#### 3.4.11. AGREGADOS ORGÂNICOS

Os agregados orgânicos têm origem vegetal e advêm dos processos de transformação de madeira um exemplo comum deste tipo de agregados é o granulado de cortiça ou o serrim.



Fig.33- Granulado de cortiça

As características mecânicas do betão leve resultante dos resíduos da madeira varia com a dosagem de cimento.

Como o serrim consiste celulose, além de ácidos, resinas e açúcares que variam com a natureza da madeira, é necessário um pré-tratamento de modo a evitar reacções químicas com o cimento durante a sua hidratação, pelo que a utilização dos resíduos da madeira exige um pré-tratamento rigoroso [17].

### 3.5. INFLUÊNCIA DO AGREGADO LEVE NA MICROESTRUTURA POROSA DAS ARGAMASSAS

Como foi atrás referido, os agregados não são substâncias completamente inertes e influenciam profundamente o comportamento das argamassas.

Nesta parte do trabalho, pretende-se detalhar a forma como os agregados leves influenciam a microestrutura porosa das argamassas leves. Conhecendo melhor a estrutura das argamassas leves, podemos inferir quais as suas características e propriedades que determinam o seu comportamento e retirar as vantagens e inconvenientes face às argamassas correntes.

A investigação existente sobre este assunto sugere que o agregado leve, dada a sua porosidade, absorve água da matriz de ligante circundante, levando a uma redução da porosidade de interface [18]. As argamassas leves apresentam uma zona de transição interface (ITZ) entre a matriz de ligante e o agregado mais densa que as argamassas normais. Este impacto positivo que os agregados leves têm na microestrutura da ITZ melhora as capacidades de transporte e durabilidade das argamassas e betões leves.

Foi avaliado os efeitos da introdução de agregado leve na microestrutura da ITZ [18]. Examinou-se e quantificou-se a estrutura das argamassas pela microscopia electrónica de varrimento (SEM). A porosidade foi também analisada e compararam-se as ITZ circundantes do agregado leve e de agregados normais. Foram preparadas amostras de argamassas leves de argila expandida e cimento *portland* e comparadas com argamassas normais de agregado silicioso. As proporções da mistura encontram-se referidas na tabela 38 seguinte. As características do cimento usado encontram-se descritas na tabela 39 que se apresenta também seguidamente.

Tabela 38: Proporções da mistura para argamassa leve e argamassa normal

Argamassa	a/c	água (kg/ m <sup>3</sup> )	Cimento (kg/ m <sup>3</sup> )	Areia (kg/ m <sup>3</sup> )	Volume de areia (%)
Leve	0.55	436	691	804	40
Normal	0.55	380	691	1060	40

Tabela 39: Características do cimento usado nas misturas

CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SrO
64.2	21.28	5.37	2.40	1.91	3.36	0.07	0.80	0.30	0.09	0.04	0.07

Os resultados deste estudo sugerem que o agregado leve possui maior capacidade de absorção do que o normal. A uma distância entre 10 µm e 40 µm verifica-se que a porosidade das argamassas de

agregados leves na ITZ é menor que a dos agregados normais, é também menor que a porosidade da matriz de cimento.

O processo de absorção de água de amassadura por parte da argamassa faz-se ao nível da superfície específica dos agregados, onde esta reside em maior quantidade, decrescendo com a distância ao agregado. Como o agregado leve é mais poroso retém mais água nos seus poros. Quando esta película de água é reduzida, é atraída mais água proveniente da pasta de cimento, este processo continua até o agregado estar saturado. A película de água a volta do agregado será reduzida de tal maneira que a razão água cimento nesta zona ITZ torna-se inferior à da razão água cimento na argamassa. Este fenómeno não acontece em regiões da matriz situadas a mais de 50  $\mu\text{m}$  da superfície do agregado, pois a matriz cimentícia apresenta o mesmo valor de porosidade para as argamassas analisadas. Os agregados normais têm uma capacidade de absorção pequena em relação aos agregados leves, a água de amassadura que rodeia o agregado normal não é removida e a zona circundante vai ter uma razão água cimento mais alta do que a matriz cimentícia. Nesta zona é maior a porosidade do que na matriz de cimento para os agregados normais.

A espessura da ITZ é definida como a distância da superfície do agregado em que se apresentam níveis de porosidade diferentes dos da matriz cimentícia. A espessura da ITZ em agregados normais é superior à da espessura da ITZ em agregados leves. As figuras 34 e 35 são micrografias SEM de argamassas leves e normais, nestas imagens a zona mais escura representa as regiões de maior porosidade, e pode-se comprovar que os agregados normais são rodeados por uma ITZ mais porosa.

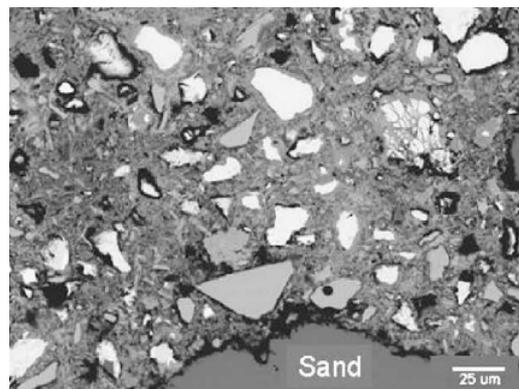


Fig.34- Argamassa de agregado normal

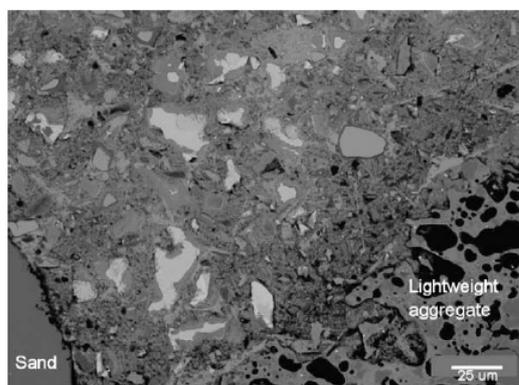


Fig.35- Argamassa de agregado leve

Estas observações micro - estruturais reflectem-se no comportamento das argamassas analisadas. As argamassas leves apresentam maior capacidade de absorção de água do que as argamassas normais.

Quanto à capilaridade, ao contrário do que era esperado empiricamente, as argamassas normais possuem maiores índices de velocidade capilar, o que é atribuído às diferenças das características dos seus poros comparativamente com as argamassas leves. Daqui se pode concluir que as argamassas leves possuem menor número de poros capilares e que a conectividade entre poros é mais reduzida. Tal facto está em concordância com as observações das diferenças microestruturais das ITZ destes dois tipos de materiais. As argamassas leves possuem agregados com poros maiores do que os poros da matriz cimentícia mas, no entanto, estes poros não constituem uma rede contínua e são selados pela pasta de ligante que os rodeia. Por isso, não contribuem de forma significativa para a difusividade das argamassas.

Avaliando a condutividade eléctrica das argamassas, concluiu-se que aos sete dias as argamassas leves apresentam valores inferiores de condutividade relativamente às argamassas normais. Este facto é atribuído da mesma forma às diferenças microestruturais destes dois tipos de argamassas, incidindo a responsabilidade na ITZ das argamassas. Como já foi observado, a ITZ das argamassas leves é densa e a ITZ das argamassas normais é porosa, o que explica estas diferenças de comportamento. Os poros das argamassas leves são selados pelo ligante, o que também interfere na conectividade da rede porosa, que é neste caso determinante para a condutividade.

Relativamente à reacção face ao ataque dos sulfatos, o agregado normal desenvolve expansão significativa a partir dos 140 dias. As argamassas leves não apresentam expansões até aos 300 dias. Conclui-se que a difusão dos iões de sulfato é acelerada nas argamassas normais pelo facto destas possuírem uma ITZ porosa. A ITZ densa das argamassas leves fez com que estas apresentem uma resistência ao ataque pelos sulfatos.

### **3.5. ESTUDOS EXISTENTES DE FORMULAÇÕES CORRENTES DE ARGAMASSAS LEVES – SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA**

Actualmente podem encontrar-se no mercado diferentes tipos de agregados leves para propósitos de construção, cuja escolha é feita de acordo com a composição, densidade, textura superficial, capacidade de absorção de água, capacidade de isolamento térmico e capacidade de isolamento acústico. As argamassas com agregados leves, como já foi atrás referido, apresentam melhor resistência ao ataque dos sulfatos. Alguns agregados leves contêm minerais sensíveis a álcalis, podendo reagir expansivamente com o cimento, a reacção sílica – álcalis pode dar origem a efeitos indesejados como expansão ou eflorescências. Os agregados leves são usados como aditivos para melhorar a trabalhabilidade e diminuir a densidade das argamassas de revestimento. Este tipo de agregados envolve razões de água cimento mais altas que o normal especialmente nas argamassas de revestimento que contêm celulose.

A norma europeia EN 13055-1 indica medidas preventivas, como combinações com agregados não reactivos, limites de saturação da argamassa com água e outros, mas não prescreve especificações sobre métodos de ensaio específicos para avaliação dos efeitos da adição da carga leve. Correntemente, os processos de fabrico mais comuns passam pelo uso de agregados leves que combinem com o cimento ou pela adição de agentes introdutores de ar. Nesta parte do trabalho apresentam-se uma síntese bibliográfica de diversos estudos que abordam várias formulações diferentes de argamassas leves.

No trabalho de Ribeiro *et al* [19], estudou-se a influência de pequenas quantidades de cargas leves (perlite e vermiculite numa argamassas de cimento, cal e areia na proporção 1:1:6. Para tal fez-se a adição de várias percentagens das cargas e avaliou-se a sua acção sobre as propriedades da argamassa. Fez-se também uma comparação entre os dois materiais relativamente à sua eficiência em tornar a argamassa mais ligeira.

Concluíram que a adição de cargas leves condiciona significativamente as propriedades do produto em pasta, é necessário aumentar a quantidade de água de amassadura quando se aumenta a quantidade de cargas leves para não se comprometer a trabalhabilidade da argamassa. Como a perlite é um agregado de menores dimensões acarreta argamassas com maior teor de finos do que na adição de vermiculite.

A massa volúmica aparente da pasta diminui com o aumento da fracção de cargas leves, devido ao aumento da quantidade de ar introduzida na argamassa. A perlite induz maior redução na massa volúmica da pasta em consequência directa da sua menor densidade.

A retracção livre aumenta linearmente com o teor de cargas ligeiras, registaram-se para adições superiores a 2% valores muito acima de 1,2 mm/m, que define o limite de argamassas fortemente susceptíveis a fendilhação. Isto justifica-se pelo facto da adição do agregado leve provocar na argamassa a necessidade de maior quantidade de água de amassadura, maior volume de vazios e superior compressibilidade. Na vermiculite este efeito é mais pronunciado que na perlite pois nesta ocorrem reacções sílica – álcalis expansivas que contrariam este aumento da retracção. No que concerne ao coeficiente de absorção de água por capilaridade registou-se um comportamento contrário entre os dois tipos de agregado leve. A perlite apresenta um aumento deste valor proporcional à sua quantidade na argamassa, um aumento de teor de vermiculite induz uma redução progressiva deste coeficiente. Este facto justifica-se pela diferença microestrutural entre estes dois materiais. A perlite apresenta partículas esféricas e poros de maiores dimensões possuindo maior volume de vazios, a vermiculite é mais compacta e as partículas apresentam uma forma lamelar.

No que diz respeito à resistência mecânica, o módulo de ruptura à flexão, a resistência à compressão e o módulo de elasticidade decrescem substancialmente com a adição de cargas leves, de tal forma que para adição de 10% formam-se estruturas sem qualquer resistência estrutural.

A diminuição da massa volúmica aparente é aumentada pela adição de cargas leves tal como era esperado pelo aumento da porosidade aberta. A perlite origina argamassas leves mais porosas do que a vermiculite.

Torres e Garcia-Ruiz [20] desenvolveram um estudo que avalia a influência da adição de vários tipos de agregados leves na concepção de argamassas leves para revestimento de paredes. Os agregados utilizados foram nomeadamente a perlite expandida, o vidro expandido, micro - esferas ocas e poliestireno expandido. Pretendeu-se determinar a influência na densidade, capilaridade, absorção de água e resistência mecânica que se entenderam como as características mais importantes para o desempenho das argamassas de revestimento.

As amostras ensaiadas eram constituídas, para além da carga leve, por agregado fino de dimensão entre 0,010 e 1,5 mm, cimento branco *portland* Tipo 1 (52.5 R), água potável e um aditivo éter-celulósico para ajustar a retenção de água.

Os investigadores concluíram que a utilização de agregados leves melhora a trabalhabilidade e desempenho das argamassas como revestimento, no entanto o tipo de agregado leve confere a argamassa comportamentos distintos. O poliestireno expandido e a perlite expandida reduzem de

maneira excessiva as resistências mecânicas das argamassas visto que a densidade do agregado influencia fortemente a variação da resistência mecânica. Com efeito Metim Husem [21] num estudo desenvolvido no departamento de Engenharia Civil da Universidade Técnica de Karadeniz (Turquia) chegou à conclusão que quanto melhor as características mecânicas do agregado usado, maior a resistência do betão ou argamassa, num estudo orientado para a comparação entre as resistências mecânicas do betão normal e betão leve. Torres e Garcia-Ruiz [20] sugerem ainda uma correlação linear entre densidade e resistência à compressão com excepção nas amostras com percentagens elevadas de micro - esferas ocas e vidro expandido. Para estes agregados leves (micro – esferas e vidro expandido) as reacções pozolânicas têm repercussões num aumento da resistência das argamassas de cimento. Concluem que preferencialmente se devem utilizar estes agregados pois apresentam comportamento mais adequado no que concerne à capilaridade, absorção de água e resistência mecânica.

Frattolillo *et al* [22] desenvolveram um estudo com o objectivo de estudar as vantagens do uso de hidrófugos nas argamassas leves dado que a elevada porosidade aberta destas pode ser responsável pela sua deterioração na presença de água. Avaliou-se o seu efeito nas propriedades de isolamento térmico de argamassas de cimento e bastardas com agregados de pedra-pomes, de argila expandida e de areia. Para além dos componentes, também se fez variar a razão água cimento das amostras de argamassa. Algumas destas argamassas foram submetidas a tratamento hidrofugante à base de poliuretanos siloxanos/oligosiloxanos e compararam-se com as correspondentes não tratadas. A influência deste tratamento foi observada expondo as amostras a diferentes condições de humidade e medindo a condutividade térmica efectiva. Conclui-se neste estudo que o tipo de agregado e de ligante usado influenciam grandemente a condutividade térmica e que este parâmetro aumenta com o aumento de quantidade de hidrófugo. Todas as amostras sujeitas a este tratamento apresentam condutividade térmica mais baixa que as amostras de argamassa não tratadas, especialmente em condições de elevada humidade. Em relação à difusão do vapor de água observou-se que a transpiração é mais eficaz nas argamassas hidrófugas. O fenómeno de transporte de água por capilaridade é praticamente inexistente. Estas argamassas, como será esclarecido no próximo capítulo, pelas características observadas nos estudos referidos, serão as que apresentam maior adequabilidade na aplicação em alvenarias pois apresentam melhor trabalhabilidade, estanquidade à água e mais baixa condutividade térmica que melhora o desempenho como isolante térmico. No entanto, este comportamento optimizado só é possível recorrendo ao uso de aditivos. Este facto associado ao custo mais elevado do agregado leve em relação ao agregado normal pode comprometer a escolha deste produto como solução ideal.

Morelli *et al* [23] desenvolveram um trabalho que pretende formular uma argamassa leve para o uso na construção civil através da adição combinada de aditivos introdutórios de ar e de cargas pozolânicas que incorporam resíduos industriais. Avaliou-se a influência da utilização de aditivos adequados para a formação de bolhas estáveis combinados com agentes promotores de resistência mecânica que possam compensar as perdas de resistência devido à presença destas bolhas. Este tipo de argamassa destina-se ao fabrico de estruturas leves em que as solicitações mecânicas não sejam condicionantes básicas no seu desempenho exigencial. Podem ser usadas como material de construção para o revestimento interior e exterior de paredes. As argamassas formuladas são de cimento *portland* comercial e areia fina no traço 1:2,5:0,5.

Conclui-se que a temperatura da água e as condições de cura influenciaram directamente na resistência das composições, a temperatura de 20°C e em ambiente natural garantiu-se um melhor comportamento para as amostras considerando a resistência mecânica. A variação dos aditivos influenciou

directamente na distribuição do tamanho e quantidade de poros, bem como na resistência mecânica do material. A modificação na porosidade foi obtida através do aditivo orgânico introdutor de ar enquanto que a resistência mecânica à compressão uniaxial foi obtida através da adição de resíduo industrial. A amostra com 0,25% de percentagem ponderal de aditivo orgânico e 5% de resíduo pozzolânico apresentou maior resistência à compressão uniaxial que neste estudo foi o critério escolhido para definir a qualidade e aplicabilidade da argamassa. Concluíram que a combinação de aditivos que modificam a porosidade com aditivos que promovam a resistência mecânica é uma metodologia que confere às argamassas leves um leque muito amplo de aplicações na construção civil.

A preocupação por uma melhoria da resistência mecânica em argamassas leves, de modo a melhorar a sua performance e ampliar a sua aplicabilidade foi também abordada num estudo de Mérimo et al. [24] Realizaram um estudo em que se pretende avaliar a melhoria do comportamento mecânico de argamassas leves de argila expandida. Justificam o uso deste agregado leve por ser o que apresenta comercialmente a melhor razão densidade/preço. Para as argamassas analisadas neste estudo, utilizaram-se como referência, as dosagens propriedades e características que a empresa Arlita recomenda nas suas fichas técnicas. O objectivo deste estudo é determinar a influência da granulometria e adição de fibras de vidro no comportamento de argamassas de cimento aligeiradas com argila expandida. Foi também utilizado um aditivo superfluidificante nas argamassas.

Concluiu-se que as argamassas conseguidas apresentam densidades muito inferiores comparativamente com as utilizadas com fins semelhantes pela empresa produtora de agregados leves. Densidades na ordem dos 500 e 600 kg/m<sup>3</sup>. As granulometrias contínuas das amostras ensaiadas apresentam compacidade mais adequadas. Em geral a adição de fibras de vidro nas argamassas melhora a resistência mecânica, esta melhoria depende da máxima dimensão do agregado, do índice de vazios e do comprimento das fibras de vidro. Quando a fibra de vidro é quase completamente coberta pela matriz de ligante a diminuição de índice de vazios e aumento de compacidade alteram-se conseguindo uma argamassa mais adequada. Conseguem-se melhorias mais significativas na resistência à compressão do que na resistência à flexão. Por último concluem que o aumento da resistência por reforço e utilização de granulometria adequada permitem ampliar radicalmente a utilização destas argamassas nomeadamente como materiais constituintes de peças semi-estruturais como painéis pré-fabricados de betão leve em que actualmente se utilizam argamassas de densidades aproximadas de 1800 kg/m<sup>3</sup>.

A inovação no sentido do aumento das resistências mecânicas de modo a viabilizar a aplicação das argamassas leves, surge como uma área de interesse emergente na comunidade científica. De facto, este material de construção tem um grande potencial comercial devido à grande faixa de aplicações possíveis na construção civil em que se pode enquadrar (material refractário, material isolante, material de reparação, material de enchimento, material de revestimento). No próximo capítulo abordam-se as características que as argamassas em geral devem possuir para serem aplicadas em alvenarias. Citam-se as tendências das melhorias de comportamento das paredes de alvenaria. A partir destas exigências e das considerações expostas neste capítulo, infere-se sobre este tipo de aplicação específica das argamassas leves no sentido de avaliar as mais-valias do seu emprego nas paredes de alvenaria.

# 4

## ARGAMASSA NO DESEMPENHO DA ALVENARIA

A Alvenaria Estrutural não tem expressão em Portugal. Os edifícios são executados maioritariamente recorrendo a tecnologias de construção associadas às estruturas de betão. O uso mais comum da alvenaria é no preenchimento de panos de estruturas porticadas de betão armado.



Fig.36- Estrutura porticada de betão armado

No presente existem motivações económicas para o desenvolvimento de tecnologia mais racional e simplificada no domínio das alvenarias justificando-se o investimento técnico e científico. Nos últimos anos têm surgido diversos trabalhos de investigação denotando-se um interesse maior nesta área [25]. Deste modo, este trabalho surge num contexto em que se pretende melhorar o desempenho das paredes de alvenaria e como um complemento aos estudos que existem sobre melhorias das paredes actuando a nível dos elementos. Este estudo permite conhecer as vantagens de uma utilização alternativa de argamassa – a argamassa leve.

Define-se alvenaria como uma estrutura constituída por associação de unidades unidas entre si por argamassa, estas unidades, ou elementos, são “pedras” naturais ou artificiais.

As exigências das paredes de alvenaria já foram descritas no Capítulo 2, neste capítulo aborda-se o papel das argamassas no cumprimento dessas exigências.

Actualmente, o Eurocódigo 6 é o documento normativo que regula a concepção e projecto destas estruturas e distingue oito tipos de argamassas, que são [26]:

- a argamassa convencional, preparada com agregados correntes, usada em juntas com espessura superior a 3mm;
- a argamassa-cola usada em juntas com uma espessura entre 1 a 3mm;
- a argamassa leve de massa volúmica inferior a 1500 kg/m<sup>3</sup>;
- a argamassa calculada, produzida e calculada para satisfazer determinadas propriedades;
- a argamassa prescrita e produzida em determinadas proporções para adquirir certas propriedades;
- a argamassa pronta, preparada em fábrica e fornecida à obra;
- argamassa pré-doseada em que os constituintes são preparados em fábrica e fornecidos e misturados na obra;
- argamassa feita em obra, em que os constituintes primários são preparados e misturados em obra.

A influência da argamassa no desempenho funcional da parede é determinante principalmente se a parede for exterior. Observa-se nas edificações de alvenaria estrutural várias patologias que têm origem no uso de argamassas inadequadas, no entanto não serão abordadas pois não se inserem no âmbito deste trabalho.

#### **4.1. RELAÇÃO ENTRE AS FUNÇÕES DAS ARGAMASSAS E AS SUAS PROPRIEDADES**

O uso de argamassa em parede de alvenaria tem como funções principais:

- proteger as alvenarias contra a acção de agentes exteriores prejudiciais evitando a sua degradação,
- unir os seus elementos criando um todo monolítico;
- unir solidamente as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir a esforços laterais;
- distribuir uniformemente as cargas actuantes na parede por toda a área resistente dos blocos;
- absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita;
- selar as juntas contra a penetração de água de chuva;
- funções estéticas e de acabamento;
- auxiliar as alvenarias a cumprirem as suas exigências nomeadamente, segurança, adaptação a movimentos, estanquidade, durabilidade, conforto térmico, conforto acústico, facilitando a sua execução e adaptando-as à sua utilização.

Estes requisitos dizem respeito ao assentamento e revestimento de alvenarias que exigem que a argamassa possua determinadas características para se constituir uma estrutura com boa durabilidade e qualidade.

#### 4.1.1. REVESTIMENTO DE ALVENARIAS

Os sistemas de revestimento à base de argamassa têm sofrido modificações significativas decorrentes do emprego de novos materiais e técnicas. A aplicação de argamassas leves assume maior relevância quando integrada no sistema de revestimento de paredes de alvenaria, dada a sua capacidade de funcionar melhor como isolante térmico e da melhor compatibilidade com resistências mecânicas inferiores quando comparadas com as argamassas de assentamento. As actividades de especificação, projecto e controlo de qualidade dos revestimentos são de difícil execução e grande especificidade, adoptando-se muitas vezes soluções empíricas com grande probabilidade de manifestações patológicas.

No capítulo 2 foram abordadas as exigências funcionais e normativas das argamassas de revestimento. Encaram-se as soluções de revestimento como um sistema que actua em conjunto com o substrato. Neste contexto as propriedades da argamassa não podem ser definidas individualmente, por exemplo aderência da argamassa é um parâmetro que traduz o comportamento aderência argamassa – substrato.

Os substratos podem ser classificados de diferentes formas:

- pela natureza dos materiais constituintes: alvenaria de blocos cerâmicos, blocos de betão, blocos de betão leve, elementos estruturais;
- pela função: elementos de vedação ou estruturais;
- pelas características físicas: textura, porosidade, capacidade absorção de água, resistência mecânica.

As características do substrato que mais influenciam o desempenho do sistema de revestimento são:

- **resistência mecânica** – quanto às solicitações a que o sistema está sujeito, o objectivo consiste em promover aderência adequada ao conjunto argamassa – substrato e dotar o corpo do revestimento (emboço) de propriedades resistentes compatíveis com os esforços existentes. A resistência mecânica deve ser considerada em conjunto com a deformabilidade óptima do sistema para um bom desempenho;
- **porosidade** – influencia directamente o transporte de água e a absorção por parte da argamassa principalmente nos momentos iniciais pós – aplicação, é determinante na aderência argamassa – substrato;
- **textura** – importante no desenvolvimento da aderência, substratos rugosos possuem maior área de contacto com a argamassa aplicada, substratos lisos geralmente proporcionam valores de aderência menores. Neste contexto deve-se preparar a base para receber o revestimento empregando-se o denominado chapisco. Este fornece ao substrato uma textura adequadamente rugosa e com porosidade adequada para o desenvolvimento da aderência. A textura rugosa favorece também o mecanismo de adesão inicial pós-aplicação. O chapisco é uma argamassa fluida de areia grossa com dosagem em que o consumo de cimento é favorecido (traço 1:3) de espessura média de cerca de 5mm que pode ser aplicada “ salpicando “ a parede deixando regiões do substrato a nu (chapisco aberto) ou envolvendo toda a superfície da parede (chapisco fechado).

As superfícies dos substratos devem contemplar os seguintes aspectos:

- textura rugosa;
- porosidade aberta;
- sem deposição de impurezas ( pó, óleo, gordura, tinta, fungos, salinidade);
- sem armaduras expostas (oxidadas ou não).

A inspecção às superfícies que vão receber o revestimento é muito importante e a correcção das não – conformidades deve sempre anteceder a execução do revestimento.

O substrato através da sua capacidade de absorção de água é responsável pela perda de água da argamassa após a sua aplicação e as suas características influenciam directamente o transporte de água na argamassa. O ensaio mais divulgado para avaliação das características de absorção de água livre das unidades de alvenaria é definido na norma europeia EN 772 – 11 e consiste na determinação da taxa inicial de absorção de absorção de água livre (IRA – *Initial Rate Absorption*) de acordo com a equação 1:

$$IRA = \frac{mu - ms}{A} \times 200 \quad (1)$$

- *IRA*- Taxa inicial de absorção de água livre (g/200cm<sup>2</sup>/min)
- *mu* – massa húmida (g)
- *ms* – massa seca (g)
- *A* – área do bloco em contacto com a lâmina de água (cm<sup>2</sup>)

A resistência de aderência nem sempre pode ser directamente relacionada com a capacidade de absorção de água do bloco pelo que a importância atribuída ao IRA é ainda discutível. A determinação da taxa inicial de absorção é feita num intervalo de tempo demasiado curto e não retrata a complexidade real dos mecanismos de transporte de água pois os fenómenos de capilaridade têm a sua actuação prolongada [27].

Um outro parâmetro é utilizado para complementar a informação sobre o transporte de água e pode descrever a capacidade de um material absorver ou transmitir água por capilaridade: a absorptividade “S” (*sorptivity*) define-se como a capacidade de absorver por unidade de espessura do meio absorvente e por unidade de concentração da espécie absorvente e avalia a velocidade do fluxo de água. É determinada segundo a equação 2:

$$i = S \times \sqrt{t} \quad (2)$$

- *i*- volume de água absorvida por unidade de área (g/mm<sup>2</sup>)
- *S*- coeficiente de absorção de água (mm.min<sup>-1/2</sup>)
- *t*- tempo

Pode-se inferir que as argamassas de revestimento são tecnicamente um material adesivo. O seu objectivo é estabelecer uma forte aderência entre a parte mais interna do revestimento (emboço) e o substrato actuando como aderente entre a parte mais externa (reboco) e a base. Portanto a aderência, associada à trabalhabilidade, é a propriedade mais importante destas argamassas.

Nos sistemas de revestimento de argamassa todo o processo de aderência compreende três fases:

- **adesão inicial** – a argamassa em estado fresco adere ao substrato momentaneamente após a aplicação não estando ainda determinada a adesão;
- **adesão** – o processo de endurecimento da argamassa caracteriza a aderência e ocorre durante esta fase em que a plasticidade diminui e aumenta a sua consistência;
- **aderência** – a argamassa começa a perder água por evaporação para o meio ambiente e por absorção do substrato até ao endurecimento se completar. Nesta fase, a aderência encontra como determinante o mecanismo de intertravamento mecânico que diz respeito à rugosidade da base aderente possibilitar a penetração do adesivo através das irregularidades da sua superfície.

A aderência propriamente dita define-se como a propriedade que possibilita o revestimento por meio da interface argamassa – substrato. Permite ao revestimento manter-se estável promovendo a sua durabilidade, absorver e resistir a tensões normais e tangenciais sendo definida pela resistência de aderência à tracção e a extensão do contacto entre argamassa e o substrato [27].

A resistência de aderência representa a máxima tensão que um revestimento suporta quando submetido a um esforço normal de tracção e a avaliação da aderência dos revestimentos é feita através de ensaios destrutivos. O ensaio mais comum é o ensaio *pull-off* que permite avaliar *in-situ* a resistência de arrancamento por tracção de diversos tipos de revestimentos. Este ensaio apresenta diversas vantagens no que concerne à medição da resistência à aderência:

- baixo custo dos aparelhos;
- utilização fácil;
- permite obter informação sobre a resistência de aderência e sua perda em condições de serviço;
- fácil interpretação de resultados;
- não necessita de fonte de energia para alimentação no local;
- resultados fiáveis;
- não necessita de trabalho em laboratório.

No entanto possui a desvantagem de ser uma técnica destrutiva que exige sempre trabalhos de reparação não sendo, portanto, a sua realização contínua.

Esta técnica de ensaio consiste na extracção de uma pastilha metálica com máquina *pull-off* que é previamente colada ao revestimento através de uma resina epoxy. É criado previamente um rasgo no contorno da área da pastilha com uma profundidade superior à espessura do revestimento para garantir que o arrancamento ocorre apenas nesta área. A máquina de ensaios mede também a força necessária para se conseguir o arrancamento da pastilha. A relação entre a força e área traduz a resistência ao arrancamento, ou seja, a máxima tensão aplicável.



Fig.37- Exemplo de uma máquina *pull – off*

O arrancamento pode ocorrer por rotura:

- na interface revestimento/suporte – rotura adesiva (argamassa/substrato)
- no interior do material – rotura coesiva (na própria argamassa de revestimento)
- no suporte – rotura coesiva do suporte (no substrato)

é frequente a rotura ocorrer numa combinação destas três diferentes tipologias.

O ensaio *pull – off* está descrito na norma Europeia EN 10115-12 para argamassas de revestimento [28].

Os revestimentos de argamassa podem ser constituídos em camada única ou em mais camadas, ou seja por emboço e reboco ou em monocamada.

O papel do emboço consiste em cobrir e regularizar a superfície do substrato ou chapisco de modo a que esta receba outra camada, de reboco, ou outro tipo de camada de acabamento final. Portanto o emboço constitui o corpo do revestimento e é geralmente a camada de argamassa mais espessa do sistema possuindo aderência ao substrato e apresentando uma textura adequada à aplicação do acabamento. O emboço actua como adesivo entre a parte mais externa e a base. O reboco é a camada de revestimento aplicada sobre o emboço de modo a constituir o acabamento final, a sua espessura é apenas a necessária para constituir uma superfície lisa, contínua e coesa. Os revestimentos monocamada estão fora do âmbito deste estudo. A figura 39 ilustra o descrito:

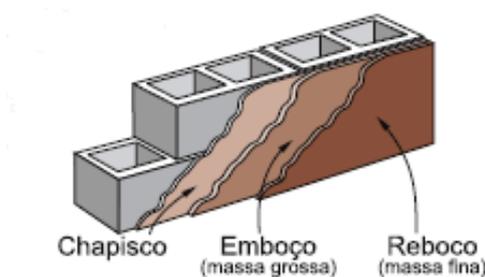


Fig.38- Revestimento de argamassa

O processo de execução dos revestimentos de argamassa tem enorme influência no seu desempenho final. As argamassas devem ter trabalhabilidade que possibilite a sua correcta aplicação, plasticidade para se deformar sobre a superfície do substrato, fluidez para envolver a rugosidade do substrato e retenção de água para manter a trabalhabilidade durante os mecanismos de aplicação [27].

#### 4.1.2. ASSENTAMENTO DE ALVENARIAS



Fig.39- Assentamento de alvenaria

As argamassas de assentamento são um material adesivo e o seu objectivo mais importante é estabelecer a aderência forte e duradoura entre as unidades de alvenaria. Deste modo, todas as outras propriedades são secundárias comparativamente (incluindo a resistência à compressão).

Para que a argamassa de assentamento de alvenaria tenha a capacidade de cumprir as suas funções deve apresentar as seguintes características:

- **Trabalhabilidade** (consistência, plasticidade e coesão). A trabalhabilidade de uma argamassa pode ser facilmente reconhecida pelo pedreiro no manuseamento desta e nas operações que envolvem o seu assentamento. É a propriedade mais importante da argamassa no estado plástico, mas a sua medição e definição não é fácil pois é um resultado da combinação de várias características reológicas das argamassas: plasticidade, coesão, consistência, viscosidade, adesão e densidade. O saber empírico diz que uma argamassa tem boa trabalhabilidade se é distribuída facilmente ao ser assentada e “agarra” bem à colher de pedreiro não segregando ao ser transportada. Permanece plástica por tempo suficiente para que os blocos sejam ajustados facilmente ao nível e no prumo. Boa trabalhabilidade e boa retenção de água são propriedades fundamentais para uma máxima aderência entre as unidades de alvenaria;
- **Capacidade de retenção de água** suficiente para que uma elevada sucção do bloco não prejudique as suas funções primárias. A retenção de água é entendida como a capacidade que a argamassa possui de reter água que contém quando colocada em contacto com blocos de alta sucção e não se pode confundir com retenção de água contra a evaporação. Como foi visto no capítulo 3 a capacidade de retenção de água está relacionada com a área superfície específica de agregado e propriedades do ligante. Pode ser aumentada através do uso de aditivos que absorvam água (derivados de celulose) ou impeçam a percolação de água (introdutores de ar). Esta característica da argamassa é condicionada com o potencial de sucção do bloco pelo que se terá de ter em conta uma compatibilidade de materiais que formam a parede de alvenaria para otimizar esta capacidade. A absorção excessiva de água pelo bloco irá provocar a sua expansão aumentando o potencial de retracção na secagem e fazendo com que a argamassa perca água

rapidamente provocando uma diminuição da sua aderência e apresentando-se mais rígida quando endurecida, o que implica menor capacidade de absorver deformações. A durabilidade e estanquidade da parede também são prejudicadas;

- **Resistência adequada** para não comprometer a alvenaria de que faz parte, no entanto, não deve ser mais resistente que as unidades de alvenaria que une. A resistência à compressão das argamassas inicia-se com o endurecimento e aumenta continuamente com o tempo. A resistência requerida para uma argamassa a ser empregue na alvenaria estrutural varia com a resistência à compressão dos blocos, no entanto vários investigadores concluíram que “a resistência da parede de alvenaria construída com blocos de resistência intermédia não é muito influenciada pela resistência da argamassa como frequentemente se supõe”;
- **Aderência** aos blocos a fim que a interface possa desenvolver resistência ao cisalhamento e a esforços de flexão, A resistência de aderência pode ser definida como a capacidade que a interface bloco - argamassa tem de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) sem ocorrer rotura. Desta resistência depende a coesão da parede e a resistência da alvenaria frente a solicitações provocadas por deformações volumétricas, carregamentos perpendiculares, esforços ortogonais (pressão do vento);
- **Durabilidade** e promover a durabilidade do conjunto solidarizado. As roturas em argamassas podem ocorrer devido a vários motivos: excessiva retracção por secagem, excessiva absorção de água da chuva, actuação de ciclos gelo-degelo, choque térmico, agentes corrosivos atmosféricos. No entanto diferentes formulações de argamassas apresentam um comportamento diferente face à acção destes agentes agressivos. Sendo a durabilidade enquadrada no comportamento global da argamassa e consequente da sua microestrutura;
- **Elasticidade** para acomodar as deformações intrínsecas (retracção na secagem e térmicas) e decorrentes de movimentos estruturais (de pequena amplitude) da parede de alvenaria, sem fissurar. O termo **resiliência** ou elasticidade de uma argamassa é a capacidade de se deformar sem apresentar rotura quando sujeita a várias solicitações regressando á sua forma original quando cessam estas solicitações. A rotura inicia-se na forma de fissuras microscópicas não prejudiciais. As patologias ocorrem quando o tamanho de fissuras compromete a estanquidade à água. A **resiliência** relaciona-se inversamente com o módulo de deformação e com a resistência à compressão. Assim uma argamassa mais fraca com menores módulos de deformação e menor resistência mecânica irá acomodar pequenos movimentos e as fissuras desenvolvem-se nas juntas como fissuras capilares não prejudiciais.

Estas características são muito dependentes da composição e do tipo da argamassa e das características das unidades de alvenaria pelo que se deve encarar o problema de modo a que se constitua um conjunto coeso, homogéneo e resistente [29].

Na tabela 40 apresenta-se uma síntese do que foi exposto:

Tabela 40 – Propriedades e funções das argamassas para assentamento e revestimento de alvenarias

Uso	Funções	Propriedades
Assentamento estrutural	Resistir a esforços mecânicos, unir os elementos de alvenaria, vedar juntas.	Trabalhabilidade, Resistência mecânica, Estabilidade volumétrica, Assimilar deformações.
Assentamento convencional	Unir os elementos de alvenaria e vedar juntas.	Trabalhabilidade, Retenção de água, Resistência mecânica, Estabilidade volumétrica, Assimilar deformações.
Chapisco	Unir camadas de revestimento ao substrato.	Trabalhabilidade, Aderência.
Emboço	Vedar a alvenaria, regularizar a superfície, Proteger o ambiente interno	Trabalhabilidade, Retenção de água, Estanquidade, Aderência, Estabilidade volumétrica.
Reboco	Vedar o emboço proporcionando acabamento estético	Trabalhabilidade, Aderência, Estabilidade Volumétrica

#### 4.2. DESEMPENHO DAS ARGAMASSAS LEVES NAS PAREDES DE ALVENARIA

As argamassas leves possuem diversas vantagens conhecidas, como leveza pela menor densidade, melhor isolamento térmico pela baixa condutividade térmica, melhor isolamento acústico, melhor reação ao fogo e resistem melhor ao ataque de agentes agressivos como os sulfatos. Comparando com as argamassas de cimento portland tradicionais apresentam um conjunto de propriedades que se enquadram muito melhor nas referidas no subcapítulo anterior relacionadas com o melhor desempenho. Na realidade, possuem maior trabalhabilidade, maior elasticidade pois como as resistências mecânicas são mais baixas também é mais baixo o módulo de elasticidade que lhes permite adaptação melhor aos movimentos das paredes.

A qualidade da argamassa é fundamental para o bom desempenho das paredes de edifícios. A tendência de especificar as argamassas por componentes reflecte a preocupação de conseguir argamassas compatíveis com os elementos das alvenarias. Adoptam-se composições tipo que têm como base de formulação o cumprimento das seguintes condições:

- normalização e controlo de qualidade
- controlo de qualidade (estatístico) da produção, por intermédio do estudo de uma ou mais propriedades.

Este facto justifica a adopção da resistência à compressão como o requisito mais importante por parte dos produtores, apesar de esta propriedade não ser uma propriedade conclusiva quanto à adequabilidade da argamassa. A relevância dada à resistência à compressão reside no facto da sua parametrização, determinada em amostras com recurso a ensaios normalizados, conduzir à uniformidade de produção. Através dos resultados dos ensaios que possibilitam a determinação da resistência à compressão pode-se avaliar através de correlações a durabilidade, a resistência à tracção, flexão, o módulo de flexão e o coeficiente de Poisson da argamassa, estes ensaios apresentam resultados de baixa variação e por isso são usados no controlo de qualidade [29].

Em consequência da atribuição de maior importância às resistências mecânicas verifica-se o uso generalizado das argamassas de cimento *portland* em que a proporção deste ligante não é formulada correctamente pois existe a tendência de confundir a tecnologia de argamassas com a tecnologia do betão. Este tipo de argamassas não é adequado por vários motivos:

- resistência demasiado elevada podendo muitas vezes ser superior à das unidades de alvenaria;
- falta de elasticidade devido às resistências demasiado elevadas prejudicarem o funcionamento do conjunto;
- fissuram com relativa facilidade permitindo a passagem de humidade;
- não permitem a adaptação aos movimentos dos blocos, sejam por dilatação contracção ou expansão por humidade;
- pioram o comportamento acústico do conjunto;
- contribuem para o aparecimento ou aumentam a intensidade das eflorescências e carbonatação pelas juntas, quanto mais alto o teor de cimento mais sais livres estão disponíveis [30].

Neste contexto é importante a pesquisa e investigação de materiais alternativos para as argamassas de alvenaria. As argamassas bastardas têm sido utilizadas levando a desempenhos satisfatórios pois a cal confere maior trabalhabilidade devido à sua estrutura porosa, contudo estas argamassas não possuem as vantagens de isolamento térmico e acústico e são mais adequadas para alvenarias de blocos de tijolo cerâmico. Aqui reside a importância do uso de argamassas leves. Actualmente a investigação existente para melhoria do comportamento das alvenarias está orientada no sentido da melhoria das condições de conforto nos edifícios e associada a uma maior eficiência energética e racionalidade. As exigências de conforto térmico têm agora uma relevância muito maior e condicionam a concepção das paredes exteriores.

Para atingir estes objectivos observa-se a tendência para a optimização do desempenho procurando concentrar num único componente construtivo várias funções – elementos de 2ª geração [10].

Este conceito de inovação é motivado pelo aumento das exigências regulamentares, a evolução das práticas construtivas e o aparecimento de mão-de-obra mais qualificada.

No que concerne à melhoria do comportamento térmico das alvenarias, esta passa pela minimização do coeficiente de transmissão térmica  $U$  ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) - definido “como a quantidade de calor por

unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que o elemento separa.”

Em Portugal o isolamento térmico é utilizado na construção de edifícios desde 1950, mas só começou a vulgarizar-se na década de 90 com entrada em vigor do primeiro Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – RCCTE. A sua actualização em 2006 e a implementação, em Janeiro de 2009, da certificação energética obrigatória nos edifícios vieram conferir um lugar de destaque ao isolamento térmico [31].

O isolamento térmico das zonas opacas das fachadas tem uma expressão importante no isolamento da envolvente. É conseguido através do uso de sistemas de isolamento térmico aplicados pelo exterior ou pelo interior das paredes de fachada, através de isolante inserido no interior da caixa – de – ar entre panos de paredes duplas, ou através do uso de materiais nas paredes com características térmicas melhoradas. Os sistemas de isolamento térmico pelo exterior são os que apresentam maior eficácia e mais vantagens, sendo o sistema ETICS (sistemas de isolamento térmico exterior com um revestimento armado aplicado sobre o isolante) o de maior utilização em Portugal [31].



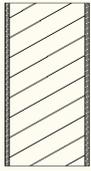
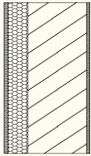
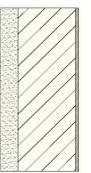
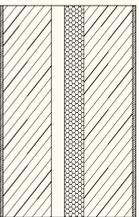
Fig.40- Sistema ETICS

No entanto estes sistemas apresentam algumas desvantagens como a frequente colonização biológica. Na camada de acabamento destes sistemas, (a amarelo na figura 40) a temperatura pode baixar muito rapidamente ao pôr – do – sol, atingindo o ponto de orvalho. Assim verificam-se condensações frequentes nestas superfícies. No que concerne ao comportamento ao fogo, o sistema ETICS apresenta algumas debilidades podendo contribuir para a propagação vertical do incêndio, numa empena ou entre pisos numa fachada de vãos. O seu desempenho final depende muito de uma aplicação correcta e rigorosa, existindo erros a este nível o comportamento e durabilidade estão comprometidos, o que influencia negativamente os utilizadores [31].

Face a estas considerações as argamassas leves para revestimento de alvenarias podem constituir uma boa alternativa a estes sistemas. Com efeito surge muito recentemente no mercado português uma solução de isolamento térmico projectado “Isodur” desenvolvida pelo Grupo Secil, cuja ficha técnica se apresenta em anexo. Este sistema é constituído basicamente por argamassa de agregados leves de poliestireno expandido e apresenta-se como um isolamento contínuo sem fixações nem colagens, portanto, de mais fácil aplicação.

Na Tabela 41 comparam-se os coeficientes de transmissão térmica  $U$  ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) de paredes de alvenaria com os três tipos de isolamento térmico supracitados. Os valores de  $U$  para as paredes duplas com isolante preenchendo parcialmente a caixa - de - ar e para as paredes integrando o sistema ETICS foram retirados do ITE 50 [32]. Para as paredes de alvenaria que contemplam o sistema “Isodur” foram calculados de acordo com as características especificadas na ficha técnica.

Tabela 41- Coeficientes de transmissão térmica U (W/m<sup>2</sup>.°C) de paredes de alvenaria

SOLUÇÃO	Isolante Térmico		Panos alvenaria											
	λ	e	Tijolo furado	Tijolo furado/maciço	Bloco betão normal	Bloco betão leve	Pedra							
	W/m.°C	mm	Espessura panos – mm											
			0,20 a 0,24	-	0,20 a 0,30	0,20 a 0,30	0,40 a 0,60							
Parede Simples sem isolamento														
	-	-	1,3	-	1,9	1,3	2,9							
Parede Simples Sistema ETICS														
		30	0,67		0,78	0,67	0,90							
	0,04	40	0,58	-	0,65	0,58	0,74							
		60	0,45		0,49	0,45	0,54							
		80	0,37		0,40	0,37	0,42							
Parede Simples Reboco ISODUR														
		40	0,72		0,88	0,72	1,04							
	0,09	60	0,62		0,73	0,62	0,85							
Parede Dupla isolamento preenchendo parc. cx. ar														
			Espessura panos – mm											
			0,11	0,11	0,15	0,11	0,15	0,11	0,11	0,15	0,11	0,15	0,15	-
			0,11	0,15	0,15	0,11	0,15	0,11	0,15	0,15	0,11	0,11	0,15	
		30	0,60	0,56	0,52	0,66	0,61	0,69	0,67	0,65	0,60	0,58	0,57	
	0,04	40	0,52	0,49	0,46	0,56	0,53	0,59	0,57	0,56	0,52	0,51	0,50	-
		60	0,41	0,39	0,38	0,44	0,42	0,45	0,45	0,44	0,41	0,41	0,40	
		80	0,34	0,33	0,32	0,36	0,35	0,37	0,36	0,36	0,34	0,34	0,33	

Podemos concluir através da observação da tabela 41, que o sistema “Isodur” necessita de maiores espessuras para garantir a mesma eficácia que os sistemas de isolamento térmico mais comuns. Contudo os valores calculados são bastante satisfatórios. Dadas as vantagens que este sistema apresenta no que concerne ao comportamento ao fogo e facilidade de aplicação, justifica-se a sua utilização. Também se pode inferir que a melhoria do comportamento térmico das alvenarias não se reduz apenas a uma escolha mais sensata dos revestimentos, mas prende-se também com outros factores. De facto minimização do coeficiente de transmissão térmica  $U$  ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) envolve o aumento da espessura e isolamento do tosco da parede e seus revestimentos. Para conseguir estes objectivos pode actuar-se:

- no material constituinte;
- integrar isolante;
- modificar a forma do elemento;
- assentamento.

Deste modo a tendência é substituir as paredes duplas que normalmente apresentam patologias pela incorrecta execução da caixa – de - ar e colocação do isolamento. As paredes espessas em pano simples e constituídas por blocos de betão de agregados leves aparecem como a solução mais eficiente.

No que diz respeito ao assentamento, as juntas têm sido associadas a prejuízos do comportamento térmico das alvenarias. Constituem, devido às argamassas usadas geralmente, heterogeneidades e pontes térmicas. O que se agrava ainda mais quando se utilizam unidades de alvenaria de materiais isolantes. Portanto podem-se atenuar os efeitos negativos do preenchimento das juntas ao utilizar uma argamassa leve compatível com o betão leve constituinte do elemento de alvenaria [10].

Na concepção das chamadas soluções construtivas de 2ª geração, a procura do desempenho de mais funções é difícil. Para as alvenarias a tendência é privilegiar o comportamento térmico em detrimento do comportamento mecânico. As alvenarias são usadas na construção de edifícios de pequeno e médio porte ou constituindo panos de enchimento da envolvente de estruturas porticadas em betão armado. Assim sendo, as exigências prioritárias são as exigências de conforto térmico, exigências de estanquidade à água da chuva e as exigências de economia e produtividade. Abordam-se as estratégias para melhorar o comportamento das argamassas e elementos de alvenaria sem penalizar o comportamento térmico nomeadamente pela adição de resíduos pozzolânicos na formulação das argamassas e betões. Citam-se as acções que tiram partido do melhor funcionamento estrutural das paredes de alvenaria conjugando a melhoria do comportamento mecânico e térmico [10]:

- execução de paredes mais espessas;
- elementos menos densos;
- aumento do número de alvéolos;
- matérias primas com condutibilidade térmica mais baixa;
- recurso a subprodutos industriais;
- recurso a juntas de assentamento descontínuas;
- utilização de argamassas leves mais isolantes;
- utilização de juntas de assentamento menos espessas.

Como se torna evidente pelo exposto o uso de materiais alternativos deve conjugar esforços dos diversos intervenientes da construção civil numa colaboração entre projectistas, fabricantes e operários com o fim de desenvolver sistemas otimizados no desempenho das suas funções e não produtos isolados frequentemente descontextualizados na sua aplicação por falta de informação técnica.

Convém referir que este tipo de argamassas tem pouca expressão no mercado. A grande maioria das argamassas de agregados leves encontradas no decorrer da pesquisa, têm como principal aplicação o enchimento de pavimentos. Isto é bastante razoável e lógico pois deste modo aliviam a principal solicitação na laje (peso próprio) proporcionam isolamento acústico, térmico e melhor reacção ao fogo por parte dos compartimentos onde são aplicadas, não estando sujeitas a exigências tão severas de estanquidade pois não estão expostas ao ambiente exterior. As argamassas leves não dispensam o uso de aditivos para compensação da resistência mecânica e podem ter um desempenho muito melhorado em relação a todos os tipos de argamassas se receberem um tratamento hidrofugante. A questão reside se os custos mais elevados são compensados pelas vantagens que acarretam quando comparadas com as argamassas bastardas que se sabe que terem um comportamento satisfatório no assentamento de alvenarias.

Conclui-se, deste modo que a melhor aplicação destas argamassas é no revestimento de alvenarias constituindo um isolante térmico inovador. Podem ser integradas também nas alvenarias realizadas com betão leve numa tentativa de conseguir componentes construtivos homogêneos que respondam a uma multiplicidade de exigências - os já mencionados elementos de 2ª geração.

# 5

## CONCLUSÕES

Neste capítulo faz-se a síntese das conclusões apresentadas ao longo deste estudo. Inicia-se com as considerações apresentadas no capítulo 2, que dizem respeito à contextualização das argamassas leves no mercado. Posteriormente seguem-se as principais ilações presentes no capítulo 3, no que diz respeito às características das argamassas leves. Em seguida relacionam-se as características das argamassas leves com as necessárias para um bom desempenho das paredes de alvenaria, concluindo-se deste modo qual a melhor aplicação destes materiais. Por fim, sugere-se uma possível linha de orientação para futuras investigações.

- a) Contextualização das argamassas leves

As argamassas tradicionais feitas em obra tendem a desaparecer face aos requisitos de controlo de qualidade e de produção às quais as argamassas industriais respondem muito melhor.

As argamassas industriais são um sector da construção civil desenvolvido e organizado a nível internacional.

As argamassas leves cumprem de melhor forma os pressupostos que definem material sustentável do que as argamassas normais.

A reabilitação de edifícios tem que ser privilegiada relativamente à obra nova no sector da construção civil, o que se traduz numa maior aplicação de argamassas leves que podem ser usadas para reparação de betões ou elementos de alvenaria.

Argamassas normais e argamassas leves inserem-se no mesmo contexto normativo, diferenciando-se nas normas pela classificação. Parece mais útil uma abordagem normativa mais aprofundada que diferencie melhor estes materiais.

Adjuvantes e adições são indispensáveis para uma formulação correcta de argamassas para alvenarias.

- b) Caracterização das argamassas leves

As argamassas são materiais que apresentam uma microestrutura porosa complexa que pode ser caracterizada indirectamente, pelas suas propriedades macroscópicas ou analisada directamente através de diferentes métodos, tais como: a porosimetria de mercúrio, microscopia electrónica de varrimento (SEM) e modelação numérica.

A grande diferença comportamental entre argamassas leves e de peso normal resulta da microestrutura do agregado leve e da influência da sua adição na argamassa.

A adição de agregado leve modifica a estrutura porosa da argamassa na zona da interface de transição (ITZ) entre a superfície específica do agregado e o ligante.

A ITZ entre agregado e pasta de cimento é densa nas argamassas leves porque os agregados mais porosos absorvem água da pasta ligante que sela os poros. Nas argamassas normais, estas zonas são mais espessas e mais porosas.

Do facto acima referido resultam grande parte das diferenças comportamentais entre argamassas normais e argamassas leves. Capilaridade, condutividade eléctrica e reacção ao ataque dos sulfatos são algumas propriedades favorecidas nas argamassas leves que têm deste modo a sua performance optimizada.

As argamassas leves fabricam-se por diminuição da densidade do material introduzindo ar no seu interior através do uso de aditivos ou de cargas leves.

Argamassas leves de cimento *portland* não devem conter vidro expandido ou perlite expandida pois estes materiais têm potencial expansivo por reacção dos álcalis – sílica. Esta reacção contribui para a degradação precoce da superfície do agregado e consequentemente da argamassa.

As argamassas leves apresentam muitas vantagens na sua utilização nomeadamente facilidade de manuseamento e transporte, diminuição do peso próprio das estruturas, isolamento térmico, contribuem para maior eficiência energética, melhor isolamento acústico, melhor reacção ao fogo, maior durabilidade, melhor reacção ao ataque dos sulfatos, incremento na vida útil do material entre outras relacionadas com as propriedades de desempenho das funções no que diz respeito às exigências das alvenarias.

Estas vantagens são mais expressivas com a mais - valia de se obter estanquidade à água se for adicionado adjuvante hidrófugo às argamassas leves.

Como desvantagens as argamassas leves apresentam muito baixas resistências mecânicas e custos elevados associados à produção dos agregados leves.

- c) Aplicação das argamassas leves

As propriedades mais importantes para aplicação de argamassas em alvenarias são a trabalhabilidade, capacidade de retenção de água e aderência. A resistência à compressão não é uma propriedade tão condicionante como geralmente se supõe.

As melhorias de desempenho de alvenarias estão orientadas no sentido da eficiência energética e da melhoria das condições de conforto. Privilegia-se o comportamento térmico em detrimento do comportamento mecânico. Traduz-se na necessidade de aplicação de argamassas leves.

As melhorias de desempenho de componentes construtivos passam pela investigação e desenvolvimento de soluções de 2ª geração que respondem a uma multiplicidade de exigências num único componente construtivo.

As argamassas bastardas com adjuvantes e aditivos são as mais usadas e recomendadas no mercado actual para o assentamento de alvenarias e são mais resistentes e estanques do que as argamassas de agregados leves, pelo que se conclui que no desempenho desta função as argamassas leves têm pouca viabilidade.

A aplicação de argamassas leves deve ser orientada no desempenho das funções de revestimento de alvenarias, constituindo-se como um isolante térmico eficaz, de mais fácil aplicação e de melhor comportamento ao fogo que as soluções existentes. Neste facto reside o seu interesse.

As argamassas de agregados leves para assentamento e reboco de alvenarias não têm grande expressão no mercado actual. As argamassas leves são aplicadas sobretudo no enchimento de pavimentos ou para aplicações em reparações de blocos de betão ou outras unidades de alvenaria.

As argamassas leves quando aplicadas em conjunto com blocos de betão leve tendo em vista a compatibilidade de materiais e no sentido da racionalidade podem constituir paredes de alvenaria de 2ª geração com desempenho optimizado.

- d) Futuras investigações de argamassas leves

A investigação sobre a aplicação de argamassas leves para aplicação em alvenarias está pouco desenvolvida, sendo pertinente um estudo que esclareça sobre as vantagens destas argamassas sobre as argamassas bastardas. Sugere-se um procedimento experimental que não estude a argamassa isoladamente, mas que analise o conjunto bloco/argamassa com recurso a amostras de alvenaria executadas em laboratório de acordo com a normalização actual.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Alvarez, J., Sequeira, C., Costa, M. *Ensinaamentos a retirar do Passado Histórico das Argamassas*. 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, 2005.
- [2] Torgal, F.P., Gomes, J.P. de C., Jalali, S. *Argamassas Antigas: Reacção Pozolânica ou Activação Alcalina?*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção – “Sob a Égide da Reabilitação”, APFAC, Lisboa, 2007.
- [3] Varela, N., Vieira, F.S. *Cimento: Uma Matéria-prima Essencial no Fabrico de Argamassas*. 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, 2005.
- [4] Martins, J.G., Assunção, J.S. *Argamassas e Rebocos*. 2004.
- [5] Duarte, C.M. *Inovação nas Argamassas de Construção para Alvenaria*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, P.B. Lourenço e tal. (eds.), APFAC, Lisboa, 2007.
- [6] Nascimento, R. *Caracterização de Argamassas Industriais*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2006.
- [7] Torgal, F.P., Jalali, S. *Construção Sustentável. O Caso dos Materiais de Construção*. 3º Congresso Nacional de Construção 2007, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2007.
- [8] *CeConstrução*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 2004.
- [9] Veiga, M.R. *Acção de Formação sobre Revestimentos de Paredes*. 2º Congresso Nacional da Construção 2004, Universidade do Porto, 2004.
- [10] Sousa, H. *Melhoria do Comportamento Térmico e Mecânico das Alvenarias por Actuação na Geometria dos Elementos – Aplicação a Blocos de Betão de Argila Expandida*. Dissertação de Doutoramento, Universidade do Porto, 1996.
- [11] <http://paginas.fe.up.pt/~jcouti/>. 5/06/2009
- [12] Martins, J.G., Paiva, P.A. *Ligantes*. 2006.
- [13] *EMODico – Dicionário Técnico*. European Mortar Industry Organization, 3rd Ed., 2001.
- [14] Coutinho, A.S. *Fabrico e Propriedades do Betão, Vol. I – Propriedades das Matérias-primas, Vol. II – Fabrico*. Lisboa, 1988.
- [15] Rato, V.N. da P.M. *Influência da Microestrutura Morfológica no Comportamento de Argamassas*. Dissertação de Doutoramento, Universidade Nova de Lisboa, 2006.
- [16] Couto, A.B., Couto, J.P. *Especificidades e Exigências das Argamassas na Reabilitação de Edifícios Antigos*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção – “Sob a Égide da Reabilitação”, APFAC, Lisboa, 2007.
- [17] Melo, A.C.F. *Caracterização de Betões Leves Vidrocomprimidos com Agregados de Argila Expandida*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, 2000.
- [18] Elsharief, A., Cohen, M.D., Olek J. *Influence of lightweight aggregate on the microstructure and durability of mortar*. Cement and Concrete Research, 08/07/2004, pp. 1368 – 1376, Elsevier Ltd.
- [19] Ribeiro, R.A., Silva L.M., Ferreira, V.M., Labrincha, J.A. *Estudo da Influência de Cargas Leves nas Propriedades de uma Argamassa Bastarda*. 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, 2005.

- [20] Torres, M.L., García-Ruiz, P.A. *Lightweight pozzolanic materials used in mortars: Evaluation of their influence on density, mechanical strength and water absorption*. Cement & Concrete Composites, 03/12/2008, pp. 114 – 119, Elsevier Ltd.
- [21] Husem, M. *The effects of bond strengths between lightweight and ordinary aggregate-mortar, aggregate-cement paste on the mechanical properties of concrete*. Materials Science & Engineering, 21/10/2002, pp. 152 – 157, Elsevier Ltd.
- [22] Frattolillo, A., Giovinco, G., Mascolo M.C., Vitale A. *Effects of hydrophobic treatment on thermophysical properties of lightweight mortars*. Experimental Thermal and Fluid Science, 30/08/2004, pp. 27 – 35, Elsevier Ltd.
- [23] Coimbra, M.A., Morelli M.R. *Desenvolvimento de argamassas microporosas para a construção civil*. Cerâmica, 08/06/1999, SciELO Brasil.
- [24] Merino, M. del R., Astorqui, J.S.C., Cortina M.G. *Morteros aligerados con arcilla expandida: Influencia de la granulometría adición de fibras de vidrio ar en el comportamiento mecánico*. Informes de la Construcción, Vol. 57 nº 497, 2005, pp. 39 – 46.
- [25] Gouveia, J.P., Lourenço, P.B., Vasconcelos, G. *Soluções Construtivas em Alvenaria*. 3º Congresso Nacional de Construção 2007, Universidade Coimbra, Coimbra, 2007.
- [26] Santos, A.M.P. dos. *Resistência das Alvenarias à Compressão*. Universidade do Minho, 1998.
- [27] Bauer, E. dos. *Revestimentos de argamassa: Características e peculiaridades*. Universidade de Brasília, 2003.
- [28] Colen, F.I., Brito, J., Branco, A.F., *Avaliação in-situ da aderência de materiais de revestimento*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, 2007.
- [29] Sabattini, F.H., *Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente*. Universidade de São Paulo, 1986.
- [30] Camarneiro, L. *A Importância da Pormenorização no Comportamento das Alvenarias*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, P.B. Lourenço & H. Sousa (eds.), Porto, 2002.
- [31] Veiga, M.R., Santos, P.C. *Revestimentos de isolamento térmico de fachada: eficiência durabilidade e comprovação de qualidade*. Construção Magazine, /Agosto/2009, 12,18 Publindústria Lda. Porto.
- [32] Santos P.C., Matias L. *Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. LNEC informação técnica ICT Edifícios - ITE50, Lisboa, 2006.

#### Normas:

- [1] EN 998-1:2003. *Specification for mortar for masonry – Part 1: Rendering and plastering mortar*. IPQ.
- [2] EN 998-2:2003. *Specification for mortar for masonry – Part 2: Masonry mortar*. IPQ.
- [3] EN 1015-1:1998. *Methods of test for mortar for masonry – Part 1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis)*. IPQ.
- [4] EN 1015-2:1998. *Methods of test for mortar for masonry – Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars*. IPQ.

- [5] EN 1015-3:1999. *Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*. IPQ.
- [6] EN 1015-4:1998. *Methods of test for mortar for masonry – Part 4: Determination of consistence of fresh mortar (by plunger penetration)*. IPQ.
- [7] EN 1015-6:1998. *Methods of test for mortar for masonry – Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar*. IPQ.
- [8] EN 1015-7:1998. *Methods of test for mortar for masonry – Part 7: Determination of air content of fresh mortar*. IPQ.
- [9] EN 1015-8:1999. *Methods of test for mortar for masonry – Part 8: Determination of water retentivity of fresh mortar*. IPQ.
- [10] EN 1015-9:1999. *Methods of test for mortar for masonry – Part 9: Determination of workable life and correction time of fresh mortar*. IPQ.
- [11] EN 1015-10:1999. *Methods of test for mortar for masonry – Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar*. IPQ.
- [12] EN 1015-11:1999. *Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. IPQ.
- [13] EN 1015-12:2000. *Methods of test for mortar for masonry – Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates*. IPQ.
- [14] EN 1015-17:2000. *Methods of test for mortar for masonry – Part 17: Determination of water-soluble chloride of fresh mortars*. IPQ.
- [15] EN 1015-18:2002. *Methods of test for mortar for masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient to capillary action of hardened mortar*. IPQ.
- [16] EN 1015-19:1998. *Methods of test for mortar for masonry – Part 19: Determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars*. IPQ.
- [17] prEN 1996-2:2005. *Eurocode 6 – Design of masonry structures – Part 2: Design considerations, selection of materials and execution of masonry*. IPQ.
- [18] EN 197-1:2000/A 1:2004. *Cement – Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements*. IPQ.
- [19] NP EN 459-1:2002. *Cal de Construção – Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade*. IPQ.
- [20] NP EN 13139:2005. *Agregados para argamassas*. IPQ.
- [21] NP EN 933-1:2000. *Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 1: Análise granulométrica – Método de peneiração*. IPQ.
- [22] NP EN 933-2:1999. *Ensaio para determinação das características geométricas dos agregados – Parte 2: Determinação da distribuição granulométrica – Peneiros de ensaio, dimensão nominal das aberturas*. IPQ.
- [23] NP EN 13055-1:2005. *Agregados leves – Parte 1: Agregados leves para betão, argamassas e caldas de injeção*. IPQ.

Figuras:

Fig.1

<http://www.ctiturismo.com.br/figuras%20gerais/europa/italia%20coliseu.gif> 3/11/2009

Fig.2

[http://www.jornaldenegocios.pt/images/Destaques/Cimpor\\_camiao\\_174\\_SROVG7-SKPP7D.gif](http://www.jornaldenegocios.pt/images/Destaques/Cimpor_camiao_174_SROVG7-SKPP7D.gif)  
3/11/2009

Fig.3

[HTTP://WWW.FASE-SA.PT/FOTOS/GCA/4\\_SECIL\\_MARTINGANCA\\_150.JPG](HTTP://WWW.FASE-SA.PT/FOTOS/GCA/4_SECIL_MARTINGANCA_150.JPG) 3/11/2009

Fig.4

<http://www.vtn.com.br/materiais-de-construcao/dicas-de-construcao/imagem/argamassa1.jpg>  
15/11/2009

Fig.5

<http://www.habitare.org.br/pdf/workshop/3.pdf> 15/11/2009

Fig.6

[http://www.alein.com.ar/data/img/productos/cemento\\_09a\\_c.jpg](http://www.alein.com.ar/data/img/productos/cemento_09a_c.jpg) 15/11/2009

Fig.7

[http://conservarcal.lnec.pt/pdfs/Ana\\_FRAGATA\\_APFAC.pdf](http://conservarcal.lnec.pt/pdfs/Ana_FRAGATA_APFAC.pdf) 15/11/2009

Fig.8

[http://conser varcal.lnec.pt/pdfs/GORETI\\_Areia\\_APFAC.pdf](http://conser varcal.lnec.pt/pdfs/GORETI_Areia_APFAC.pdf) 15/11/2009

Fig.9

<http://www.vtn.com.br/materiais-de-construcao/dicas-de-construcao/imagem/argamassa01.jpg>  
3/12/2009

Fig.10

[http://images.google.pt/imgres?imgurl=http://dec.isec.pt/imagens/lab\\_pav/05\\_agregados.jpg&imgrefurl=http://dec.isec.pt/Lab\\_Pavs.aspx%3Fview%3D1&usq=fA5UTD4hLmmV58Jegnod5VsZvjQ=&hl=pt-PT&start=3&um=1&itbs=1&tbnid=Tg6yyYKxYj4dSM:&tbnh=116&tbnw=116&prev=/images%3Fq%3Dagregados%2Bargamassas%26hl%3Dpt-PT%26sa%3DG%26um%3D](http://images.google.pt/imgres?imgurl=http://dec.isec.pt/imagens/lab_pav/05_agregados.jpg&imgrefurl=http://dec.isec.pt/Lab_Pavs.aspx%3Fview%3D1&usq=fA5UTD4hLmmV58Jegnod5VsZvjQ=&hl=pt-PT&start=3&um=1&itbs=1&tbnid=Tg6yyYKxYj4dSM:&tbnh=116&tbnw=116&prev=/images%3Fq%3Dagregados%2Bargamassas%26hl%3Dpt-PT%26sa%3DG%26um%3D) 5/12/2009

Fig.11

[http://images.google.pt/imgres?imgurl=http://img.pai.pt/413610/413610\\_pr\\_01.gif&imgrefurlw.pai.pt/materiais-de-construcao%25C3%25A7%25C3%25A3o/bezerras-lda/y:pt\\_2491237\\_4\\_1.html&usq=TvVMmNzYV-60R\\_42O2J-6xfiCgk=&h=300&w=300&sz=32&hl=pt-PT&start=3&um=1&itbs=1&tbnid=Tg6yyYKxYj4dSM:&tbnh=116&tbnw=116&prev=/images%3Fq%3Dagregados%2Bargamassas%26hl%3Dpt-PT%26sa%3DG%26um%3D](http://images.google.pt/imgres?imgurl=http://img.pai.pt/413610/413610_pr_01.gif&imgrefurlw.pai.pt/materiais-de-construcao%25C3%25A7%25C3%25A3o/bezerras-lda/y:pt_2491237_4_1.html&usq=TvVMmNzYV-60R_42O2J-6xfiCgk=&h=300&w=300&sz=32&hl=pt-PT&start=3&um=1&itbs=1&tbnid=Tg6yyYKxYj4dSM:&tbnh=116&tbnw=116&prev=/images%3Fq%3Dagregados%2Bargamassas%26hl%3Dpt-PT%26sa%3DG%26um%3D) 5/12/2009

Fig.12

[http://images.google.pt/imgres?imgurl=http://dec.isec.pt/imagens/lab\\_pav/05\\_agregados.jpg&imgrefurl=http://dec.isec.pt/Lab\\_Pavs.aspx%3Fview%3D1&usq=fA5UTD4hLmmV58Jegnod5VsZvjQ=&hl=pt-PT&start=10&um=1&itbs=1&tbnid=Hs3XTJ2xuprvqM:&tbnh=67&tbnw=119&prev=/images%3Fq%3Dagregados%26hl%3Dpt-PT%26um%3D1](http://images.google.pt/imgres?imgurl=http://dec.isec.pt/imagens/lab_pav/05_agregados.jpg&imgrefurl=http://dec.isec.pt/Lab_Pavs.aspx%3Fview%3D1&usq=fA5UTD4hLmmV58Jegnod5VsZvjQ=&hl=pt-PT&start=10&um=1&itbs=1&tbnid=Hs3XTJ2xuprvqM:&tbnh=67&tbnw=119&prev=/images%3Fq%3Dagregados%26hl%3Dpt-PT%26um%3D1) 6/12/2009

Fig.13

[http://images.google.pt/imgres?imgurl=http://dec.isec.pt/imagens/lab\\_pav/05\\_agregados.jpg&imgrefurl=http://dec.isec.pt/Lab\\_Pavs.aspx%3Fview%3D1&usq=fA5UTD4hLmmV58Jegnod5VsZvjQ=&hl=pt-PT&start=10&um=1&itbs=1&tbnid=Hs3XTJ2xuprvqM:&tbnh=67&tbnw=119&prev=/images%3Fq%3Dagregados%26hl%3Dpt-PT%26um%3D1](http://images.google.pt/imgres?imgurl=http://dec.isec.pt/imagens/lab_pav/05_agregados.jpg&imgrefurl=http://dec.isec.pt/Lab_Pavs.aspx%3Fview%3D1&usq=fA5UTD4hLmmV58Jegnod5VsZvjQ=&hl=pt-PT&start=10&um=1&itbs=1&tbnid=Hs3XTJ2xuprvqM:&tbnh=67&tbnw=119&prev=/images%3Fq%3Dagregados%26hl%3Dpt-PT%26um%3D1)

[=190&w=340&sz=17&hl=pt-PT&start=10&um=1&itbs=1&tbnid=Hs3XTJ2xuprvqM:&tbnh=67&tbnw=119&prev=/images%3Fq%3Dagregados%26hl%3Dpt-PT%26um%3D1](#) 10/12/2009

Fig.14

<http://www.carsilvasa.com/novosite/images/produtos/8.JPG> 10/12/2009

Fig.15

[http://3.bp.blogspot.com/\\_EAPvZQFfrh4/SSqhGm34R4I/AAAAAAAAAa8/v5FlXacK\\_fg/s400/EnsaioVilaReal2.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_EAPvZQFfrh4/SSqhGm34R4I/AAAAAAAAAa8/v5FlXacK_fg/s400/EnsaioVilaReal2.jpg) 10/12/2009

Fig.16

<http://www.mvgeesso.com.br/images/album/slides/fotos%20mv%20geesso%20057.jpg> 10/12/2009

Fig.17

[http://3.bp.blogspot.com/\\_tUkHHCyk8\\_k/SFWPL588dLI/AAAAAAAAACqI/OkHCT5O6SmE/s400/cimento3.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_tUkHHCyk8_k/SFWPL588dLI/AAAAAAAAACqI/OkHCT5O6SmE/s400/cimento3.jpg) 10/12/2009

Fig.18

<http://www.engenhariacivil.com/imagens/not0179.jpg> 12/12/2009

Fig.19

<http://www.tratormahttp://techunix.technion.ac.il/~akatz/itz.jpgster.com.br/conteudo/pro/001/img/gal/00005/full/000048.jpg> 12/12/2009

Fig.20

[http://www.apfac.pt/congresso2007/comunicacoes/Paper%2020\\_07.pdf](http://www.apfac.pt/congresso2007/comunicacoes/Paper%2020_07.pdf) 12/12/2009

Fig.21

<http://www.argilascatarinense.com.br/wp-content/uploads/expandida3.jpg> 13/12/2009

Fig.22

[http://www2.petrobras.com.br/EspacoConhecer/images/img\\_Prod\\_15.jpg](http://www2.petrobras.com.br/EspacoConhecer/images/img_Prod_15.jpg) 13/12/2009

Fig.23

<http://www.apfac.pt/congresso2005/comunicacoes/Paper%2018.pdf> 13/12/2009

Fig.24

[http://www.isar.com.br/fotos/vermiculita\\_1.jpg](http://www.isar.com.br/fotos/vermiculita_1.jpg) 13/12/2009

Fig.25

[http://img.alibaba.com/photo/104360237/EXPANDED\\_PERLITE.jpg](http://img.alibaba.com/photo/104360237/EXPANDED_PERLITE.jpg) 13/12/2009

Fig.26

<http://www.apfac.pt/congresso2005/comunicacoes/Paper%2018.pdf> 13/12/2009

Fig.27

[http://gap-m.ccems.pt/file.php/1/Bio\\_10/BIO\\_10/imagens/pomes.gif](http://gap-m.ccems.pt/file.php/1/Bio_10/BIO_10/imagens/pomes.gif) 13/12/2009

Fig.28

<http://www.alterosa.ind.br/informativo/info07/caldeira.jpg> 13/12/2009

Fig.29

<http://www.rmajko.com/flyash2.gif> 13/12/2009

Fig.30

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/Pouzzolane.jpg> 13/12/2009

Fig.31

<http://cmapspublic3.ihmc.us/rid=1GPRGKTS2-62PQ9H-CF9/poliestireno%20expandido.jpg>  
13/12/2009

Fig.32

[http://www.acousticvision.com.au/Portals/0/reapor\\_closeup.jpg](http://www.acousticvision.com.au/Portals/0/reapor_closeup.jpg) 13/12/2009

Fig.33

[http://img.alibaba.com/photo/221195980/Granulated\\_cork.summ.jpg](http://img.alibaba.com/photo/221195980/Granulated_cork.summ.jpg) 13/12/2009

Fig.34, Fig.35

[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6TWF-4VWHW05-1&\\_user=10&\\_coverDate=05%2F31%2F2009&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&\\_docancho\\_r=&\\_view=c&\\_searchStrId=1169916595&\\_rerunOrigin=scholar.google&\\_acct=C000050221&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=10&md5=932f253390faeeafb95303aad3a8f3](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TWF-4VWHW05-1&_user=10&_coverDate=05%2F31%2F2009&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docancho_r=&_view=c&_searchStrId=1169916595&_rerunOrigin=scholar.google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=932f253390faeeafb95303aad3a8f3) 18/12/2009

Fig.36

[http://4.bp.blogspot.com/\\_7lbuig-XVTs/SXtjS97HbiI/AAAAAAAAAb8/kMEW-gdYqr0/S220/HPIM2450.JPG](http://4.bp.blogspot.com/_7lbuig-XVTs/SXtjS97HbiI/AAAAAAAAAb8/kMEW-gdYqr0/S220/HPIM2450.JPG) 20/12/2009

Fig.37

[http://www.apfac.pt/congresso2007/comunicacoes/Paper%2039\\_07.pdf](http://www.apfac.pt/congresso2007/comunicacoes/Paper%2039_07.pdf) 20/12/2009

Fig.38

[http://www.fazfacil.com.br/images/ref\\_emboco.gif](http://www.fazfacil.com.br/images/ref_emboco.gif) 20/12/2009

Fig.39

<http://afloret.files.wordpress.com/2009/05/alvenarias2.jpg> 20/12/2009

Fig.40

<http://imgcdn.adoosimg.com/9b417b61ac95cec1af07121abd95b859-1-3.jpg> 20/12/2009



## **ANEXO A.1**

**A TECNOLOGIA AO SERVIÇO DA SOLUÇÃO**

A Secil Argamassas é a líder do mercado nacional de argamassas para assentamento e reboco, com uma produção de 2,5 milhões de toneladas anuais. A Secil Argamassas desenvolve produtos para atender as necessidades das construções e projectos, como argamassas para as principais áreas da edificação: revestimentos, a todo o Grupo SECIL.

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Com o intuito de garantir a eficiência energética, a Secil Argamassas desenvolveu o produto ISODUR, argamassa leve, em 2007, o Sistema Nacional de Certificação Energética de Qualidade (SNCHE) Inovadoras Eficientes. O sistema foi desenvolvido para contribuir significativamente para a redução das emissões de CO<sub>2</sub>.



**PRESCRIÇÃO E APOIO TÉCNICO**

Os profissionais dos serviços Secil Argamassas têm como objectivo acompanhar sempre a Projectista, Arquitecto, Decorador ou Cliente, com um serviço eficiente que contribua para a sua satisfação.

É neste contexto que a Secil Argamassas desenvolveu o produto ISODUR, argamassa leve, para assentamento e reboco, a todo o Grupo SECIL.



**EDIFICÍO**

Socil Argamassas  
 Sala e Técnico de Instalação  
 Avenida 2128 - 9.º e 10.º Andar  
 Tel. 1227787  
 Fax 1227787

Secil Argamassas  
 Avenida 2128 - 9.º e 10.º Andar  
 Tel. 1227787  
 Fax 1227787

Secil Argamassas  
 Avenida 2128 - 9.º e 10.º Andar  
 Tel. 1227787  
 Fax 1227787

**SECIL ARGAMASSAS**

Faz parte da Solução

**ISODUR**

**ISOLAMENTO TÉRMICO PROJECTADO**

**SECIL ARGAMASSAS**

**IRP**

MEMBRO

especialidade muito taxonomizada. Posteriormente, Espinal, recebeu a denominação de Sistema T1, que chegou a substituir a denominação Sistema T. Atualmente, o Sistema T1 tem sido utilizado em obras de recuperação de edifícios antigos, com o intuito de melhorar a qualidade térmica e acústica.

**3. Camada de regularização e acabamento**  
 A regularização de superfície é realizada com o uso de argamassa de acabamento, com o intuito de garantir a qualidade de acabamento e a aderência da argamassa de reboco.

**COM ISODUR O DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA DO GRUPO POSSIBILITOU O ISOLAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO.**  
 Contribui com a saúde e segurança porque é fácil de instalar e aplicar.

## ISOLAMENTO TÉRMICO PROJECTADO ISODUR

Resultado de mais de dois anos de investigação e desenvolvimento, o Sistema de Isolamento Térmico Projectado ISODUR vem estabelecer novos padrões de isolamento térmico em edifícios e estruturas.

- Eficiência no isolamento;
- Facilidade de aplicação;
- Inocuidade.

Tudo se deu em função da investigação realizada para aplicar o sistema de isolamento térmico em edifícios e estruturas, com o intuito de melhorar a qualidade térmica. Para isso, foram realizados testes em laboratório e em campo.

### APLICAÇÃO

**1. Camada isolante**  
 A aplicação da camada isolante é realizada com o uso de argamassa de isolamento térmico, com o intuito de garantir a qualidade térmica e acústica. A aplicação é realizada com o uso de uma espátula e deve ser feita de forma contínua e sem interrupções.

**2. Camada de regularização e acabamento**  
 A aplicação da camada de regularização e acabamento é realizada com o uso de argamassa de acabamento, com o intuito de garantir a qualidade de acabamento e a aderência da argamassa de reboco.



1. Camada isolante  
 2. Camada de regularização e acabamento



3. Camada de regularização e acabamento

## VANTAGENS DO SISTEMA ISODUR

### 1. ISOLAMENTO

**Alta eficiência térmica e acústica.**  
 A aplicação do Sistema T1 proporciona um isolamento térmico e acústico superior ao dos sistemas tradicionais, com o intuito de melhorar a qualidade de vida dos moradores.

**Aplicação fácil e rápida.**  
 A aplicação do Sistema T1 é realizada com o uso de uma espátula e pode ser feita de forma contínua e sem interrupções, com o intuito de garantir a qualidade de acabamento e a aderência da argamassa de reboco.

**Resistência à intempérie.**  
 A aplicação do Sistema T1 proporciona uma resistência à intempérie superior à dos sistemas tradicionais, com o intuito de garantir a durabilidade da obra.

**Aplicação em qualquer situação.**  
 A aplicação do Sistema T1 pode ser realizada em qualquer situação, com o intuito de garantir a qualidade de isolamento térmico e acústico.

**2. PROJECTADO**  
**Indicador de qualidade.**  
 A aplicação do Sistema T1 proporciona um indicador de qualidade superior ao dos sistemas tradicionais, com o intuito de garantir a qualidade de isolamento térmico e acústico.

**3. ECONOMIA**  
**Redução de custos.**  
 A aplicação do Sistema T1 proporciona uma redução de custos superior à dos sistemas tradicionais, com o intuito de garantir a qualidade de isolamento térmico e acústico.

**4. SAÚDE**  
**Segurança para a saúde.**  
 A aplicação do Sistema T1 proporciona uma segurança para a saúde superior à dos sistemas tradicionais, com o intuito de garantir a qualidade de isolamento térmico e acústico.

**5. AMBIENTE**  
**Resistência à poluição.**  
 A aplicação do Sistema T1 proporciona uma resistência à poluição superior à dos sistemas tradicionais, com o intuito de garantir a qualidade de isolamento térmico e acústico.

**6. DURABILIDADE**  
**Longa vida útil.**  
 A aplicação do Sistema T1 proporciona uma longa vida útil superior à dos sistemas tradicionais, com o intuito de garantir a qualidade de isolamento térmico e acústico.

**7. FLEXIBILIDADE**  
**Adaptação a qualquer situação.**  
 A aplicação do Sistema T1 pode ser realizada em qualquer situação, com o intuito de garantir a qualidade de isolamento térmico e acústico.



**Aplicação em qualquer situação.**  
 A aplicação do Sistema T1 pode ser realizada em qualquer situação, com o intuito de garantir a qualidade de isolamento térmico e acústico.

**Resistência à intempérie.**  
 A aplicação do Sistema T1 proporciona uma resistência à intempérie superior à dos sistemas tradicionais, com o intuito de garantir a durabilidade da obra.

**Aplicação em qualquer situação.**  
 A aplicação do Sistema T1 pode ser realizada em qualquer situação, com o intuito de garantir a qualidade de isolamento térmico e acústico.

**Indicador de qualidade.**  
 A aplicação do Sistema T1 proporciona um indicador de qualidade superior ao dos sistemas tradicionais, com o intuito de garantir a qualidade de isolamento térmico e acústico.

**Economia.**  
 A aplicação do Sistema T1 proporciona uma economia superior à dos sistemas tradicionais, com o intuito de garantir a qualidade de isolamento térmico e acústico.

**Saúde.**  
 A aplicação do Sistema T1 proporciona uma saúde superior à dos sistemas tradicionais, com o intuito de garantir a qualidade de isolamento térmico e acústico.

**Meio ambiente.**  
 A aplicação do Sistema T1 proporciona uma resistência à poluição superior à dos sistemas tradicionais, com o intuito de garantir a qualidade de isolamento térmico e acústico.

**Durabilidade.**  
 A aplicação do Sistema T1 proporciona uma longa vida útil superior à dos sistemas tradicionais, com o intuito de garantir a qualidade de isolamento térmico e acústico.

**Flexibilidade.**  
 A aplicação do Sistema T1 pode ser realizada em qualquer situação, com o intuito de garantir a qualidade de isolamento térmico e acústico.



## ISODUR

Argamassa de Reboco de Isolamento Térmico

### FICHA TÉCNICA

#### 1. Descrição

O **ISODUR** é uma argamassa seca, formulada a partir de ligantes mistos, agregados especiais de muito baixa densidade (Poliestireno Expandido – EPS) e adições, destinada à execução de rebocos exteriores e interiores de isolamento térmico. É um produto vocacionado para aplicação projectada.

#### 2. Domínio de utilização

O **ISODUR** é utilizado como reboco de isolamento, aplicado sobre suportes em alvenaria de tijolo, blocos de cimento ou betão, sendo constituinte do sistema de revestimento isolante que promove o tratamento térmico de paredes envolventes utilizando pano simples e/ou duplo.

Utilizado em intervenções de renovação de edifícios a aplicação de **ISODUR** constitui um método prático e eficiente para incrementar o desempenho térmico daquelas construções, quer se trate de paredes de pano duplo quer de monolíticas.

O sistema do revestimento isolante que integra o **ISODUR** foi desenvolvido para fazer face às exigências regulamentares. O sistema aplicado de forma contínua nas superfícies da envolvente promove o tratamento eficaz das pontes térmicas, contribuindo de forma decisiva para a prevenção de patologias na construção.

O **ISODUR** pode ainda ser utilizado como betonilha aligeirada para enchimento de pavimentos.

#### 3. Características do produto

Produto em pó	Valor	Norma de Ensaio
Granulometria (mm)	< 1,5	-
Produto em pasta	Valor	Norma de Ensaio
Água amassadura (%)	75 ± 2	-
Massa Volumica (kg/m <sup>3</sup> )	450 ± 50	EN 1015-6
Ar contido (%)	25 ± 5	EN 1015-7
Consumo Teórico (kg/m <sup>2</sup> /cm)	4	-
Produto endurecido	Valor	Norma de Ensaio
Massa volumica (kg/m <sup>3</sup> )	350 ± 50	EN 1015-10
Resistência mecânica à flexão (MPa)	0,60	EN 1015-11
Resistência mecânica à compressão (Classe)	CS1	EN 1015-11
Aderência Tijolo Cerâmico (N/mm <sup>2</sup> ) / Modo de fractura	≥ 0,1 / B	EN 1015-12
Aderência Bloco de Cimento (N/mm <sup>2</sup> ) / Modo de fractura	≥ 0,3 / B	EN 1015-12

Capilidade (Classe)	W1	EN 1015-18
Permeabilidade ao vapor de água	$\mu < 7$	EN 1015-19
Modulo de Elasticidade (MPa)	600	-
Condutibilidade Térmica (W/m.K)	0,09 (11)	-
Resistência ao Fogo (Classe)	B	-

#### 4. Aplicação

##### Preparação de suportes

Os suportes devem estar isentos de poeiras, descolantes, matérias desagregadas ou instáveis, eflorescências, bem como de qualquer tipo de diminuição às normais condições de aderência. Particularmente, em tempo seco, deverá proceder-se à rega dos suportes de forma regular o seu grau de absorção.

Em aplicações sobre suportes antigos ou em operações de reabilitação de edifícios sugerimos a consulta prévia dos nossos Serviços Técnicos.

##### Preparação da argamassa

O **ISODUR** deve ser amassado em equipamento de projecção com doseamento automático de água, devendo previamente afinar-se a amassadura para a consistência adequada.

Os equipamentos de projecção recomendados são os de utilização comum para rebocos projectados, devendo, para a aplicação do **ISODUR**, ser adaptados quanto ao tipo de misturador e consumíveis para projecção.

##### Aplicação

O **ISODUR** deve projectar-se directamente sobre os suportes dispondo a argamassa horizontalmente em cordões sobrepostos, de baixo para cima. Finalizada a projecção de uma camada deve nivelar-se utilizando régua metálica adequada, efectuando passagens de baixo para cima.

Recomenda-se que a espessura total de **ISODUR** a aplicar seja realizada em, pelo menos, duas camadas de espessura idêntica separadas por um intervalo não inferior a 2 horas. A espessura de cada sub-camada não deve exceder os 3 cm, sendo a espessura mínima total recomenda para o **ISODUR** de 4 cm, no sentido de obter-se um desempenho térmico aceitável.

Obtida a espessura total de enchimento convenientemente nivelada com régua metálica, deve proceder-se à preparação da superfície do reboco **ISODUR** para receber a camada de regularização. Este processo efectua-se com recurso a uma talocha de pregos, que remove os excessos promovendo a planura dos paramentos, devendo ter lugar durante as primeiras 24 horas após finalizada a projecção.

Após preparação da superfície do reboco **ISODUR** deverá ser regularizada pela aplicação por barramento do produto **FIXDUR** (ver ficha técnica do produto).



**SECIL MARTINGANÇA, Aglomerantes e Novos Materiais para a Construção, S.A.**

Serviços Comerciais e Assistência Técnica  
Apartado 2 Maceira – 2408-909 MACEIRA LRA  
Tel: 244 770 220 – Fax: 244 777 997  
E-mail: [comercial@secilmartinganca.pt](mailto:comercial@secilmartinganca.pt)

[www.secilmartinganca.pt](http://www.secilmartinganca.pt)

## ISODUR

Argamassa de Reboco de Isolamento Térmico



### FICHA TÉCNICA

De forma a minimizar as juntas de trabalho, deverá assegurar-se – sempre que possível – a execução de panos completos. A retoma em juntas de trabalho deve ser realizada num prazo máximo de 12 horas.

#### Restrições

O **ISODUR** não deve ser aplicado a temperaturas ambientes e de suporte inferiores a 5 °C e superiores a 30 °C. O seu tempo de cura é de 28 dias. Em tempo seco ou de forte exposição aos ventos, deve proceder-se à protecção das fachadas, de modo a minimizar a acção directa do vento;

#### Conselhos complementares

- A água de amassadura deve ser isenta de quaisquer impurezas (argila, matéria orgânica), devendo, de preferência, ser potável;
- Não deve ser aplicada qualquer argamassa que tenha iniciado o seu processo de presa. Não amolentar as argamassas;
- Não adicionar quaisquer outros produtos à argamassa, devendo o, ser aplicado tal qual é apresentado na sua embalagem de origem.

#### 5. Produtos associados

- **FIXDUR** (Argamassa de colagem e regularização)
- **FINDUR** (Acabamento areado fino)
- **REVDUR** (Acabamento Acrílico Colorido)

#### 6. Embalagem e validade

O **ISODUR** é fornecido em sacos de papel de 6 kg acondicionados em paletes plastificadas de 48 sacos.

O produto, desde que inalteradas as suas condições de embalagem original, tem uma validade de 6 meses em condições de armazenagem ao abrigo de temperaturas extremas e da humidade.

#### 7. Higiene e segurança



(não dispensa a consulta da **Ficha de Segurança do Produto**)

- Irritante para os olhos, vias respiratórias e pele.
- Pode causar sensibilização em contacto com a pele.
- Não respirar as poeiras.
- Evitar o contacto com a pele e os olhos.
- Em caso de contacto com os olhos, lavar imediatamente e abundantemente com água e consultar um especialista.
- Usar vestuário de protecção e luvas adequadas.
- Conservar fora do alcance das crianças.

<b>CE</b>	Designação: <b>ISODUR</b>
	Norma de Referência: <b>EN 998-1</b>
Ano: 09	Utilização prevista: Argamassa industrial de ligantes inorgânicos para isolamento térmico de exteriores e interiores.
Argamassa de Reboco Térmico (T) para aplicação EXTERIOR e INTERIOR	

O produto cumpre os requisitos da Directiva dos Produtos da Construção da UE 89/106/CEE.

<p><i>Estando as condições de aplicação dos nossos produtos fora do nosso alcance não nos responsabilizamos pela sua incorrecta utilização. É dever do cliente verificar a idoneidade do produto para o fim previsto.</i></p> <p><i>Em qualquer caso a nossa responsabilidade está limitada ao valor da mercadoria por nós fornecida.</i></p> <p><i>A informação constante da presente ficha pode ser alterada sem aviso prévio.</i></p> <p><i>Em caso de dúvida, e se pretender esclarecimentos complementares solicitamos o contacto com os nossos serviços técnicos.</i></p>
---

Revisão de Outubro de 2009

TC.E.045.1



**SECIL MARTINGANÇA, Aglomerantes e Novos Materiais para a Construção, S.A.**

Serviços Comerciais e Assistência Técnica  
Apartado 2 Maceira – 2408-909 MACEIRA LRA  
Tel: 244 770 220 – Fax: 244 777 997  
E-mail: [comercial@secilmartinganca.pt](mailto:comercial@secilmartinganca.pt)

[www.secilmartinganca.pt](http://www.secilmartinganca.pt)