

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL

**Hugo André da Silva Gomes**

**INFLUÊNCIA DO NÃO PREENCHIMENTO DAS  
JUNTAS VERTICAIS NO COMPORTAMENTO  
MECÂNICO DAS PAREDES DE ALVENARIA**

**Dissertação de Mestrado**

**Especialização em Construções**

**Porto**

**2008**



# **INFLUÊNCIA DO NÃO PREENCHIMENTO DAS JUNTAS VERTICAIS NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS PAREDES DE ALVENARIA**

**HUGO ANDRÉ DA SILVA GOMES**

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

SETEMBRO DE 2008

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008**

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 - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.*

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.

## **RESUMO**

É abordado neste trabalho a temática do não preenchimento das juntas verticais, e sua influência na resistência ao corte de paredes de alvenaria.

Para uma melhor compreensão e análise do tema, foram construídos em laboratório séries de provetes de alvenaria, posteriormente ensaiados à compressão diagonal, com e sem juntas verticais preenchidas, bem como foi efectuada a caracterização dos seus materiais constituintes.

Foram ensaiados provetes de alvenaria de blocos de betão de agregados leves com furação vertical, assim como argamassas usadas nos provetes de alvenaria, que nos foram fornecidos pelo fabricante.

Trata-se portanto de um trabalho sobre o desempenho e importância das paredes de alvenaria na construção, seus materiais elementares como tijolos cerâmicos ou blocos de betão e argamassas, suas diferentes técnicas de execução e documentação normativa existente sobre o tema.

**PALAVRAS-CHAVE:** Paredes de Alvenaria, Juntas verticais, Ensaio experimentais.



## **ABSTRACT**

The purpose of the present work is to understand the thematic of unfilled vertical joints and how it influences masonry structures subjected to lateral loading.

In order to better understanding and analysis of the subject, had been constructed and assayed in laboratory test walls of blocks subjected to diagonal compression, with and without filled vertical joints, as well as characterization of its constituent materials.

Test units of light inert blocks vertically perforated had been used, as well as the individual values of the experimental characterization of mortars and blocks used in masonry test that had been supplied by the manufacturer.

So, this is a written work about the performance and importance of the masonry walls in the construction, its materials as ceramic bricks or light weighted blocks and mortars, its different techniques of execution and existing documentation on the subject.

**KEYWORDS:** Masonry walls, Vertical joints, Experimental assays.



## ÍNDICE GERAL

RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	iii
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	1
1.2. OBJECTIVOS DO TRABALHO.....	3
1.3. JUSTIFICAÇÃO E CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA .....	3
1.4. LIMITAÇÕES DO PRESENTE TRABALHO .....	3
1.5. ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	3
<b>2. AS ALVENARIAS NA CONSTRUÇÃO</b> .....	5
2.1. O INÍCIO DA ALVENARIA .....	5
2.2. A SITUAÇÃO ACTUAL EM PORTUGAL E PERSPECTIVAS FUTURAS .....	6
2.3. EXECUÇÃO DE PAREDES EM ALVENARIA RESISTENTE .....	9
2.3.1. TRABALHOS PREPARATÓRIOS .....	9
2.3.2. MODO DE EXECUÇÃO .....	10
2.3.3. JUNTAS DE ASSENTAMENTO.....	12
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS DAS ALVENARIAS</b> .....	15
3.1. ARGAMASSA .....	15
3.2. CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS .....	18
3.2.1. AREIA.....	18
3.2.2. LIGANTE .....	18
3.2.2.1. CAL AÉREA .....	19
3.2.2.2. CAL HIDRÁULICA .....	19
3.2.2.3. CIMENTO .....	20
3.2.3. ÁGUA .....	21
3.3. UNIDADES DE ALVENARIA .....	22
3.3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	22

3.3.2. TIJOLO CERÂMICO .....	23
3.3.3. BLOCOS DE BETÃO .....	24
3.3.3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	24
3.3.3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS USADOS NO TRABALHO .....	24

## **4. CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS CONSTITUINTES DAS ALVENARIAS .....**

27

<b>4.1. RESISTÊNCIA DA ARGAMASSA .....</b>	<b>27</b>
4.1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	27
4.1.2. DESCRIÇÃO E RESULTADOS DOS ENSAIOS .....	28
<b>4.2. RESISTÊNCIA DAS UNIDADES DE ALVENARIA À COMPRESSÃO .....</b>	<b>29</b>
4.2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	29
4.2.2. DESCRIÇÃO E RESULTADOS DOS ENSAIOS .....	29

## **5. ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAGONAL DE PROVETES DE ALVENARIA .....**

.....	35
<b>5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>35</b>
<b>5.2. GEOMETRIA E EXECUÇÃO DOS PROVETES.....</b>	<b>35</b>
<b>5.3. DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DIAGONAL E PARÂMETROS MEDIDOS .....</b>	<b>38</b>
<b>5.4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DE COMPRESSÃO DIAGONAL .....</b>	<b>41</b>
<b>5.5. ANÁLISE E JUSTIFICAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DIAGONAL .....</b>	<b>45</b>
.....	45
<b>5.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>47</b>

## **6. RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....**

48

## **BIBLIOGRAFIA.....**

49

### **ANEXOS**

#### **A.1. DIAGRAMAS**

#### **A.2. RELATÓRIO DE ENSAIO DA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DIAGONAL DOS PROVETES DE ALVENARIA**

#### **A.3. RELATÓRIO DE ENSAIO DA DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES DOS BLOCOS**

#### **A.4. RELATÓRIO DE ENSAIO REFERENTE À RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS**

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Fig.1 – Exemplo de alvenarias armadas e confinadas .....	7
Fig.2 – Exemplo de alvenarias simples.....	7
Fig.3 – Aspecto dos blocos de betão .....	25
Fig.4 – Embalagem de argamassa MAXIT AM5 light .....	27
Fig.5 – Ensaio das argamassas à flexão e compressão .....	28
Fig.6 – Pormenor de execução das juntas horizontais .....	30
Fig.7 – Ensaio de compressão do provete.....	31
Fig.8 – Aspecto do elemento de alvenaria e seu comprimento, largura e altura, respectivamente .....	33
Fig.9 – Determinação da percentagem de furação de um bloco .....	34
Fig.10 – Palete de blocos no laboratório.....	36
Fig.11 – Esquema do provete tipo sujeito ao ensaio de compressão diagonal.....	37
Fig.12 – Pormenor das juntas verticais e horizontais .....	37
Fig.13 – Ensaio do provete à compressão diagonal .....	40
Fig.14 – Diagrama carga aplicada – deslocamento horizontal em compressão diagonal dos provetes .....	43
Fig.15 – Diagrama carga aplicada – deslocamento vertical em compressão diagonal dos provetes ...	43
Fig.16 – Diagrama tensão ao corte – extensão dos vários provetes.....	44
Fig.17 – Aspecto dos provetes da série A após rotura .....	44
Fig.18 – Aspecto dos provetes da série B após rotura .....	45
Fig.19 – Fendilhação do provete 3B .....	46



## **ÍNDICE DE QUADROS**

Quadro 1 – Requisitos para classificação de unidades de alvenaria segundo EC6 .....	23
Quadro 2 – Resultados dos provetes de ensaio carregados perpendicularmente às juntas de assentamento horizontais .....	31
Quadro 3 – Resultados dos provetes de ensaio carregados paralelamente às juntas de assentamento horizontais .....	32
Quadro 4 – Dimensão média dos Blocos Conforto.....	33
Quadro 5 – Descrição dos provetes usados no ensaio .....	39
Quadro 6 – Resultados dos provetes da série A .....	42
Quadro 7 – Resultados dos provetes da série B .....	42

# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O tema central deste trabalho é procurar descobrir em que medida e de que forma a falta de preenchimento das juntas verticais, vai influenciar o desempenho mecânico das alvenarias, ao nível da sua resistência, fundamentalmente ao corte.

Quando integradas num edifício as paredes de alvenaria devem ser dimensionadas para resistir fundamentalmente a quatro tipos de esforços, nomeadamente compressão, a qual tem origem essencialmente no peso das paredes e lajes do edifício, corte, flexão no plano e flexão fora do plano das paredes de alvenaria.

Estas últimas têm origem devido às cargas laterais aplicadas, as quais ocorrem principalmente devido à acção do vento e sismos, que geram tensões em duas direcções distintas, em relação ao pano da parede.

As tensões geradas por corte devem ser suportadas pela aderência dos blocos à argamassa nos planos definidos nas juntas horizontais e têm origem na acção do vento ou sismos.

De todo este conjunto de esforços aplicados, a compressão é o tipo de esforço ao qual a alvenaria estrutural apresenta melhor resistência.

Este tipo de solicitação provém, como já se disse anteriormente, das cargas verticais permanentes e variáveis e gera tensões importantes na alvenaria e normalmente define o conjunto bloco/argamassa a ser utilizado na realização da parede de alvenaria, sendo que para cargas verticais elevadas devem ser usados blocos e argamassas com boa resistência mecânica.

Deu-se especial relevo neste trabalho à compressão diagonal, preterindo-se a compressão simples, por ser em princípio mais notório a influência do não preenchimento das juntas verticais dos panos de alvenaria na sua resistência ao corte, constituindo assim o objectivo primordial deste trabalho.

A utilização de alvenaria como técnica de construção data dos tempos mais primórdios e, ao longo dos anos, vem sofrendo transformações, até ao que é hoje, nomeadamente ao nível dos materiais utilizados, processos de execução entre outros.

Contudo, e apesar da sua longínqua e frequente utilização, o conhecimento actual do comportamento das estruturas de alvenaria é bastante limitado, apesar de estas, em Portugal, representarem cerca de 13 a 17% do custo global dos edifícios [3].

Aliás, esse desconhecimento é também uma das grandes debilidades do sistema de construção, onde o enquadramento normativo nacional de estudos de caracterização mecânica das alvenarias e dos seus constituintes, ao nível dos materiais que as integram, bem como das técnicas de execução das alvenarias são muito reduzidos, reflectindo-se num mau desempenho das paredes de alvenaria, traduzindo-se em cerca de 25% das anomalias verificadas na construção [4].

Ora, é exactamente devido a esta abordagem generalizadamente simplista ao nível das soluções construtivas, que se realiza o presente trabalho, onde se faz uma caracterização individual dos diferentes materiais elementares, como tijolos cerâmicos ou blocos de betão e argamassas, e das diferentes técnicas construtivas, para se conseguir prever o comportamento global da alvenaria, quer desempenhe função estrutural, quer apenas de preenchimento.

Este trabalho faz parte de uma campanha de ensaios associado ao desenvolvimento de novos produtos para a empresa MAXIT solicitada ao Laboratório de Sistemas e Componentes da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

No âmbito deste trabalho foi necessário fazer ensaios aos provetes de alvenaria e seus constituintes.

Uma vez que é inexistente a normalização em Portugal e na Europa em relação à caracterização mecânica da resistência das alvenarias à compressão diagonal, foi necessário recorrer à norma americana ASTM E519-02 [2].

A definição geométrica dos provetes tem por base as especificações que constam no Euro código 6 [8], no que ao dimensionamento de estruturas de alvenaria diz respeito, assim como normas que lhe estão associados.

A avaliação do desempenho das alvenarias e materiais que as compõem foi realizado sempre que possível de uma forma quantificada, por intermédio de ensaios ou apenas de forma qualitativa.

Neste âmbito, foi usada diversa normalização de referência, uma vez que não existe uma norma única consensual neste domínio.

As unidades de alvenaria e a argamassa foram sujeitos a ensaios descritos em documentos normativos para se verificar se determinadas características dos materiais correspondiam aos valores estabelecidos na respectiva norma.

Os principais materiais constituintes de uma parede de alvenaria são as unidades de alvenaria, ou seja, tijolos ou blocos, e argamassa.

Os tijolos ou blocos podem ser feitos com diferentes materiais e formas, sendo que as suas propriedades físicas e mecânicas, bem como o seu desempenho, vão ser directamente influenciados por esses parâmetros.

A argamassa de assentamento dos blocos deve permitir uma adequada aderência entre blocos e auxiliar na dissipação das tensões, de forma a evitar fissuras na interface bloco/argamassa, garantir o desempenho estrutural e a durabilidade das paredes de alvenaria.

Em relação aos materiais utilizados em alvenarias, os mais frequentes são sem dúvida o tijolo furado de barro vermelho, seguido dos blocos de betão de agregados correntes e, numa percentagem muito inferior, as alvenarias de pedra, correntes sobretudo no Norte do país.

Para que haja um conforto dentro das habitações, é necessário que haja uma constância de temperatura e humidade.

Desta forma, o contributo de cada material elementar e das várias técnicas de execução estão directamente ligadas ao desempenho final da parede de alvenaria.

É importante que os materiais elementares não absorvam facilmente água e tenham capacidade de a expelir.

Em relação ao isolamento térmico, deve-se procurar materiais de construção com boa resistência térmica.

## **1.2. OBJECTIVOS DO TRABALHO**

Pretende-se com este trabalho:

- pesquisa de estudos científicos sobre a influência das juntas verticais no comportamento mecânico das paredes de alvenaria;
- caracterização experimental de blocos de betão de agregados leves com furação vertical;
- caracterização experimental de argamassas de assentamento;
- ensaio de compressão diagonal de provetes de alvenaria com juntas verticais preenchidas;
- ensaio de compressão diagonal de provetes de alvenaria sem juntas verticais preenchidas;
- comparação dos valores e síntese da influência do preenchimento das juntas.

## **1.3. JUSTIFICAÇÃO E CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA**

Pretende-se com este estudo:

- contribuir com este estudo, para uma inovação e melhor conhecimento dos fenómenos correntes nas alvenarias, ao nível quer do panorama nacional, quer internacional;
- compreensão dos fenómenos associados aos ensaios de compressão diagonal, bem como sua caracterização;
- aumento de conhecimentos no domínio das paredes de alvenaria;
- melhor conhecimento dos novos materiais actualmente usados na construção civil em Portugal.

## **1.4. LIMITAÇÕES DO PRESENTE TRABALHO**

A quantificação da importância individual de cada componente que integra uma parede de alvenaria no seu desempenho final face às características resistentes é muito difícil e de grande incerteza.

Uma uniformização do comportamento mecânico das alvenarias é impossível de se obter, devido à diversidade de elementos existentes no mercado, nomeadamente ao nível das matérias-primas com que são feitos e da sua geometria, dos diferentes tipos de argamassas e da diferente configuração que os conjuntos de juntas verticais e horizontais podem ter.

Teria sido interessante alargar estes procedimentos de ensaio a um número superior de provetes de alvenaria, bem como a diferentes materiais de construção, nomeadamente ao nível das unidades de alvenaria e argamassas.

Contudo, como o tempo foi escasso, tal não foi possível, mas espera-se que este estudo seja um ponto de partida para outros que se possam vir a fazer sobre este assunto.

Outra das limitações deveu-se ao facto de haver muito poucos trabalhos experimentais em Portugal que abordassem a temática das juntas verticais, existindo apenas uma referência ou outra sobre este assunto, na diversa bibliografia existente.

## **1.5. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

Este trabalho está dividido essencialmente em duas partes.

Uma primeira parte mais teórica, constituída pelos capítulos 2 e 3, onde se aborda a temática da evolução da alvenaria ao longo dos tempos, desde os tempos mais remotos até aos dias de hoje, e da situação existente actualmente em Portugal, bem como as suas perspectivas futuras.

No terceiro capítulo, faz-se referência aos diferentes materiais utilizados nos provetes de alvenaria, características que devem satisfazer com base em diversas referências normativas e, no caso das argamassas, suas composições e constituintes.

Em relação à segunda parte, desenvolve-se a análise experimental sobre o comportamento mecânico das alvenarias e seus constituintes, quando sujeitas à compressão, descrição pormenorizada da execução dos provetes, registos efectuados, comparação de resultados e conclusões. Por último, faz-se uma síntese das conclusões do trabalho experimental, apreciação e comentário aos resultados obtidos e ainda se dão recomendações para futuros trabalhos.

# 2

## AS ALVENARIAS NA CONSTRUÇÃO

### 2.1. O INÍCIO DA ALVENARIA

Desde os tempos mais remotos, que o homem se tenta proteger das condições climáticas e dos ataques dos animais selvagens.

Somente por volta dos anos 9000 a 7000 a.C., com o surgimento das primeiras civilizações, é que começaram a aparecer novas construções e, simultaneamente, a utilização de alvenaria, passou a ser uma prática comum [15].

As primeiras habitações deste género apareceram em Lake Hullen, Israel, datadas de 9000 a 8000 a.C., sendo as alvenarias em pedra, estas últimas ligadas através de saibro, barro, etc [15].

Contudo, estas habitações eram inicialmente em forma circular ou ovalada e, só em meados do ano 7000 a.C., é que se passou a usar uma estrutura rectangular, com mais de um andar, e agora constituída por blocos de barro seco ao sol. Os tipos de materiais utilizados na construção tinham a ver com as matérias-primas disponíveis em cada local [15].

Na Grécia Antiga por volta de 600 a.C. a 400 a.C., o uso de tijolo como unidade de alvenaria, não sofreu grande evolução, uma vez que a grande maioria dos edifícios eram realizados em pedra talhados, sobrepostos sem argamassa, e nas coberturas, eram usadas telhas de barro sobre estruturas em madeira [15].

Foi apenas durante o império Romano, entre 0 e 1200 d.C., que houve uma generalização do uso de tijolos.

Isto ficou a dever-se, sobretudo, ao facto da facilidade de se obter a matéria-prima ser grande e, depois também porque o império queria uma homogeneização a nível económico e arquitectónico.

Estes tijolos eram secos ao sol e depois eram assentes sobre juntas de barro, e só posteriormente, começou a ser frequente a utilização de tijolos cozidos. Para melhorar o aspecto exterior e para melhorar a resistência às adversidades atmosféricas, as faces exteriores das paredes eram rebocadas.

No caso europeu, sobretudo no norte da Europa, durante a época medieval, a utilização do tijolo como material de construção estava já praticamente generalizada, devido essencialmente à escassez de pedra nestas regiões.

Mesmo em Inglaterra, durante os séculos XIV e XV, houve um incremento no uso de tijolo, devido ao aumento dos preços da madeira e, conseqüentemente, na sua produção [15].

Até aos inícios do século XIX, a produção dos materiais de construção era feita de uma forma muito rudimentar e, só após a Revolução Industrial, é que houve um desenvolvimento das ferramentas e métodos usados na fabricação dos materiais de construção.

Contudo, esta evolução mais não foi do que a transferência da mão-de-obra tradicional para produção mecanizada e apenas um pequeno aumento na qualidade e uniformização de produtos.

Após a II Guerra Mundial (1939-1945), e no seguimento do movimento moderno na arquitectura, verificou-se o aparecimento de um conjunto de novos materiais estruturais, tais como o aço, o ferro e o betão armado, os quais viriam a substituir as alvenarias de tijolo, nomeadamente nas alvenarias resistentes [15].

As alvenarias resistentes de pedra em granito, bem como os blocos cerâmicos resistentes e blocos de adobe, sempre foram utilizadas em Portugal, sobretudo no Norte do país.

No Sul do país, era mais frequente o uso de paredes de taipa, as quais se baseiam num tipo de paredes moldadas em obra, constituídas por argila e água armadas com fibras vegetais.

Para além destas, também se desenvolveu, no nosso país, um tipo de parede denominada tabique, a qual era constituída por uma grelha de madeira rebocada em ambas as faces.

Em relação aos materiais elementares de alvenaria, em 1970 instalou-se em Portugal uma unidade fabril que produzia essencialmente betão leve com argila expandida, sendo à data o tipo de inerte mais utilizado.

Contudo, essa empresa fechou, o que originou uma necessidade de importar o produto de Espanha, logo uma consequente diminuição da sua utilização.

Esta dificuldade foi ultrapassada quando em 1990 abriu a fábrica Leca Portugal, que voltou a produzir este tipo de inerte, tornando-se o ponto de partida para a comercialização deste produto por todo o país.

## **2.2. A SITUAÇÃO ACTUAL EM PORTUGAL E PERSPECTIVAS FUTURAS**

A utilização da alvenaria como técnica de construção data dos tempos mais primórdios e, ao longo dos anos, vem sofrendo transformações, até ao que é hoje, sobretudo ao nível dos materiais utilizados e técnicas de execução.

Contudo, e apesar da sua longínqua e frequente utilização, o conhecimento actual do comportamento das estruturas de alvenaria é bastante limitado e, só recentemente, se assistiu a um despertar de interesse da comunidade científica pelo assunto.

Desta forma, para um melhor conhecimento dos fenómenos verificados nas construções, torna-se útil recorrer à investigação experimental e modelação desses mesmos fenómenos.

O tipo de construção em edifícios mais frequente nos dias de hoje, no nosso país, são as estruturas reticuladas de betão armado, preenchidas com panos de enchimento, tendo a pedra cedido lugar aos tijolos cerâmicos, e mais actualmente também aos blocos de betão.

Estas alvenarias são caracterizadas pelo facto da sua resistência a acções não ser considerada no dimensionamento designando-se por alvenarias de enchimento e de compartimentação.

Contudo as paredes de alvenaria continuam a ser utilizadas como elementos estruturais, denominada alvenaria resistente, quer para cargas verticais das paredes e pavimentos dos pisos superiores como horizontais, dividindo-se em três categorias, nomeadamente alvenarias simples, alvenarias confinadas e alvenarias armadas.

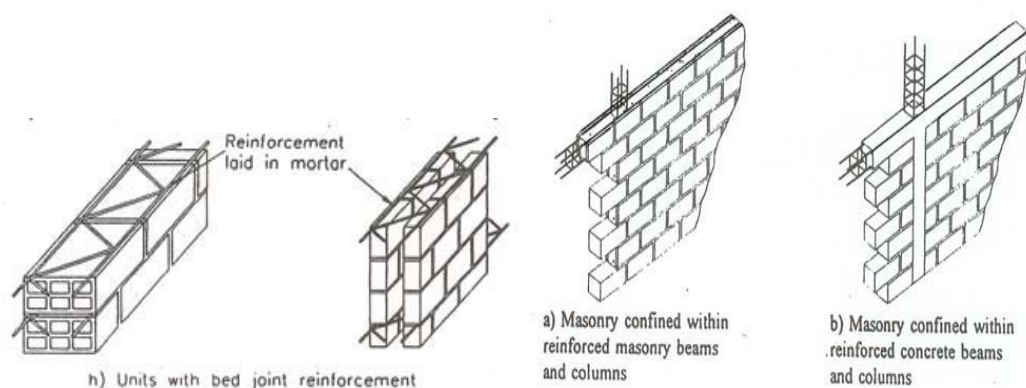


Figura 1 – Exemplo de alvenarias armadas e confinadas [11]

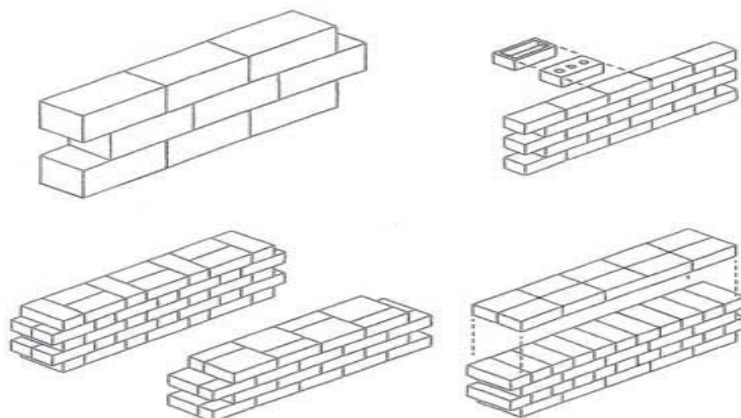


Figura 2 – Exemplo de alvenarias simples [11]

As alvenarias simples caracterizam-se como sendo constituídas por tijolos cerâmicos ou por blocos de betão, ambos ligados com argamassa.

Apesar de estas serem realizadas de uma forma relativamente simples, apresentam um comportamento pouco dúctil, o que origina que não devam ser utilizadas em zonas de grande probabilidade de ocorrência de fenómenos sísmicos.

Quanto a alvenarias confinadas, são todas as alvenarias simples solidarizadas a elementos de alvenaria armada ou de betão armado, ao longo das suas faces. Solução indicada para edifícios de pequeno porte, principalmente em habitações unifamiliares de um ou dois pisos e com capacidade resistente às acções horizontais, sendo portanto indicadas para zonas de risco sísmico.

Por último, mas não menos importante, apesar de ser uma solução muito pouca usada em Portugal, temos a alvenaria armada, a qual é constituída por tijolos cerâmicos ou por blocos de betão, ambos com furação vertical, e ligados com argamassa e por varões ou redes, normalmente em aço, vertical e horizontalmente, de forma a criar um conjunto resistente solidário. É portanto uma solução muito resistente ao corte e flexão, sendo também eficiente em zonas sísmicas.

Posto isto, torna-se então preponderante que as paredes de alvenaria no geral obedçam a um conjunto de exigências:

- segurança estrutural e ao fogo;
- durabilidade e facilidade de manutenção;
- conforto térmico e acústico;
- estanquidade ao ar e à água;
- aspecto adequado;
- facilidade e rapidez de execução.

De todas estas exigências aplicáveis às paredes de alvenaria, destaca-se a segurança estrutural ou estabilidade, uma vez que esta é a condição base para que possa ser possível o uso adequado de uma habitação, por parte dos utentes.

Esta segurança, aliás como o próprio nome indica, é essencial em alvenarias estruturais, nas quais se considera a resistência a cargas verticais, ou seja, resistência da alvenaria à compressão simples e excêntrica, e resistência a acções horizontais.

A melhoria das condições de conforto nos edifícios em geral e na habitação em particular, associada às preocupações de gestão racional de energia, conferem ao comportamento térmico da envolvente das construções um peso relevante.

À semelhança do que já foi dito nas Considerações Iniciais, as paredes de alvenaria têm em Portugal, um papel preponderante na construção, sobretudo como panos de enchimento de estruturas reticuladas de betão armado e como paredes divisórias interiores.

O seu desuso como solução estrutural começou no fim do século XIX, contudo a sua verdadeira queda ocorreu no princípio do século XX, após a generalização do betão armado e dos seus processos de cálculo.

Apesar de alguns estudos demonstrarem que, para edifícios de pequeno porte, o uso de alvenaria estrutural é competitiva em relação à solução tradicional em estrutura em reticulada de betão armado [16], em Portugal, a utilização desta última solução, é rara, ao contrário do que se sucede noutros países desenvolvidos, onde esta solução em alvenaria estrutural se foi adaptando às novas exigências tecnológicas e estéticas da arquitectura.

Ora, se a diversidade de materiais de construção usados na realização de uma parede de alvenaria já é grande, atente-se nas diferentes técnicas construtivas de um país para o outro, o que vai aumentar ainda mais a heterogeneidade que caracteriza as alvenarias.

Assim, as tradições de cada região, os custos de transporte dos materiais, na medida em que vão ser usados materiais cuja fábrica esteja o mais perto possível da obra a realizar, a formação de mão-de-obra especializada, a transferência da tecnologia de produção e a ausência de normas portuguesas, contribuem ainda mais para dificuldade de homogeneização.

Para que este problema de falta de homogeneidade nas paredes de alvenaria seja ultrapassado, é determinante o esforço que está a ser feito ao nível das normas europeias pelo CEN, que tem feito estudos tendo em vista uniformizar as técnicas de construção das alvenarias nos diversos países da Europa.

Actualmente em Portugal, continuam a utilizar-se como elementos de alvenaria algumas soluções tradicionais que têm vindo a ser intocáveis ao longo dos tempos, mas também se usam alguns materiais mais recentes, apesar de ser em escala muito reduzida.

Os principais materiais usados na realização de uma parede de alvenaria, são as unidades de alvenaria, ou seja, tijolos cerâmicos e blocos de betão de inertes correntes, e argamassa, e pertencem ao grupo dos chamados tradicionais.

Os tijolos cerâmicos inicialmente eram maciços, mas a sua forma foi evoluindo para soluções cada vez mais aligeiradas, nomeadamente com furação horizontal.

Os tijolos cerâmicos de furação horizontal são usados na realização de paredes exteriores e de compartimentação em edifícios e, representam cerca de 90% dos elementos empregues na execução de paredes de alvenaria.

São seguidos, a uma muito menor escala entenda-se, pelos tijolos cerâmicos de pequeno formato, maciços ou perfurados e, por blocos de betão de agregados correntes e leves, sendo os primeiros usados essencialmente em alvenaria à vista.

Em relação ao grupo dos materiais não tradicionais a usar em paredes exteriores, importa referir os blocos de betão celular autoclavado, os blocos de betão de agregados correntes “splitados” e os tijolos de cerâmica alveolada de furação vertical.

No que às unidades de alvenaria diz respeito, apesar de estes materiais serem certificados, a sua qualidade é mediana e em alguns casos bastante fraca.

Esta menor qualidade tem a ver com o facto de, em Portugal, o material escolhido para o uso na alvenaria ser normalmente o de menor preço, e também devido ao sector industrial ter grande parte do mercado conquistado, o que provoca uma estagnação no mercado, com falta de investimento em novas soluções e novos materiais.

Em relação às argamassas de assentamento e de acabamento de alvenarias, são na grande maioria realizadas à base de cimento e areia.

A quantidade e a qualidade do tipo de cimento são muito importantes na realização de argamassas para alvenarias.

Tendo em conta evitar a aleatoriedade das propriedades das argamassas realizadas em obra, verifica-se uma enorme vantagem em usar argamassas pré-doseadoras ou prontas, melhorando aspectos como a trabalhabilidade, aderência, baixo módulo de elasticidade, etc.

## **2.3. EXECUÇÃO DE PAREDES EM ALVENARIA RESISTENTE**

### **2.3.1. TRABALHOS PREPARATÓRIOS**

Para uma correcta execução de uma parede de alvenaria, deve-se ter em atenção um conjunto diverso de acções preliminares, de onde se destacam:

- Impermeabilizar a base das paredes de alvenaria do pavimento térreo ou as que estão em contacto com o terreno, através de uma barreira contra a humidade, numa das primeiras fiadas acima do terreno;
- Deve-se exigir um conjunto de medidas de segurança aquando da realização destas alvenarias em obra, de forma a evitar qualquer tipo de acidentes;
- Antes da colocação da argamassa, deve-se ter o cuidado de limpar com água as superfícies a revestir, para eliminação de poeiras e sujidades, bem como de rugosidades, que possam por em causa uma correcta ligação da interface bloco/argamassa, e de as molhar abundantemente, principalmente se se tratar de superfícies porosas. Para além do que foi dito, deve-se fazer um nivelamento destas superfícies.

Diga-se, em abono da verdade, que as paredes resistentes exteriores ou interiores de edifícios têm um conjunto mais vasto de trabalhos preparatórios que os acima mencionados, bem como os modos de execução a seguir referidos, contudo essa descrição sai fora do âmbito do presente trabalho.

### 2.3.2. MODO DE EXECUÇÃO

Antes de mais nada, importa dizer que para uma correcta execução e, um bom funcionamento de uma parede de alvenaria, tem de se começar bem aquando da sua implantação, ou seja, a estrutura que a suporta e delimita, tem de ser feita com o maior cuidado e profissionalismo.

Com uma régua de 2 metros, vai-se efectuar o nivelamento do pavimento que vai suportar a alvenaria, pavimento este que pode ser térreo ou elevado. Conseguído o nivelamento, procede-se à colocação de uma camada de argamassa com a largura da parede a implantar. As paredes resistentes devem possuir uma espessura mínima de 150 mm.

A argamassa a usar deve ser objecto de estudo em projecto, e deve ser caracterizada por um determinado traço, de forma a não comprometer o comportamento e desempenho presente e, principalmente futuro, das alvenarias.

No caso do assentamento de alvenarias, é aconselhável o uso de argamassas com traços entre 1:3 e 1:5.

O tipo de argamassa a ser utilizado também deve ser adaptado e adequado ao tipo de parede de alvenaria em questão, porque como por exemplo, no caso de paredes de alvenaria cerâmica de face à vista, o uso da argamassa desapropriada, como é o caso de argamassas ricas em argila, que quando em contacto com a água, os sais que as constituem dissolvem-se e migram para a superfície do tijolo à medida que se evapora a água, originando o aparecimento de eflorescências e manchas, que vão pôr em causa o aspecto estético da construção.

Reunidas todas as condições, sucede-se o assentamento da 1ª fiada, na qual o espaçamento das unidades é feito **através de um objecto com a medida necessária para as juntas verticais**.

Duma forma geral, aos trabalhos de assentamento correspondem a baixos consumos de argamassa, na casa dos 10 a 15 litros/m<sup>2</sup> de alvenaria. Deve-se evitar a produção de grandes volumes de argamassas, para que estas sejam utilizadas antes do início de presa, para assim serem evitados desperdícios.

A argamassa deve ser aplicada imediatamente após a confecção. Argamassas lavadas pela chuva ou que começaram a fazer presa, devem ser rejeitadas.

A horizontalidade das fiadas e a verticalidade do paramento, esta última característica conseguida através de um fio-de-prumo, deverão ser asseguradas pela marcação em fasquias das fiadas de unidades a utilizar e da altura da parede, após a realização da 1ª fiada. Estica-se um cordel entre fasquias e, obtém-se um nivelamento das juntas horizontais.

Deve-se minimizar o número de unidades cortadas em cada fiada, através de sucessivas tentativas com fita ou com compasso, o que nem sempre é fácil, uma vez que se está, na maior parte das vezes, condicionado pelo pé-direito da alvenaria, pela altura dos peitoris das janelas, etc.

Só em último recurso se deve cortar unidades de alvenaria e, quando isso aconteça, estas devem ser cortadas com bastante cuidado e uniforme, de forma a serem cumpridas exigências geométricas. Este corte é feito duma maneira geral, através de um disco rotativo.

Quando a realização das paredes de alvenaria ocorrer em períodos do ano em que faça bastante calor, pode ser necessário molhar ou mergulhar em água limpa, as unidades de alvenaria, para estas não absorverem parte da água da amassadura da argamassa e para se obter a aderência especificada para a argamassa. Isto, caso as unidades sejam muito absorventes.

Para além disto, a utilização de argamassa com aditivos de retenção de água, também pode reduzir a humedificação inicial.

A colocação das unidades de alvenaria na parede devem ser sobrepostas de forma desencontrada de fiada para fiada, com pelo menos 1/3 do comprimento do tijolo, para que a parede funcione como um elemento único e resistente.

No que às **juntas** diz respeito, quando a sua espessura estiver entre 0,5 mm e 3 mm, a argamassa indicada é a argamassa-cola.

Só se pode considerar uma superfície de uma parede de alvenaria acabada, quando a argamassa das juntas tiver ganho presa, de forma a assegurar à parede as características adequadas de durabilidade e, de capacidade para não deixar entrar água das chuvas.

Para além disto as juntas devem estar seladas, uma vez que os panos de alvenaria sofrem movimentos devido a acções exteriores, para que estes não afectem negativamente a resistência ao fogo das paredes.

Por vezes, e caso estas características finais não se verifiquem numa parede de alvenaria, seja devido a má execução em obra, ou a problemas com a matérias-primas utilizadas, devem-se raspar as faces contíguas das juntas, deixando-as desimpedidas até a uma profundidade de, pelo menos, 15 mm, mas nunca superior a 15% da espessura do pano.

Depois faz-se a limpeza do interior das juntas com uma escova, retirando todos os materiais soltos que possam existir, procedendo-se ao refechamento das juntas com uma argamassa idêntica à utilizada para o assentamento das unidades.

A unidade de alvenaria é assente num leito de argamassa, sendo esta última colocada na fiada anterior - junta horizontal – e leva lateralmente uma chapada de argamassa com uma colher – junta vertical. Depois a unidade é ligeiramente carregada e esfregada, de maneira a que a argamassa possa refluir pelas juntas. A argamassa excedente deve ser imediatamente retirada da face da unidade e, deve ser aproveitada para o assentamento da unidade seguinte.

Tudo que tenha a ver com borrifos ou pingos aquando da colocação da argamassa, deve ser imediatamente limpo, antes que ocorra o seu endurecimento no pano da alvenaria.

Devido ao ritmo de presa da argamassa e ao elevado peso próprio da alvenaria e, de forma a evitar-se instabilidade e excesso de tensão na argamassa, é aconselhado não se construir um pano de alvenaria de altura superior a 1,60 m por dia e, deve-se no final do trabalho, proteger a parede com plástico, para assim ficar protegida do sol, do vento, de chuvas abundantes, de variações bruscas de temperatura e do gelo.

Deve-se manter a parede de alvenaria húmida e não deve ser sujeita a carregamento, até que o seu conjunto, atinja a resistência adequada, caso contrário a cura da alvenaria ocorria de modo demasiado rápido e o pano podia ser danificado, respectivamente.

Caso ao colocar uma unidade de alvenaria na parede, ocorrer algum erro que não possa ser corrigido na hora, dever-se-á levantar a unidade, retirando completamente a argamassa das juntas e, voltar a executar a operação com argamassa fresca.

Se a parede, por algum motivo, estiver exposta durante a sua construção, a acções do vento ou de carregamento excessivo, pode-se e deve-se construir uma estrutura provisória de escoramento, para assim ficar garantida a sua estabilidade.

Concluída a execução de uma parede de alvenaria, deve-se verificar o alinhamento das fiadas, bem como a verticalidade das paredes, confirmar se as juntas de uma forma geral não apresentam

irregularidades e apresentam espaçamento regular e, as juntas verticais com argamassa estão completamente preenchidas.

### 2.3.3. JUNTAS DE ASSENTAMENTO

Alguns autores defendem que as juntas de assentamento são um ponto sensível das paredes de alvenaria, já que constituem um problema ao nível das pontes térmicas e da acústica.

Para diminuir este impacto negativo no desempenho geral dos panos, propõem:

- utilização de argamassas de assentamento mais isolantes;
- redução do número de juntas, através do aumento das dimensões faciais dos elementos, diminuindo assim a proporção da área de juntas relativamente à área ocupada pelos elementos;
- diminuição do peso das juntas verticais através da redução da sua espessura, por eliminação do preenchimento das juntas verticais e, no limite, pela eliminação do preenchimento das juntas horizontais;
- recurso a descontinuidades nas juntas de assentamento de forma a reduzir as pontes térmicas.

Num ponto de vista mecânico também as juntas são um ponto fraco das alvenarias, na medida em que o seu aumento de espessura prejudica a sua resistência final.

Após um estudo efectuado por Drysdale [6], verificou-se que a duplicação da espessura das juntas de 9,5mm para 19mm originou uma redução da resistência à compressão da alvenaria em cerca de 16%.

Também o Euro código 6 [8] dá vantagem ao uso das juntas delgadas em detrimento das juntas de espessura corrente.

Certos estudos indicam também que o não preenchimento ou o preenchimento pouco cuidado das juntas verticais penaliza bastante a resistência ao corte das alvenarias [23].

Outros há que defendem que o preenchimento das juntas verticais é de certa forma vantajoso, contudo tem um papel pouco significativo no que ao aumento da resistência das paredes à compressão diz respeito.

A verdade é que a utilização de argamassa nas juntas, quer verticais quer horizontais, dá uma rigidez ao conjunto, uma vez que a argamassa endurecendo solidariza os elementos do pano e permite uma transmissão de esforços uniforme, evitando desta forma possíveis fissuras nas unidades de alvenaria.

Para além disto, a utilização de juntas argamassadas permite a atenuação dos pontos duros de contacto entre as superfícies dos elementos numa parede de alvenaria, e durante a sua execução vai permitir a correcção da verticalidade e horizontalidade do pano.

Apesar disto, para que a utilização de juntas de argamassa seja benéfica, há que ter em conta determinadas exigências, tais como uma espessura adequada, sua correcta execução em obra, características físicas e químicas da argamassa e dos seus constituintes adequadas.

O assunto do preenchimento ou não das juntas verticais tem sido alvo de grande polémica no seio da comunidade científica da construção.

Os argumentos usados para o não preenchimento são de ordem económica e da dificuldade de execução das juntas verticais.

Contudo, ninguém defende que em paredes sujeitas a solicitações horizontais e com cargas excêntricas aplicadas as juntas verticais sejam secas, uma vez que o seu preenchimento vai permitir uma melhor resistência ao corte.

Conclui-se portanto que o seu preenchimento, apesar de ter uma contribuição reduzida para o aumento da resistência da parede à compressão, é vantajoso [19].

Hoje em dia, já é frequente o uso de unidades de alvenaria com ranhuras salientes, que vão permitir um encaixe quase perfeito entre unidades de alvenaria, eliminando pontes térmicas e fazendo um isolamento repartido.

Esta supressão de argamassa nas juntas tem apenas a ver com questões de economia e produtividade, como já foi atrás apontado.

Há autores que defendem que o aumento da resistência das argamassas e uma redução da espessura das juntas têm efeitos benéficos para a resistência final da alvenaria [19].

A existência de descontinuidades são importantes em termos de estanqueidade à água da chuva, porque funcionam como cortes de capilaridade, dificultando o percurso da água para o interior do pano.

O preenchimento ou não das juntas de assentamento com argamassa e os seus reflexos na estanqueidade à água das chuvas das paredes é um assunto controverso.

Com efeito, segundo uma campanha de ensaios realizada em França na década de 60, a existência de juntas argamassadas comparativamente à adopção de juntas secas, reduz o risco de penetração da água, revelando melhor comportamento as juntas objecto de um acabamento mais cuidado [13].

Por outro lado, a utilização de argamassas menos permeáveis parece melhorar o comportamento da parede sob este ponto de vista, bem como a utilização de juntas de assentamento descontínuas.

No entanto, os desenvolvimentos associados à melhoria do comportamento térmico e sobretudo as preocupações com a obtenção de ganhos de produtividade no assentamento de alvenarias levaram em muitos casos á adopção de juntas verticais secas e à substituição das argamassas correntes por argamassa-cola nas juntas horizontais.

A qualidade de execução da parede é também um factor importante pois, além de outros aspectos, um preenchimento incorrecto ou insuficiente das juntas pode facilitar a penetração da água.





# 3

## CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS DAS ALVENARIAS

### 3.1. ARGAMASSA

As argamassas podem ser classificadas segundo o tipo de ligante pelo qual são constituídas, ou ainda pela sua forma de fabrico, massa volúmica, tipo de aplicação ou propriedades físicas. Designa-se por argamassa a mistura de um ou mais ligantes, areia e água.

Para além destes componentes essenciais, podem ainda ser adicionados produtos especiais, denominados adjuvantes, com a finalidade de melhorar ou conferir determinadas propriedades à mistura.

A utilização dos ligantes (cimento, cal aérea, cal hidráulica) permite a união dos grãos das areias, funcionando como elementos activos nas argamassas, sofrendo transformação química.

O uso de material inerte tem como objectivo diminuir a contracção e tornar o material mais económico [1].

O ligante reage com a água endurecendo, de forma que a mistura adquire coesão e uma resistência tal, que lhe permite servir como material de construção.

Existem argamassas de cimento (Portland ou outro), de cimento misturadas com cal, argamassas de cal aérea e de cal hidráulica e, por último, de gesso e polímeros.

Os dois primeiros tipos são os mais comuns actualmente.

Em relação à sua forma de fabrico, temos as argamassas produzidas em fábrica, denominadas de argamassas prontas ou pré-doseadas, às quais basta apenas adicionar água para ficarem prontas a ser usadas e, argamassas preparadas em obra, caracterizadas por composições pouco variadas.

Convém referir que as argamassas prontas têm já grande utilização noutros países nos dias de hoje, ao contrário do que sucede em Portugal [18].

No que à massa volúmica diz respeito, as argamassas podem ser correntes, caso a massa volúmica seja superior a 1500 g/m<sup>3</sup> ou leves, se massa volúmica inferior a 150 g/m<sup>3</sup>.

São diversas as aplicações das argamassas, de onde se destacam **argamassas para alvenarias, ou seja**, argamassas de assentamento de pedras, tijolos cerâmicos ou blocos, **argamassas de revestimento**, usadas em trabalhos de acabamento para regularização, principalmente em paredes e tectos, mas também em pavimentos elevados ou térreos.

Outro tipo de argamassas também bastante frequente, são as de impermeabilização, usadas em tanques e reservatórios, quando as paredes não têm a impermeabilidade desejada.

Assim, a argamassa tem como principais funções:

- ligar unidades de alvenaria;
- absorver deformações;
- uniformizar a transmissão de esforços, através da regularização do plano de assentamento dos elementos;
- tapar juntas.

As propriedades mais importantes das argamassas são:

- resistências mecânicas (resistência à compressão, resistência à flexão, resistência ao desgaste, etc);
- compacidade e impermeabilidade;
- aderência;
- variações de volume;
- resistência química;
- durabilidade.

E dependem da:

- quantidade, qualidade e tipo de ligante;
- quantidade e qualidade da areia;
- quantidade de água.

Para que a mistura seja de boa qualidade é necessário que todos os grãos de agregado sejam completamente envolvidos pela pasta de cimento e água, e que a adesão entre areia e a pasta seja perfeita.

Para além disto, os vazios entre os grãos do agregado devem estar completamente preenchidos pela pasta de cimento.

Caso esta última condição não seja respeitada, a argamassa poderá, mesmo assim, apresentar uma resistência à compressão elevada e uma coesão aceitável. Contudo, será uma argamassa frágil, com baixa resistência à tracção e, principalmente, apresentará uma grande permeabilidade.

No caso de argamassas de revestimentos exteriores, deve-se ter sempre em atenção a constância de volume da argamassa, uma vez que esta está sempre associada à impermeabilidade. Ora, se ocorrer retracção, isto é, diminuição das dimensões provocada por secagem, também vai surgir fendilhação, que vai pôr em causa o desempenho do pano de alvenaria, logo deixa de haver impermeabilização.

Em relação à sua classificação segundo as propriedades físicas, para desempenharem convenientemente as funções a que se destinam, as argamassas devem satisfazer exigências, que variam de acordo com a aplicação, no que respeita ao conjunto das suas propriedades.

A aderência, impermeabilidade, durabilidade e a constância de volume são, independentemente da sua aplicação, propriedades muito importantes para qualquer argamassa.

Já a resistência à compressão, é a principal propriedade das argamassas e, a um aumento da resistência à compressão, está associada uma melhoria das resistências mecânicas atrás referidas, da compacidade e da impermeabilidade, bem como da resistência química, apesar de uma diminuição da aderência.

Alguns estudos indicam que para uma mesma quantidade de água, a resistência à compressão aumenta com a dosagem de ligante, assim como quanto menor for a razão água/cimento, maior é a resistência à compressão da argamassa, isto em argamassas plásticas e compactas [5].

Contudo, a redução da quantidade de água tem de estar dentro de certos limites, uma vez que é necessário um mínimo de água, para assim ser assegurada a hidratação do cimento, assim como que a superfície dos grãos de areia é molhada.

Para além do dito, não se verifica benefício em aumentar a quantidade de cimento para além de um determinado valor, já que se aumenta a retracção e a resistência não tem um aumento significativo.

Com o intuito de aumentar a compacidade de uma argamassa, devem-se adoptar areias com compacidade máxima e elevadas dosagens de cimento, mas simultaneamente, deve-se ter em conta que acima de um determinado limite de dosagens de cimento, a compacidade da argamassa não aumenta.

Em relação à aderência das argamassas com as superfícies, esta depende da natureza e composição de ambos os materiais e, aumenta com a fluidez, ou seja, com a trabalhabilidade da argamassa.

Argamassas constituídas por areia com grãos grossos e finos, sem grãos médios, são caracterizadas por uma melhor aderência, aliás, à semelhança do que acontece com a resistência e com a compacidade.

Desta forma, a aderência máxima verifica-se para uma consistência um pouco mais fluida do que a corresponde à resistência máxima.

Tem-se verificado também que, a aderência entre argamassas secas e superfícies molhadas e entre argamassas plásticas e superfícies secas, é muito fraca [5].

Em relação à composição de uma argamassa, é caracterizada como sendo a quantidade de cada um dos seus componentes, nomeadamente cimento, areia e água, existente num metro cúbico de argamassa.

Esta mesma composição também pode ser expressa pelo traço, isto é, proporções dos componentes cimento, areia e água, por esta ordem, para a quantidade unitária de cimento, embora por vezes o traço não inclua a água.

O traço também pode vir expresso em volume, e para isso basta dividir os valores do traço em peso pela baridade.

Aquando da preparação de uma determinada argamassa, devem ser tomadas todas as precauções para se obter um produto tão homogéneo quanto possível e, evitar a destruição desta homogeneidade durante o transporte por acção de choques que provocam segregação da argamassa.

Como já foi dito anteriormente, cada obra é um caso particular, onde é exigido o uso de argamassas diferentes, atendendo a diversos factores como, por exemplo, o tipo e a velocidade de construção, tipo de materiais que vão estar em contacto com a argamassa, exposição ambiental, entre outros.

As argamassas de cimento, apresentam de facto resistências mecânicas mais elevadas, mas no entanto, a resistência nem sempre é o requisito mais importante, podendo-se obter em trabalhos correntes de construção, melhores resultados com a utilização de argamassas menos resistentes, contendo uma determinada proporção de cal.

A presa de uma argamassa de cal é lenta, enquanto que a do cimento é rápida logo, quando os prazos de construção de uma determinada obra são reduzidos, é necessária uma mistura com um elevado conteúdo de cimento [5].

Em relação à porosidade verifica-se que nas argamassas de cal esta é superior à que se verifica nas argamassas de cimento. Ora, como é desejável que a porosidade existente na argamassa e nos materiais de contacto seja idêntica, no caso do uso de materiais muito absorventes, deve-se utilizar uma argamassa de cal [5].

## 3.2. CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS

### 3.2.1. AREIA

Em relação às areias usadas na constituição das argamassas, a sua classificação tem por base a sua dimensão.

Assim, se o diâmetro das suas partículas é inferior a 0,5mm, estas classificam-se em areias finas. Caso as partículas tenham dimensões compreendidas entre 0,5 e 2mm, classificam-se de médias e, por último, se as dimensões das partículas forem superiores a 2mm, definem-se como areias grossas.

Para verificar a qualidade de uma areia recorre-se a normas, cujos valores de garantia de bom comportamento das argamassas estão tabelados.

As areias grossas e as de granulometria muito uniforme, que apresentam muitos vazios, necessitam de uma elevada dosagem de ligante para se obter uma argamassa trabalhável, caso contrário, com dosagens baixas de ligante, a pasta tem tendência a separar-se do agregado.

As areias provenientes do mar, são compostas por partículas predominantemente esférica, devido a terem sido roladas em várias direcções, mas também contêm sais e fragmentos de conchas que prejudicam a sua resistência e podem provocar o aparecimento de manchas nas paredes, patologia que pode vir a ser evitada, caso as areias sejam lavadas antes de serem usadas.

As areias para argamassas devem satisfazer certas exigências, tais como ser bem graduadas, os grãos devem ter uma forma arredondada, não devem conter impurezas ou material muito fino em excesso, uma vez que areias finas dão origem a argamassas de qualidade inferior, exigindo a utilização de grande quantidade de água de amassadura.

Alguns estudos indicam que a compacidade máxima das areias obtém-se com 2/3 de grãos grossos e 1/3 de grãos finos, sem grãos médios.

Desta forma, as argamassas têm baixa dosagem de ligante e uma pequena quantidade de água de amassadura.

Para além disto, esta argamassa apresenta ainda uma aderência excelente.

### 3.2.2. LIGANTE

Designa-se por ligante o material que ganha presa e endurece, com propriedades adesivas e coesivas capazes de unir outros materiais, de aderir às superfícies com as quais foram postos em contacto e de aglomerar uma proporção elevada de fragmentos, conferindo ao conjunto compacidade e resistência.

Há dois grandes grupos de ligantes, ambos muito importantes na construção civil, os ligantes de natureza inorgânica e os ligantes de natureza orgânica.

Para o caso em estudo, dá-se especial importância aos ligantes inorgânicos, os quais são constituídos por pós muito finos que, após serem misturados com água, formam uma pasta capaz de endurecer por simples secagem, ou de uma forma mais geral, por consequência de reacções químicas, podendo aglomerar outros materiais.

Os ligantes inorgânicos podem-se classificar em ligantes hidráulicos e ligantes aéreos.

Os ligantes hidráulicos formam uma pasta com água, sendo o endurecimento provocado pela reacção química entre pó e a água e, têm esta designação, porque além de endurecerem ao ar, também podem endurecer dentro da água, suportando perfeitamente a sua acção. São destes exemplo, cal hidráulica e cimento.

Quanto aos ligantes aéreos, onde se inclui a cal aérea e o gesso, costumam vir em pó dentro de embalagens e, quando misturados com água, forma-se uma pasta que endurece ao ar e não é resistente à acção da água.

### 3.2.2.1. CAL AÉREA

A cal resulta da cozedura dos calcários, os quais podem ser puros ou conter quantidades variáveis de argila (Coutinho, 1988), e é constituída sobretudo por carbonato de cálcio [CO<sub>3</sub>Ca].

A cal aérea apagada ou extinta, representada na normalização europeia por sigla que contém letra S, tem origem na reacção da cal aérea viva, que é representada pela sigla que contém letra Q, com água, a qual é obtida da cozedura até 850°–900°C de calcários puros ou quase puros [20].

A cal viva [CaO] ao reagir com água transforma-se em cal apagada [Ca (OH)<sub>2</sub>], traduzindo-se num aumento do seu volume aparente e um forte desprendimento de calor, que pode conduzir a temperaturas superiores a 100°C [20],[21].

A reacção com água designa-se por extinção. Caso seja feita com excesso de água, através da imersão das pedras de cal viva em água, obtém-se cal apagada sob a forma de pasta (pasta de cal ou pasta de cal apagada), e é normalmente realizada em obra.

É um produto muito pouco poroso, permeável e que endurece lentamente [20].

Se for usada apenas a água necessária à formação do hidróxido, obtém-se cal apagada sob a forma de pó, e é designada por cal hidratada.

Actualmente, o uso de cal em pasta tem sido preterido em relação ao da cal em pó, uma vez que a cal em pó é já um produto industrial, disponível em embalagens, sendo a sua produção muito mais simples e rápida.

Desta forma, designa-se por cal aérea um ligante constituído por óxidos de cálcio [CaO] ou hidróxidos de cálcio [Ca (OH)<sub>2</sub>], que endurece lentamente ao ar através da reacção com dióxido de carbono [CO<sub>2</sub>], originando o carbonato de cálcio[CO<sub>3</sub>Ca]. Duma forma geral a cal aérea não endurece na água, porque não tem propriedades hidráulicas.

O seu endurecimento faz-se duma forma lenta, e divide-se numa primeira fase onde se dá a evaporação da humidade em excesso, ao fim da qual a cal resiste ao tacto, mas pode ser riscada com a unha, e numa segunda fase, onde hidróxido de cálcio dá origem ao carbonato de cálcio, após reacção com dióxido de carbono.

É normal a pasta de cal ao secar retrair e fissurar, daí ser comum juntar areia nas argamassas de cal.

Desta forma, os grãos de areia permitem a divisão em pequenas fracções que arejam a argamassa, possibilitando também a sua carbonatação ao mesmo tempo que se dá a secagem.

Deve-se ter o cuidado da areia a usar ser siliciosa ou calcária, limpa, de forma a que seja isenta de matérias húmicas e de argila [21].

As argamassas de cal aérea caracterizam-se quer por vantagens, quer por desvantagens.

Quando fresca, argamassa com cal possui uma muito maior trabalhabilidade e uma maior capacidade de retenção de água, que por sua vez não vai permitir uma sucção excessiva de água pela alvenaria.

No seu estado sólido a cal tem capacidade de absorver deformações, o que permite à argamassa acompanhar as movimentações da estrutura.

Para além disto, possibilita diminuição da retracção de secagem, o que possibilita a redução da variação dimensional, que vai permitir um decréscimo no número de fendas que possam eventualmente surgir.

Contudo, caso as argamassas tenham apenas cal como ligante, também apresentam algumas desvantagens de onde se destacam uma tendência para a fissuração, um endurecimento muito lento, muito baixa resistência à compressão e grande sensibilidade a ambientes agressivos. Ora, estas desvantagens podem ser diminuídas, se juntarmos à cal uma certa quantidade de cimento.

### 3.2.2.2. CAL HIDRÁULICA

Caso a pedra calcária (CO<sub>3</sub>Ca) contenha 8 a 20% de argila, e seja sujeita a cozedura de cerca de 1000°C, origina cal hidráulica [20].

Como estes calcários que formam cal hidráulica contêm maior percentagem de argila do que os da cal aérea, originam a formação de óxido de cálcio livre ( $\text{CaO}$ ) e silicatos ( $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$ ) e aluminatos de cálcio ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$ ).

Após a sua hidratação, estes componentes endurecem quer na água quer ao ar, sendo que pelo menos 3% de óxido de cálcio continuam livres e vão endurecer por carbonatação.

Caso a temperatura de cozedura seja mais alta, ou seja, até  $1500^\circ\text{C}$ , e a percentagem de argila superior, leva-nos a concluir que a reacção é mais completa, isto é, a quantidade de silicatos e aluminatos de cálcio é maior, diminuindo a quantidade de óxido de cálcio livre, sendo as reacções semelhantes às que ocorrem no cimento.

Desta forma, é usual caracterizar a cal hidráulica em função da quantidade de argila, correspondendo aos maiores teores de argila cal hidráulicas com características semelhantes às do cimento e a menores teores, cal com características mais próximas da cal aérea.

Em comparação com cal aérea, a cal hidráulica apresenta maiores resistências mecânicas, menor tempo de presa e ao mesmo tempo mantém as boas características de plasticidade e de retenção de água das primeiras.

Em relação ao cimento, tem uma cor idêntica, apesar de ter uma menor resistência, sendo por isso utilizadas em situações que não sejam exigidas resistências mecânicas elevadas.

Pode ser adoptada como ligante único em argamassas de assentamento, revestimento e reboco de paredes de alvenaria.

### 3.2.2.3. CIMENTO

Segundo a normalização europeia (EN 197-1), define-se CIMENTO (CEM) como sendo um ligante hidráulico, isto é, um material inorgânico finamente moído, que quando misturado com água, forma uma pasta que ganha presa e endurece por reacções e processos de hidratação e que, depois de endurecida, conserva a sua estabilidade e capacidade resistente, mesmo debaixo de água.

Se este for devidamente misturado com água e agregados, pode-se obter um betão ou argamassa que, conserva trabalhabilidade adequada durante um período de tempo suficiente e que, a determinadas idades, atinge níveis de resistência especificados, apresentando sempre uma estabilidade volumétrica a longo prazo.

Os principais componentes do cimento Portland são silicato tricálcico ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ), silicato bicálcico ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ), aluminato tricálcico ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) e aluminoferrato tetracálcico ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) [5].

A acrescentar a estes componentes principais do clínquer, existem outros em menor quantidade, mas não necessariamente de menor importância, como por exemplo, os óxidos de magnésio ( $\text{MgO}$ ), de titânio ( $\text{TiO}_2$ ), de manganésio ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ), de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), e de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) [5].

Estes componentes, apesar de se encontrarem no cimento em pequenas percentagens, podem ter uma noção nociva.

Assim, por exemplo, os óxidos de sódio e potássio, designados por álcalis, podem reagir com alguns agregados, ou seja, agregados contendo sílica reactiva, silicatos ou carbonato, causando os produtos da reacção a desintegração do betão e afectando a presa e o ritmo de aumento de resistência do cimento.

Um outro exemplo, é o óxido de magnésio, que se combina pouco, podendo cristalizar ou permanecer em solução sólida na fase vítrea do clínquer arrefecido.

Quando o arrefecimento é lento, o óxido de magnésio, origina grandes cristais de periclase, que podem dar lugar a expansões, provocando danos no betão [5].

Considera-se que uma dosagem normal de ligante, deve preencher os vazios da areia e, para além disso, deve-se acrescentar pelo menos mais 10% de ligante à mistura inicial, de maneira a que todos os grãos fiquem bem envolvidos, sem excepção [5].

Uma argamassa onde é utilizado pouco ligante, é designada por magra ou pobre, enquanto o oposto, classifica-se como gorda ou rica.

Apesar das diferentes composições que podem caracterizar os cimentos, deve-se privilegiar as que confirmam boa trabalhabilidade e retenção de água, em detrimento de características mecânicas elevadas [20].

Mesmo para dosagens mais baixas de ligante, a cal proporciona argamassas mais plásticas e mais trabalháveis que as de cimento, mas consequentemente com resistências mecânicas mais reduzidas.

O início e fim de presa, expansibilidade, espalhamento, resistência à compressão, retenção de água são algumas das exigências físicas requeridas aos cimentos para alvenaria em normalização, e são determinadas sobre provetes de argamassa ou de pasta de cimento com composição normalizada [20].

Os cimentos são geralmente classificados por classes de resistência, correspondentes à resistência mínima à compressão aos 28 dias de argamassas com composição normalizada.

É comum a utilização de cimento como ligante único da argamassa, em detrimento da mistura de cal aérea e cimento portland das argamassas bastardas.

### 3.2.3. ÁGUA

Em relação à água usada na preparação da argamassa, deve desde já obedecer a duas características essenciais.

Uma é que esta não deve conter substâncias em suspensão ou dissolvidas, uma vez que estas podem alterar a presa do cimento.

Não se deve, portanto, usar águas da chuva e águas paradas, porque são ácidas, ou seja, pH inferior a 7, o que pode originar reacções químicas indesejáveis, e contêm grandes quantidades de matéria orgânica, respectivamente.

Outro aspecto a ter em conta, é que a temperatura a que se encontra a água, para não haver uma alteração ao tempo de presa.

Em relação à quantidade de água usada na preparação da argamassa, deve ser suficiente para hidratar o cimento, devendo os seus valores estar aproximadamente entre 0,23 a 0,25 do peso do cimento e, molhar o agregado, ou seja, a areia para permitir a ligação com a pasta de cimento, caso contrário, se a quantidade for inferior à ideal, a água que se perde por evaporação deixa poros, diminuindo dessa forma a resistência da argamassa.

Deve-se portanto, adicionar o mínimo de água possível, mas que ao mesmo tempo assegure a aderência e a plasticidade da argamassa.

Enquanto que uma argamassa seca tem elevada resistência à compressão, mas normalmente pouca aderência, admitindo-se a sua utilização apenas quando fortemente comprimida, uma argamassa mole é pouco resistente mecanicamente.

Conclui-se desta forma, que é necessário encontrar um meio termo para a quantidade de água a utilizar, uma vez que para além do que vimos atrás, um excesso de água de amassadura também é prejudicial, porque aumenta a porosidade e a permeabilidade da argamassa, já que a evaporação da água em excesso, deixa vazios na argamassa.

Na prática, nomeadamente em obra, há muitas vezes a tendência de utilizar muita água, para tornar a mistura mais fácil de manusear e conservar a argamassa mais tempo no estado plástico, o que é errado, pelos motivos atrás referidos.

Observou-se também que quanto mais elevado é o conteúdo de cimento de uma argamassa, maior a sua resistência às acções ambientais e à humidade, e que quando o ambiente da obra é agressivo,

devem ser utilizados cimentos Portland com pozolanas ou escórias, ou ainda mesmo outro tipo de cimento, como por exemplo o aluminoso [5].

### **3.3. UNIDADES DE ALVENARIA**

#### **3.3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Conhecer a natureza e os processos de fabrico dos materiais que compõem os panos de alvenaria é muito importante, na medida em que dessa forma é-nos permitido compreender as suas propriedades e, conseqüentemente, o seu desempenho.

Apesar do seu uso ter vindo a diminuir face ao aparecimento no mercado de novos materiais, importa aqui fazer uma breve referência às pedras naturais.

O xisto, a mármore e o granito, são exemplos deste tipo de materiais que têm vindo a ser preteridos por materiais artificiais, que proporcionam melhor isolamento térmico, são mais leves e de mais fácil aplicação, facilitando a execução das paredes de alvenaria e, para além disto, ainda são mais baratos.

O lote de unidades deverá ter a indicação da categoria a que estes pertencem.

Nos pontos seguintes faz-se uma breve referência às características dos tijolos cerâmicos e uma caracterização mais completa e descritiva dos blocos de betão de agregados leves, uma vez que foi com este o tipo de material usado neste trabalho.

O objectivo final das estruturas de alvenaria, desde os nossos primórdios até aos tempos de hoje, sempre foi conseguir agregar blocos de pedra ou tijolos, de modo a formar no seu todo, um conjunto resistente.

Como é sabido, actualmente as exigências na construção são mais elevadas a todos os níveis, e no caso específico das paredes de alvenaria, estas devem ser dimensionadas e confeccionadas de forma a satisfazer qualidades térmicas e acústicas, de estética e de versatilidade, bem como de solidez e durabilidade.

Contudo, devido a existir ainda alguma falta de conhecimento em relação aos novos materiais, bem como não haver uma tradição de estudar e investigar as alvenarias, surge um conjunto de patologias conseqüentes.

Espera-se assim, com este trabalho, contribuir para uma melhor interpretação do desempenho das paredes de alvenaria ao corte.

As propriedades das paredes de alvenaria são influenciadas pelos mais diversos factores, de onde se destacam:

- propriedades e tamanho das unidades de alvenaria usadas nos panos, e do tipo de argamassa;
- qualidade da mão-de-obra usada;
- disposição das juntas verticais e horizontais;
- grau de cura, idade e factores atmosféricos.

Quadro 1 – Requisitos para classificação de unidades de alvenaria segundo EC6

	Grupos de Unidades para Alvenaria			
	1	2a	2b	3
Volume de Furos (% do volume total) <sup>*1</sup>	≤25	>25-45 para unidades cerâmicas >25-50 para unidades de betão de inertes	>45-55 para unidades de argila >50-60 para unidades de betão de inertes <sup>*2</sup>	≤70
Volume de qualquer furo (% do volume total)	≤12,5	≤12,5 para unidades cerâmicas ≤25 para unidades de betão de inertes	≤12,5 para unidades cerâmicas ≤25 para unidades de betão de inertes	Limitado pela área (ver abaixo)
Área de qualquer furo	Limitada pelo volume (ver acima)	Limitada pelo volume (ver acima)	Limitada pelo volume (ver acima)	≤2800mm <sup>2</sup> excepto para unidades de um só furo, quando este seja ≤18000mm <sup>2</sup>
Largura equivalente (% da largura total) <sup>*3</sup>	≥ 37,5	≥ 30	≥ 20	Sem exigências
<p>Notas:</p> <p>*1. Os furos podem ser verticais através da unidade de alvenaria ou depressões ou rebaixos.</p> <p>*2. Se existir experiência nacional baseada em ensaios que confirme que a segurança da alvenaria não é reduzida para limites inaceitáveis quando esta tem uma proporção de furos, os limites de 55% para as unidades cerâmicas e de 60% para as unidades de betão de inertes podem ser aumentados para as unidades de alvenaria que são utilizadas no país com essa experiência nacional.</p> <p>*3. A largura equivalente é a espessura dos septos interiores e exteriores, medida horizontalmente através da unidade de alvenaria e perpendicularmente à face da parede de alvenaria resistente</p>				

### 3.3.2. TIJOLO CERÂMICO

Denomina-se por tijolo cerâmico blocos de alvenaria compostos por argila ou outros materiais argilosos, com ou sem areia, combustíveis ou outros aditivos, cozido a uma temperatura suficiente elevada a fim de se obter uma ligação cerâmica. É aliás durante a cozedura que se forma uma fase vítrea no seu interior, sendo tanto maior quanto maior for a temperatura de cozedura, que origina um reforço das suas propriedades mecânicas, visto que diminui a porosidade e define os poros.

Devem ter uma textura homogênea, cor uniforme e não devem ter fendas e ser isentos de quaisquer corpos estranhos. Devem ser duros sendo o seu toque sonoro.

A forma dos tijolos é obtida através da passagem da pasta cerâmica por orifícios cujas paredes definem as suas superfícies exteriores, denominado este processo por extrusão, e onde simultaneamente se perfura o seu interior com orifícios de formas e tamanhos variados. É um processo simples e facilmente automatizável, que permite obter as mais diversas e variadas formas.

O lote de unidades deverá ter a indicação da categoria a que estes pertencem.

Na categoria I, incluem-se os blocos de alvenaria com resistência à compressão declarada, com probabilidade de falha inferior ou igual a 5%, a qual pode ser determinada pela média ou pelo valor característico.

À categoria II, pertencem todos os blocos que não verifica o nível de confiança dos anteriores.

### 3.3.3. BLOCOS DE BETÃO

#### 3.3.3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

São obtidos a partir de betão de consistência seca por moldagem com compactação feita através de compressão e vibração.

Têm na generalidade uma forma paralelepédica e podem ser maciços ou furados na vertical.

Os blocos de betão podem ser de betões leves de massa volúmica inferior à dos betões normais, conseguida através da utilização de inertes leves, que substituem a brita fina dos betões normais.

São caracterizados em relação aos betões correntes por terem uma melhor resistência ao fogo e isolamento térmico, apesar de terem menor resistência mecânica.

Os inertes leves conferem aos betões determinadas características como trabalhabilidade, resistência, retração, fluência, etc.

O betão leve com argila expandida, assim como os materiais cerâmicos, são endurecidos pelo calor.

Se necessário, caso a argila não seja suficientemente expansiva, pode-se adicionar carvão, ou combustíveis químicos em pequena percentagem, para ajudar à reacção.

Já os blocos de betão de inertes correntes, têm origem na hidratação do cimento Portland, ou seja, na reacção química dos componentes do cimento com a água, que após mistura vai endurecer, e da mistura com areia e brita fina.

Por último, falemos dos blocos de betão celular autoclavado, que já começa a ter alguma expressão no nosso país, caracterizado por ter um endurecimento hidráulico num ambiente controlado de pressão de vapor de água e temperatura, e por não apresentar perfurações.

#### 3.3.3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS USADOS NO TRABALHO

O bloco usado neste trabalho é o Bloco Conforto<sup>®</sup> de inertes leves, e é fabricado na fábrica da MAXIT em Albergaria-a-Velha, a partir de betão com agregados leves e normais.

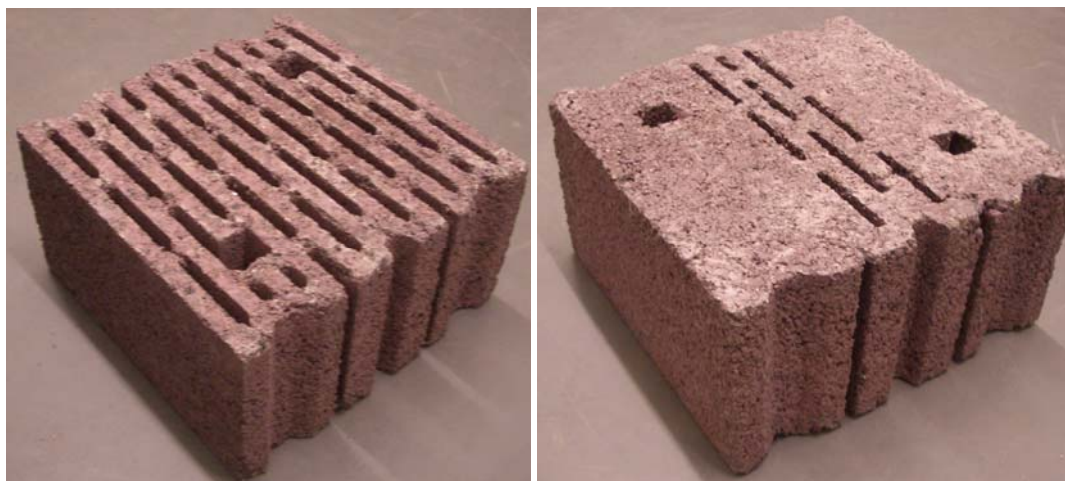


Figura 3 – Aspecto dos blocos de betão

Os blocos de betão pertencem à Leca<sup>®</sup> e são constituídos por agregados leves de argila expandida. Após serem moldados em prensa fixa, são encaminhados para câmaras de cura e são caracterizados por serem uma óptima solução para pontes térmicas.

Quando prontos vão ser organizados em paletes e armazenados em parque durante um mínimo de 6 semanas.

Os blocos foram fornecidos pela MAXIT e são todos do mesmo lote, de forma que as suas características fossem o mais uniforme possível.

Este tipo de bloco é indicado sobretudo para moradias e edifícios até 3 pisos em alvenaria estrutural e pode ser uma alternativa a parede dupla com isolamento leve ou parede simples com sistema ETICS, uma vez que tem um excelente desempenho térmico em qualquer zona climática, cumprindo na íntegra o RCCTE [17].

Tem ainda uma resistência à compressão normalizada superior a 3,0 MPa e devido à sua largura, uma maior resistência a acções sísmicas ou vento, que outro tipo de soluções.

Por último, apenas referir que para além das vantagens acima referidas, permite um melhor tratamento das pontes térmicas e, pelo facto de ter um assentamento relativamente simples, não exige mão-de-obra especializada, traduzindo-se também numa redução dos custos de produção e do tempo de execução [11].

A percentagem de furação do bloco está intimamente ligada com a resistência à compressão, uma vez que quanto menor a percentagem de furação, maior será a resistência à compressão.

A resistência térmica do bloco também vai ser influenciada pela furação, mas neste caso concreto pela forma como a furação está distribuída.

Assim, no sentido transversal os blocos devem apresentar o maior número de fiadas de furos possível, de forma a que os septos fiquem desencontrados nas fiadas contíguas de furos.

Contudo, esta percentagem de furação é em geral limitada, sendo exemplo em Portugal, seja qual for o material, a percentagem de furação é limitada a 50% [18].



# 4

## CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS CONSTITUINTES DA ALVENARIA

### 4.1. RESISTÊNCIA DA ARGAMASSA

#### 4.1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A argamassa usada neste trabalho era argamassa pré-doseada MAXIT AM5 light, à qual basta adicionar uma determinada quantidade de água na altura da amassadura, para estar pronta a ser usada. É uma argamassa leve e seca, à base de cimento Portland e areias calibradas e, para além de serem usadas para assentamento de alvenarias, podem ser usadas como reboco.



Figura 4 – Embalagem de argamassa MAXIT AM5 light

Julga-se que a utilização deste tipo de argamassas vai aumentar durante os próximos anos, substituindo gradualmente a utilização de argamassas feitas em obra.

As argamassas pré-doseadas ou prontas, para além de serem muito mais rápidas e fáceis de preparar, permitem um leque de composições mais variadas em relação às argamassas ditas tradicionais.

Apesar de alguns trabalhos apontarem para que haja uma relação estreita entre as características mecânicas das argamassas e a resistência efectiva das juntas de argamassa e que a resistência à compressão da argamassa tem muito pouca influência no comportamento final das alvenarias, estes estudos das características das argamassas continuam a ser feitos, tendo em vista uma caracterização dos materiais elementares das alvenarias.

Este assunto é abordado de uma forma clara em alguns trabalhos [24], no qual se toma o exemplo do emprego de uma argamassa com resistência dupla da outra, que conduziu ao aumento da resistência da alvenaria em apenas 10%.

As classes de resistência média à compressão das argamassas são definidas pelo valor médio da tensão de rotura á compressão da argamassa aos 28 dias (fm).

#### 4.1.2. DESCRIÇÃO E RESULTADO DOS ENSAIOS

Os ensaios que caracterizam as argamassas são de compressão e flexão e cumprem a norma EN 1015-11 [7]. São frequentemente feitos com base em provetes de argamassas de assentamento utilizadas na execução das alvenarias, e são moldados ao mesmo tempo que estas são executadas.

São usados três prismas de dimensões 160mm×40mm×40mm de argamassa serem sujeitos à rotura à flexão, originando cada um dois meios-prismas que vão ser posteriormente sujeitos à compressão, perfazendo um total de seis.



Figura 5 – Ensaio das argamassas à flexão (esq.) e compressão (dir.)

Ao preparar os provetes de argamassa deve-se limpar e lubrificar as faces internas dos moldes, para evitar que a argamassa fique agarrada a estes.

Após estarem secas as faces dos prismas devem ser limpas e deve-se colocar os provetes com a face que teve em contacto com o molde, em cima do cilindro de suporte da máquina.

Os provetes devem ser ensaiados aos 28 dias através da aplicação de uma carga uniforme de forma a que a rotura ocorra num período entre 30 e 90s, registando-se a carga máxima aplicada (N).

Depois as metades do provete obtido vão ser sujeitas à compressão.

Foi fornecido pelo fabricante um conjunto de resultados das resistências à flexão e à compressão da argamassa MAXIT AM5 light, referente ao ano de 2007.

Assim, foi obtida uma média da resistência à flexão de 3,55MPa e de resistência à compressão de 10,15MPa.

## **4.2. RESISTÊNCIA DAS UNIDADES DE ALVENARIA À COMPRESSÃO**

### **4.2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS**

As construções em elementos para alvenaria em betão leve começam a ser frequentes a partir de finais do século XX, sendo caracterizadas por uma diminuição do peso da estrutura e consequente redução do custo das fundações, por um isolamento térmico mais eficaz, assim como por uma melhoria do comportamento acústico, quando comparadas com betões de peso normal.

Quando aplicados em paredes exteriores dos edifícios, mais concretamente na sua envolvente, os elementos de alvenaria devem permitir uma boa resistência à compressão e à térmica, sendo provavelmente os constituintes que mais condicionam o comportamento mecânico das alvenarias.

É comum pensar-se que para uma mesma composição do elemento, a resistência à compressão da alvenaria é maior quanto menor for a percentagem de furação.

Aliás, é por este motivo que sempre que oportuno as diferentes normas abordam o assunto, limitando inclusivamente a percentagem de furação, sendo os limites inferiores caso alvenaria tenha funções estruturais.

Em Portugal os elementos de betão leve podem ter uma percentagem de furação superiores a 50% [9], devido às nossas condições climáticas serem mais amenas, ao contrário do que sucede no Norte da Europa, onde as agressivas condições climáticas exigem que estes mesmos elementos sejam maciços.

A utilização de uma alvenaria de pano simples constituída com este tipo de blocos é vantajosa quando comparada com uma alvenaria de pano duplo, na medida em que a parede simples, por ter menos componentes, tem uma menor probabilidade de má aplicação e consequentes patologias, exigindo também menos conhecimentos de construção que uma parede de alvenaria dupla, traduzindo-se num menor gasto com a mão-de-obra.

Outro benefício deste tipo de solução é o tempo que se poupa com a utilização de soluções mais simples e menos complexas.

Este ensaio tem como objectivo caracterizar os blocos de alvenaria usados nas paredes de alvenaria.

### **4.2.2. DESCRIÇÃO E RESULTADOS DOS ENSAIOS**

As técnicas de ensaio para determinação da resistência à compressão das unidades de alvenaria mudam consoante a norma utilizada.

Os ensaios de caracterização mecânica e geométrica dos blocos de betão de inertes leves de furação vertical usados neste trabalho tiveram por base a norma NP EN 772-1 [14], e realizam-se para caracterizar os constituintes das paredes de alvenaria.

Os blocos usados neste estudo são constituídos por furos dispostos em várias fiadas, e limitados por septos longitudinais exteriores e interiores.

Fez-se uma caracterização das unidades de alvenaria usadas neste trabalho, avaliando as suas características dimensionais, nomeadamente dimensões exteriores e espessura dos septos.

Em relação às características mecânicas, estudou-se a resistência à compressão.

Os blocos de furação vertical constituídos por betão de agregados leves (argila expandida), após preparação das superfícies, foram colocados à parte no laboratório e foram secos ao ar.

Passados 28 dias foram medidas as dimensões dos blocos regularizados e determinou-se a área bruta de aplicação de carga de cada provete.

Posteriormente cada provete foi colocado no centro da placa de uma máquina de compressão, onde é aplicada uma carga crescente uniformemente distribuída com intensidade crescente até à rotura.

As faces do provete sobre as quais vai ser aplicada a carga devem ser planas.

Caso tal não se suceda, deve preparar-se as faces por desgaste ou por regularização com argamassa.

Assim, desgastam-se as superfícies do provete até que os requisitos de planeza e paralelismo sejam satisfeitos.

Se for previsível que desgaste altere de forma significativa a área de contacto das faces de ensaio deve-se fazer regularização com argamassa.

Nos blocos de alvenaria que se destinam a ser assentes com junta descontínua a argamassa de regularização deve ser aplicada em todas as superfícies em que esteja prevista a sua aplicação em obra.

Os seis blocos com regularização da junta horizontal, são compostos por duas juntas horizontais de 120mm cada uma, interrompidas por um espaço, como se pode constatar na figura 4.

Foram construídos e conservados ao ar em laboratório em ambiente não controlado até à data de ensaio em sala não condicionada, com uma temperatura de 19 a 21° e humidade relativa de 60 a 65%.

O carregamento foi efectuado paralelamente às faces verticais do bloco aos 35 dias.



Figura 6 – Pormenor de execução das juntas horizontais

Quadro 2 – Resultados dos provetes de ensaio carregados perpendicularmente às juntas de assentamento horizontais

Provete nº	Dimensões [mm]			Área Carregada [mm <sup>2</sup> ]	Carga de Rotura [N]	Tensão de Rotura [N/ mm <sup>2</sup> ]
	l <sub>u</sub> (comprimento)	w <sub>u</sub> (largura)	h <sub>u</sub> (altura)			
1	352,1	348,1	190,4	122549	247100	2,0
2	350,8	349,1	189,1	122486	194000	1,6
3	352,4	350,3	192,8	123479	241600	2,0
4	353,8	350,3	187,6	123933	285100	2,3
5	352,7	349,0	190,8	123106	255800	2,1
6	353,5	348,3	186,9	123133	220000	1,8
7	351,1	349,8	191,5	122815	237500	1,9
8	351,3	350,4	190,1	123096	263400	2,1
Resistência Média à Compressão			2 N/ mm <sup>2</sup>	Factor de forma ( $\delta$ )		1,10
Resistência à Compressão Normalizada ( $f_b$ )			2,2 N/ mm <sup>2</sup>	Coef.Variação (C.V.)		11,1 %

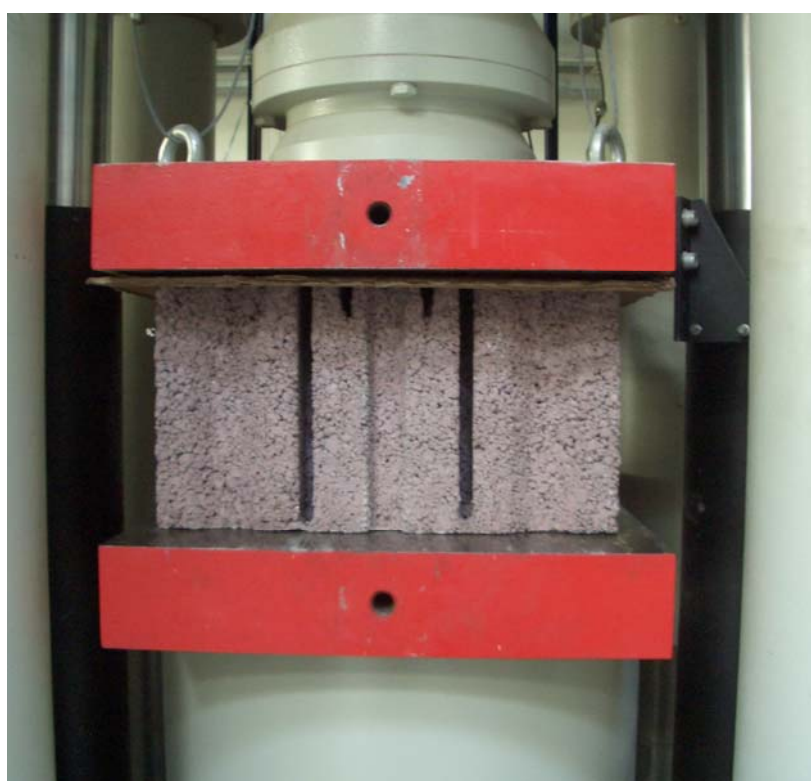


Figura 7 – Ensaio de compressão do provete

As restantes oito unidades de alvenaria são testadas com superfície de aplicação da carga regularizada com meios mecânicos e reentrâncias preenchidas com argamassa, paralelamente às faces horizontais do bloco.

Foram conservadas ao ar em laboratório em ambiente não controlado até à data de ensaio em sala não condicionada, a uma temperatura entre 19 e 21° e humidade relativa de 60 a 65%.

Quadro 3 – Resultados dos provetes de ensaio carregados paralelamente às juntas de assentamento horizontais

Provete nº	Dimensões [mm]			Área Carregada [mm <sup>2</sup> ]	Carga de Rotura [N]	Tensão de Rotura [N/ mm <sup>2</sup> ]
	l <sub>u</sub> (comprimento)	w <sub>u</sub> (largura)	h <sub>u</sub> (altura)			
1	353,0	349,2	188,4	65775	168900	2,6
2	351,6	350,0	189,0	66159	190800	2,9
3	353,3	349,3	189,7	66269	164800	2,5
4	353,0	349,2	189,0	65988	130200	2,0
5	353,7	349,1	189,5	66163	132000	2,0
6	354,2	348,2	187,2	65190	149700	2,3
7	351,9	350,2	190,6	66745	146700	2,2
8	352,6	350,3	188,8	66151	180200	2,7
Resistência Média à Compressão			2,4 N/ mm <sup>2</sup>	Factor de forma (δ)		1,27
Resistência à Compressão Normalizada (f <sub>b</sub> )			3,0 N/ mm <sup>2</sup>	Coef.Variação (C.V.)		13,9 %

Um dos parâmetros que se considerou para o cálculo da tensão de rotura dos blocos foi o factor de forma, que não é mais do que a relação entre altura/espessura da unidade após regularização das faces, e é usado para permitir uma uniformização das resistências à compressão de elementos com diferentes relações altura/espessura.

Quando factores correctivos são superiores à unidade, podemos considerar unidades de alvenaria como sendo esbeltas, como aliás é o caso dos valores obtidos neste trabalho.

O cálculo da resistência normalizada à compressão (f<sub>b</sub>) segundo o EC6 [8] é feito a partir de:

$$f_b = mc \cdot (\text{valor declarado de resistência à compressão pelo fabricante}) \cdot \delta \quad [1]$$

onde δ é o factor de forma e mc=1, que é o valor considerado em EN771 quando o ensaio é realizado em condições de seco ao ar.

O valor declarado de resistência à compressão pelo fabricante é o resultado obtido directamente nos ensaios definindo-se em que condições se realizaram os mesmos, ou seja, em condições de seco ao ar ou condições saturadas.

As dimensões exteriores e dos septos do bloco foram obtidas, após a medição segundo a norma NP EN772-16:2002, de uma série de 6 provetes, pela qual se obteve os valores médios de comprimento, largura e altura, como se pode constatar no Quadro 4.

Após preparação das faces, são medidos o comprimento, a largura e a altura dos provetes, bem como a espessura dos septos exteriores e interiores, com auxílio de um dispositivo adequado.

As dimensões exteriores efectivas estão sujeitas a tolerâncias máximas estabelecidas na normalização.

Quadro 4 – Dimensão média dos Blocos Conforto

Ref.	Modo de Medição	Dimensões [mm]					
		Profundidade de Vazios	Espessura dos Septos Exteriores	Espessura dos Septos Interiores	$l_u$ (comprimento)	$w_u$ (largura)	$h_u$ (altura)
1	c)	178,7	18,4	18,5	353,9	350,3	186,3
2	c)	180,8	18,2	18,4	352,4	350,9	188,9
3	c)	178,3	18,0	18,5	354,1	348,2	186,7
4	c)	183,4	20,0	17,7	352,1	348,1	190,4
5	c)	179,7	18,3	18,1	350,8	349,1	189,1
6	c)	186,2	17,7	18,4	352,4	350,4	192,8

Nota: c) medição das dimensões do provete na extremidade de cada aresta correspondente

Profundidade Média dos Vazios	Espessura Média dos Septos		Dimensões Nominais Exteriores Médias dos Blocos		
	Septos Exteriores	Septos Interiores	$L_u$ (compr.)	$W_u$ (largura)	$H_u$ (altura)
181,2 mm	18,4 mm	18,3 mm	352,6 mm	350,2 mm	189,0 mm

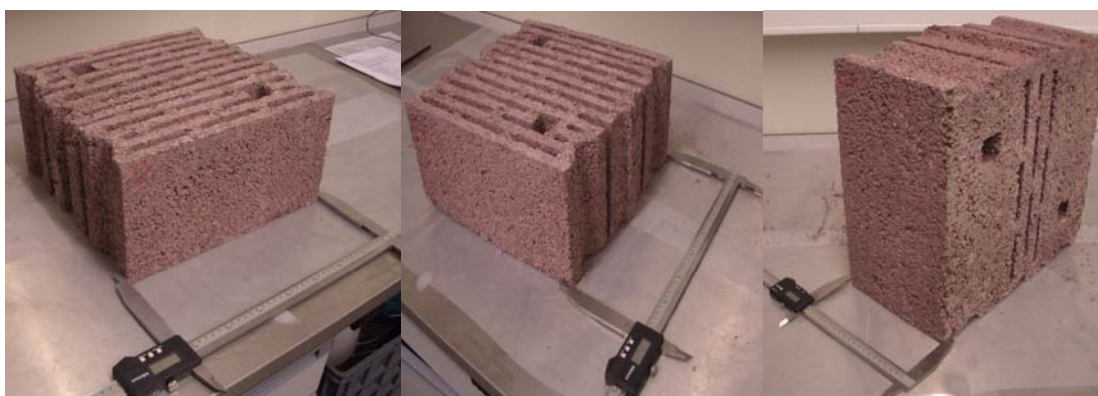


Figura 8 – Aspecto do elemento de alvenaria e seu comprimento ( $l_u$ ), largura ( $w_u$ ) e altura ( $h_u$ ), respectivamente

A determinação da percentagem de furação pode ser efectuada através de várias formas, como por exemplo preenchimento dos furos do bloco com areia, registando-se o volume de areia colocado nos

vazios até preenche-los completamente, por intermédio de uma proveta graduada em ml, como se pode observar na figura seguinte.



Figura 9 – Determinação da percentagem de furação de um bloco

A percentagem de furação para além de condicionar alguns aspectos no desempenho das paredes de alvenaria serve também para classificar os elementos de alvenaria.

O valor médio da percentagem de furação obtido neste ensaio foi de cerca de 26%, logo classificam-se como pertencentes à classe 2a do EC6.

Em relação ao número blocos estudados em cada série, diz a norma que caso o coeficiente de variação seja inferior a 15%, o mínimo de provetes a estudar deve ser 6.

Ora, como na primeira série estudada o coeficiente de variação foi de 11,1%, consideraram-se 6 provetes, de onde se obteve uma resistência à compressão normalizada média de 2,2MPa, após considerarmos  $\delta=1,1$ .

Segundo o EC6 o valor mínimo para resistência à compressão normalizada é de 2,0MPa, de onde se conclui que o valor obtido apesar de ser baixo, cumpre o estipulado.

Já na série de superfície de assentamento rectificadas, estudaram-se oito unidades.

Obteve-se uma resistência à compressão normalizada significativamente superior à da série anterior, o que significa que para além de respeitar os limites estipulados, permite uma maior resistência do bloco quando carregado segundo uma orientação paralela ao plano das juntas horizontais e perpendicular ao plano das juntas verticais.

É ainda de salientar que a resistência à compressão dos blocos de ambas as séries teve uma dispersão relativamente baixa, caracterizada por um coeficiente de variação dentro de valores considerados aceitáveis, o que leva a crer que terá sido devido ao facto dos blocos utilizados serem todos do mesmo lote.

# 5

## ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAGONAL DE PROVETES DE ALVENARIA

### 5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Com o objectivo de dar um contributo para a melhoria do comportamento mecânico das paredes de alvenaria envolventes de um edifício, recorreu-se a um estudo experimental envolvendo séries de oito provetes de blocos de betão, quatro com juntas verticais preenchidas com argamassa, e a outra metade sem juntas verticais preenchidas, ensaiados até à rotura, sendo a carga máxima registada.

A resistência ao corte das alvenarias é influenciada pela aderência entre elementos e argamassa, através da rugosidade dos elementos ou da capacidade de retenção de água das argamassas ou ainda pela qualidade de execução das alvenarias.

Há autores [18] que defendem que a alvenaria de tijolo furado apresenta uma maior resistência ao corte quando comparada com uma alvenaria de blocos de betão.

Isto deve-se à diferente geometria das faces de assentamento dos tijolos e dos blocos de betão, que oferecem diferentes secções de resistência ao corte, mais reduzidas nos blocos em virtude da presença de furos na sua face inferior.

Em toda a verificação experimental, os parâmetros ligados à execução caracterizam-se por ser objecto de grande cuidado e controlo, procurando-se que sejam representativas de soluções correntemente utilizadas, ou correspondendo a evoluções esperadas no sector.

Devido ao seu tamanho e ao seu elevado peso, os provetes são de difícil manuseamento e podem provocar acidentes, pelo que se deve ter muito cuidado para evitar possíveis imprevistos, para além de terem custos consideráveis.

Em relação aos materiais elementares constituintes dos provetes de alvenaria, nomeadamente blocos de alvenaria e argamassa, são objecto de caracterização segundo normalização.

A grande vantagem deste tipo de ensaio é que a técnica de construção dos provetes e os seus materiais são idênticos aos utilizados em obra, criando-se assim uma simulação real.

### 5.2. GEOMETRIA E EXECUÇÃO DOS PROVETES

Na execução dos provetes de alvenaria, foi usado um bloco de inertes leves produzidos na fábrica da MAXIT em Albergaria-a-Velha, objecto de estudo individual também neste trabalho.

Estes blocos foram fornecidos pela MAXIT e foram armazenados no laboratório, em paletes cobertas com folha de plástico.



Figura 10 – Palete de blocos no laboratório

Em relação ao seu aspecto, os blocos não podem apresentar vértices partidos nem fissuras, para além de que devem ter faces rectilíneas, de forma a alvenaria ter um bom desempenho estrutural.

A espessura das juntas horizontais e verticais com argamassa pré-doseada, não deve ser inferior a 0,5mm nem superior a 3mm.

Devido à geometria dos topos do bloco o preenchimento da junta vertical faz-se pela introdução de argamassa pela parte superior das cavidades entre dois blocos dispostos na fiada. Um facto interessante de notar, é que estes furos nas faces superiores de assentamento não atravessam a totalidade da altura do bloco, ao contrário do que se passa com outros materiais que tão bem conhecemos, como o tijolo de barro vermelho por exemplo.

Também foram realizados provetes com juntas verticais secas, encostando-se simplesmente os topos das unidades de alvenaria.

É uma técnica construtiva utilizada por alguns construtores que defendem que as juntas secas são benéficas, na medida em que reduz os custos da mão-de-obra e ajuda à estanquidade de água nas paredes.

As juntas horizontais são descontínuas, compostas por duas fiadas de argamassa AM51igth de 120mm de espessura cada uma, interrompidas por um intervalo.

Ao fazer-se o assentamento das várias fiadas de tijolos, cumpriu-se um método de construção de forma a que as juntas verticais entre fiadas ficassem afastadas entre cerca de 1/3 do comprimento do bloco.

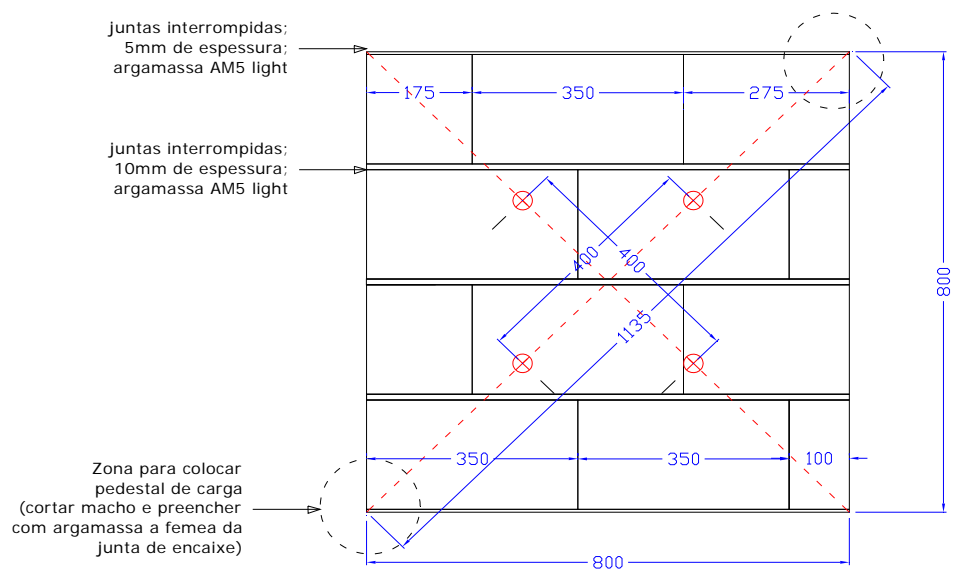


Figura 11 – Esquema do provete tipo sujeito ao ensaio de compressão diagonal

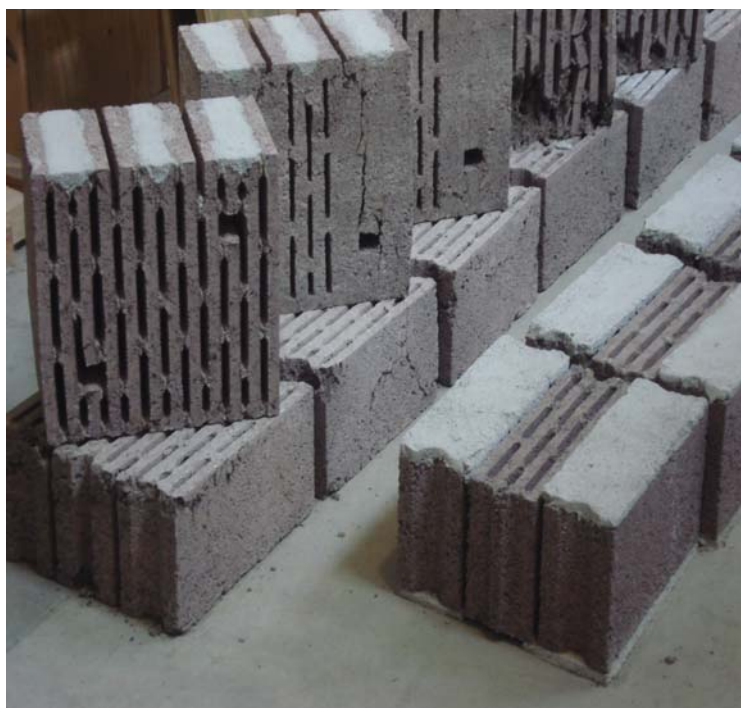


Figura 12 – Pormenor das juntas verticais e horizontais

Uma vez que o correcto preenchimento das juntas, a aderência da argamassa aos blocos, a correcta execução da parede e as condições de cura influenciam a resistência final das alvenarias, procurou-se

que os provetes fossem construídos pelo mesmo operário e todos na mesma altura, evitando dessa forma uma variação das suas características.

Esta construção foi realizada no Laboratório de Sistemas e Componentes da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade do Porto.

A construção dos provetes fez-se em cima de uma tábua nivelada onde se colocaram os blocos não humedecidos em fiadas sucessivas.

A verificação da sua verticalidade foi feita através de nível e a regularização da face inferior e superior do provete foram conseguidas após a aplicação de um leito de argamassa pré-doseada.

Esta argamassa foi obtida após adição de água, sendo o resultado final uma pasta homogénea.

As juntas verticais quando preenchidas são realizadas com a introdução de argamassa nas reentrâncias dos blocos.

Após estarem prontos, deixa-se ficar os provetes em laboratório a secar durante 28 dias, a uma temperatura de cerca de  $24\pm 8^{\circ}\text{C}$  e com uma humidade relativa entre 25 e 75%.

Antes de se ter realizado o ensaio propriamente dito, procedeu-se à medição dos provetes, nomeadamente o seu comprimento, a sua altura e a sua espessura, e verificou-se que as dimensões de cada tipo apresentaram-se com ligeiras diferenças entre si. Tal deve-se ao facto da haver ligeiras irregularidades dimensionais dos elementos de alvenaria que as integram.

Como estabelecido na normalização, procurou-se usar provetes que não fossem muito grandes, mas que ao mesmo tempo se assemelhassem a uma parede de alvenaria de um edifício e que fosse possível serem usados nas máquinas de teste do laboratório.

### **5.3. DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DIAGONAL E PARÂMETROS MEDIDOS**

Este ensaio consiste numa compressão diagonal de um provete de alvenaria, através de uma carga exercida pelos pratos de uma prensa, até que ocorra rotura do provete.

Esta força foi transmitida aos cantos do provete, e paralelamente às faces, estavam colocados quatro transdutores, dois em cada face, de forma a serem registadas as deformações que ocorriam no provete nas direcções horizontal e vertical.

A deformação em cada uma das direcções foi calculada através da média de duas determinações da deformação, uma em cada face do provete.

Foram utilizados dois transdutores para medir deformações horizontais e outros dois para deformações verticais em cada provete, com excepção dos provetes 4B e 5B, onde apenas se usou um por face, o que produziu interferência nos cálculos, como se verá mais à frente.

Quadro 5 – Descrição dos provetes usados no ensaio

Designação dos provetes de alvenaria	Caracterização
1A	Com junta vertical preenchida com argamassa
2A	Com junta vertical preenchida com argamassa
11A	Com junta vertical preenchida com argamassa
12A	Com junta vertical preenchida com argamassa
3B	Sem junta vertical preenchida
4B	Sem junta vertical preenchida
5B	Sem junta vertical preenchida
6B	Sem junta vertical preenchida

O transporte dos provetes para a máquina de ensaio foi feita de forma muito cuidadosa, através de um grua móvel, visto o seu peso ser muito elevado, cumprindo todos os requisitos de segurança, e de maneira a que os provetes não fossem danificados, sobretudo os seus cantos, uma vez que é sobre estes que a força de compressão é aplicada podendo, caso isso acontecesse, dificultar o desenrolar da experiência e sobretudo afectar os resultados finais.

Estes eram depois colocados de maneira a que ficassem centrados sobre o apoio metálico inferior, seguindo-se um reajustamento da posição do apoio, para que a diagonal do provete ficasse no alinhamento do eixo da superfície superior da máquina de ensaio.

Nos cantos dos provetes correspondentes à diagonal onde a força era aplicada, foram aplicadas peças metálicas com características geométricas adequadas, para evitar rotura prematura do provete, permitindo dessa forma a rotura elástica clássica ao longo da diagonal carregada.

A velocidade de aplicação da carga foi aproximadamente igual de provete para provete e foi feita de forma contínua até à rotura.

Quando se atingia cerca de metade da carga máxima ajustou-se a máquina de forma a que esta parasse apenas quando ocorresse a rotura.

Este procedimento não deu problemas até serem experimentados os provetes do tipo B, onde após rotura, o primeiro provete deste tipo a ser ensaiado, se dividiu em duas partes pela diagonal.



Figura 13 – Ensaio do provete à compressão diagonal

Todos os provetes eram de face aparente, não rebocada. Apenas diferiam no preenchimento ou não das juntas verticais.

Diz a norma ASTM E519 [2] que devem ser ensaiados pelo menos três provetes de um determinado tipo.

Assim, para cada série de ensaios, foram usados quatro provetes, como é descrito no quadro 3.

Para cada provete fez-se a sua numeração e identificação, dimensões, data, hora de início e fim do ensaio, registo de velocidade do carregamento, carga máxima de rotura, definição e configuração da rotura, registo das leituras das deformações tomadas para cada nível de carga correspondentes à carga aplicada por incrementos e registo fotográfico do provete após ensaio.

A tensão de corte é calculada segundo a norma americana ASTM E519 [2] através da fórmula:

$$S_s = 0,707 \cdot P / A_n \text{ (MPa)} \quad [2]$$

onde: P – carga máxima aplicada (N)

$A_n = ([w+h]/2) \cdot t \cdot n$  , sendo w, h – comprimento (lu) e altura do provete

t – espessura do provete

n – % da área efectiva da unidade

Posteriormente comparamos o valor obtido da tensão ao corte médio de cada série de provetes, com o valor da resistência ao corte sob compressão nula ( $f_{vko}$ ) existente no Euro código 6 [8].

A extensão do provete é dada por :

$$\gamma = (\Delta V + \Delta H) / g \text{ (mm/mm)} \quad [3]$$

onde:  $\Delta V$  – extensão na direcção vertical

$\Delta H$  – extensão na direcção horizontal

g – comprimento de extensão

O módulo de rigidez elástico calculado para 1/3 da carga máxima representa-se por:

$$G = S_s / \gamma \text{ (MPa)} \quad [4]$$

#### **5.4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DIAGONAL**

Nos quadros 6 e 7 apresentam-se os resultados das tensões ao corte por compressão diagonal e do módulo de rigidez elástico para cada um dos provetes das duas séries, e seus valores médios, desvios-padrão e coeficiente de variação.

São ainda fornecidos dimensões de cada provete e sua área, carga máxima aplicada, deformações verticais e horizontais e comprimento de extensão.

Quadro 6 – Resultados dos provetes da série A

Provete nº	Peso [kg/m <sup>2</sup> ]	Dim.[mm]				Carga máx. aplicada [N] P	Área provete [mm <sup>2</sup> ] An	Tensão máx. corte [MPa] Ss	Tensão corte [MPa] Ss	Desloc. vert. [mm] ΔV	Desloc. horiz. [mm] ΔH	Comprim. extensão [mm] g	Extensão [mm/mm] γ	Módulo rigidez elástico [Mpa] G
		lu comprim.	hu alt.	t espe ssu ra	n % de Area efectiva da unidade									
1A	207	814	800	350	74	127117,3	209013	0,43	0,14	0,005	0,01	398,55	0,00004	3793,41
2A	204	816	800	350	74	148286,87	209272	0,50	0,17	0,03	0,015	398,21	0,00011	1468,16
11A	207	814	803	350	74	168746,61	209402	0,57	0,19	0,035	0,02	401,77	0,00014	1386,13
12A	205,2	810	803	350	74	166176,72	208884	0,56	0,19	0,04	0,015	394,78	0,00014	1332,38
Média									0,17					1395,56
D.P.									0,02					68,38
C.V.(%)									12,58					4,90

Quadro 7 – Resultados dos provetes da série B

Provete nº	Peso [kg/m <sup>2</sup> ]	Dim.[mm]				Carga máx. aplicada [N] P	Área provete [mm <sup>2</sup> ] An	Tensão máx. corte [MPa] Ss	Tensão corte [MPa] Ss	Desloc. vert. [mm] ΔV	Desloc. horiz. [mm] ΔH	Comprim. extensão [mm] g	Extensão [mm/mm] γ	Módulo rigidez elástico [Mpa] G
		lu comprim.	hu alt.	t esp e ssu ra	n % de Area efectiva da unidade									
3B	196,2	812	802	350	74	91945,54	209013	0,31	0,104	0,025	0,01	410,33	0,00009	1213,49
4B	201	810	795	350	74	99132,00	207848	0,34	0,105	0,01	0,01	401,71	0,00005	2104,61
5B	197	812	798	350	74	99095,45	208495	0,34	0,101	0,03	0	399,26	0,00008	1347,26
6B	203	814	795	350	74	91042,99	208366	0,31	0,102	0,15	0,05	417,77	0,00048	212,63
Média									0,103					1555,12
D.P.									0,002					480,55
C.V.(%)									1,579					30,901

Nas figuras 14 e 15 apresentam-se os diagramas carga aplicada (N) – deslocamentos horizontais e verticais (mm) e na figura 16 faz-se a descrição do desenvolvimento da tensão ao corte (MPa) em função da extensão (mm/mm) dos oito provetes medidos.

Representa-se também no fim desta sequência de gráficos fotografias elucidativas da rotura de dois provetes, um de cada série.

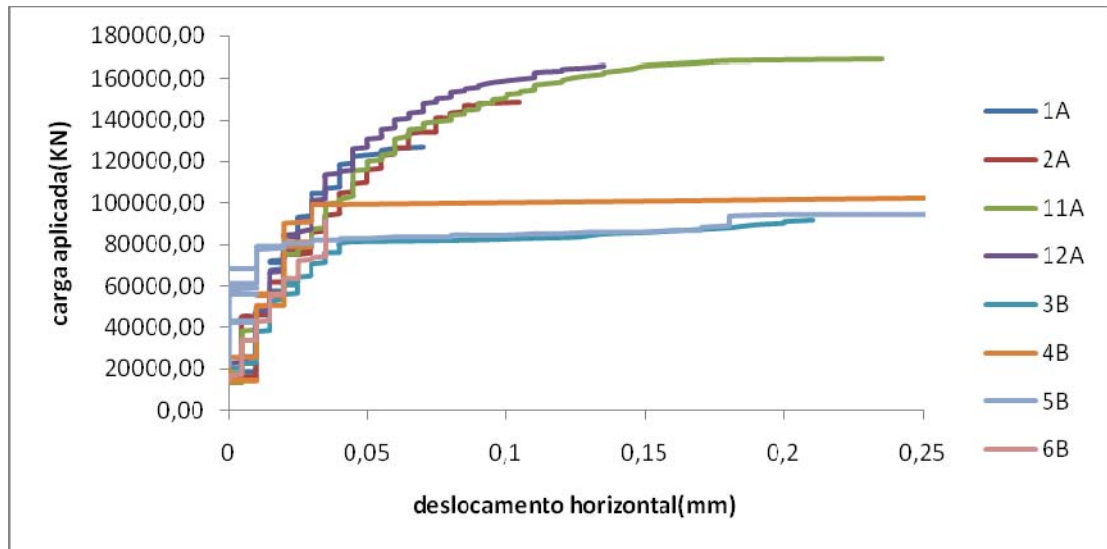


Figura 14 – Diagrama carga aplicada – deslocamento horizontal em compressão diagonal dos provetes

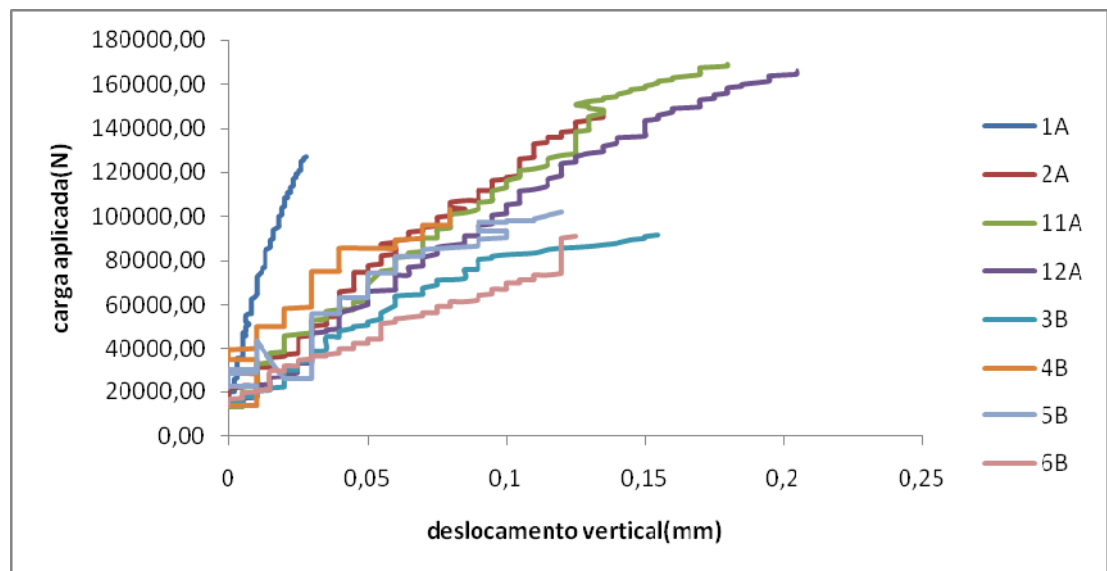


Figura 15 – Diagrama carga aplicada – deslocamento vertical em compressão diagonal dos provetes

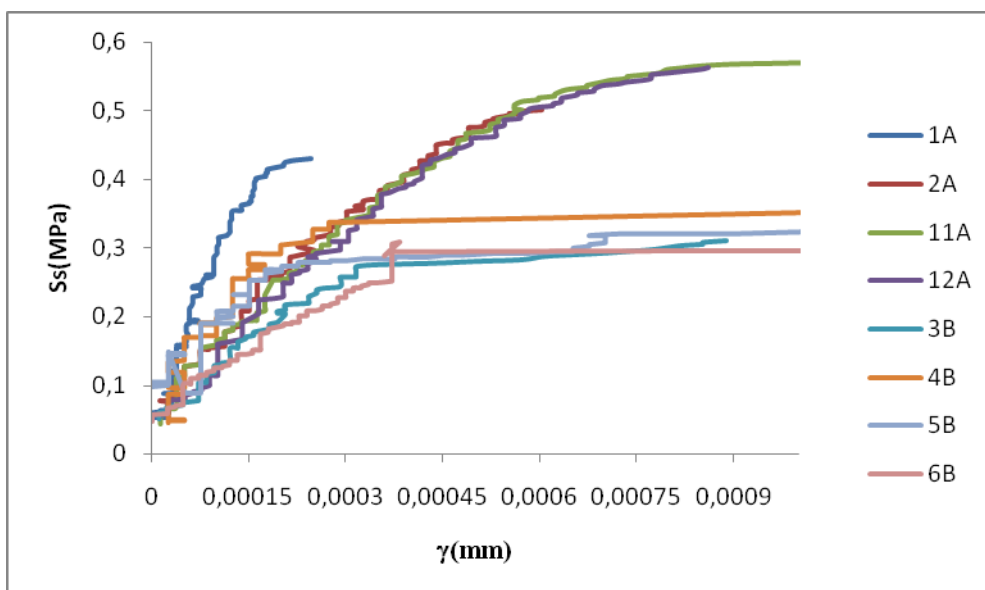


Figura 16 – Diagrama tensão ao corte – extensão dos vários provetes



Figura 17 – Aspecto dos provetes da série A após rotura



Figura 18 – Aspecto dos provetes da série B após rotura

### **5.5. ANÁLISE E JUSTIFICAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DIAGONAL**

Analisando os Quadros 6 e 7 verificamos:

-carga máxima de rotura é superior em cerca de 60% nos provetes com juntas verticais preenchidas (série A) quando comparada com os da série B, ou seja, provetes com juntas verticais secas.

Julga-se que tal se deva a uma muito maior coesão entre blocos da parede de alvenaria pela introdução de argamassa nas juntas verticais, que origina uma melhor redistribuição de esforços, formando-se um conjunto mais compacto e resistente;

-os valores a amarelo no Quadro 6 correspondente ao provete 1A e no Quadro 7 ao provete 6B são muito exagerados quando comparados com os seus valores homólogos em cada série, pelo que não foram contabilizados na média.

Considerou-se admissível e correcto, em quatro medições de cada série, poder eliminar um valor dos quatro totais;

-coeficiente de variação da tensão ao corte da série A, a cor de laranja no Quadro 6, ligeiramente elevado devido à disparidade no valor de tensão ao corte obtido no provete 1A;

-o facto do coeficiente de variação do módulo de rigidez médio elástico da série B ser elevado (a vermelho), julga-se ter a ver com o facto de este parâmetro ser muito influenciado pelos deslocamentos.

Como após o ensaio do provete 3B este se dividiu literalmente a meio através da sua diagonal, ao cair danificou dois transdutores, um em cada face, pelo que tivemos de fazer as duas medições seguintes, nomeadamente provetes 4B e 5B, apenas com dois transdutores, um em cada face.

Ora, este imprevisto veio trazer alguma disparidade nas medições, traduzindo-se então por esta dispersão de valores tão acentuada em relação à média.

Nos provetes com juntas verticais preenchidas a fendilhação ocorre segundo a diagonal do provete envolvendo superiormente um dos blocos de canto em três dos quatros provetes e as fendas localizam-se predominantemente na argamassa da fiada central;

Já nos provetes com juntas verticais secas, verificamos que estas fendas da fiada central atravessaram também o bloco superior, tendo inclusive levado o provete 3B ao colapso total (figura 19).



Figura 19 – Fendilhação do provete 3B

Analisando os diagramas tensão ao corte - extensão da fig.16 verifica-se:

- as curvas dos provetes de ambas as séries, apenas se aproximam para os níveis de tensões iniciais;
- a fase de transição da deformação elástica para a fase de deformação plástica ou irreversível dos provetes do tipo A, dá-se sensivelmente na mesma zona do gráfico onde ocorre a rotura dos provetes de tipo B;
- em relação à tensão ao corte média de cada série de provetes, verificamos que a não argamassagem das juntas verticais não é vantajoso, traduzindo-se por um valor médio de aproximadamente 60% do correspondente à série A, facto que põe em evidência a extrema importância do preenchimento das juntas verticais para acções horizontais actuando no seu plano.
- para uma mesma tensão ao corte antes da rotura, os provetes do tipo B apresentam maior extensão que provetes com juntas verticais preenchidas;
- as tensões máximas admissíveis ao corte bem como as extensões finais antes da rotura, são como seria de esperar superiores nos provetes com juntas verticais preenchidas.

Os valores das tensões médias de resistência ao corte obtidos nos provetes das séries A e B, ou seja, 0,17MPa e 0,103MPa respectivamente, satisfazem o valor proposto no Euro código 6 para alvenarias

de blocos furados de betão de agregados leves assentes com argamassa de grande resistência pertencentes à classe entre M10 e M20, que é de 0,2.

Da análise dos gráficos das figuras 14 e 15 conclui-se que:

- o deformação axial ou vertical dos provetes é superior à deformação horizontal em mais do dobro, em ambas as séries;
- as deformações horizontais e verticais para uma mesma carga são menores nos provetes do tipo A que nos provetes do tipo B, sendo que nestes últimos a rotura do provete também ocorre primeiro;
- carga máxima de rotura superior em cerca de 60% nos provetes com juntas verticais preenchidas (série A) quando comparada com os da série B, tanto para deslocamento horizontal como vertical;
- na figura 14 nota-se nos provetes de tipo A um comportamento inicial frágil para baixos níveis de pressão, seguido de um comportamento mais deformável para maiores pressões, traduzido pela curva. Conclui-se que os provetes da série A, por terem as suas juntas verticais preenchidas com argamassa, apresentam uma muito maior deformação quando sujeitos a cargas de compressão diagonal.

## **5.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A inexistência de normalização portuguesa e europeia sobre a resistência mecânica das alvenarias à compressão diagonal veio trazer uma dificuldade acrescida ao trabalho, sendo necessário recorrer à norma americana ASTM E519 [2].

Ora, quer isto dizer que os estudos existentes neste domínio em Portugal são praticamente inexistentes e que os únicos estudos mais divulgados sobre o tema provêm dos Estados Unidos da América.

Contudo, como os blocos usados nesses países têm características diferentes de geometria e resistência, assim como as argamassas têm diferentes composições, os resultados dos seus ensaios são obrigatoriamente diferentes dos realizados em Portugal e, não podem ser directamente transpostos para as nossas alvenarias.

Fez sentido avaliar a importância do preenchimento das juntas verticais com argamassa de provetes quando sujeitos à compressão diagonal, na medida em que a sua influência é muito mais notória quando estes mesmos provetes são sujeitos à compressão simples.

Para o comprovar, tomemos o exemplo de um estudo [18], onde um provete de alvenaria de tijolos com juntas verticais secas quando sujeito a compressão simples teve um decréscimo da tensão média de rotura à compressão de 15%, quando comparado com um provete idêntico, mas com juntas verticais preenchidas com argamassa.

Contudo, este mesmo provete quando sujeito à compressão diagonal sofreu um decréscimo da tensão média de rotura na ordem dos 40%.

Noutro trabalho [11], os seus autores constatam que em alvenaria simples, o facto de a junta vertical estar preenchida proporciona um acréscimo de 10% na força de corte efectiva. Em termos médios, os deslocamentos horizontais nas paredes de junta preenchida são superiores em 13% quando comparados com os deslocamentos horizontais em paredes com junta seca.

Julga-se neste trabalho que a baixa resistência à compressão dos blocos condicionou a rotura prematura dos provetes sem ter havido uma optimização na aderência bloco/argamassa.

Em relação à argamassa, alguns estudos [18] apontam para que a resistência ao corte das alvenarias não terá uma ligação directa com a sua resistência à compressão, julgando-se que o resultado mais favorável se deve fundamentalmente à sua trabalhabilidade, que permite uma mais eficaz aderência na interface dos dois materiais.

Julga-se também que na prática esta redução da resistência ao corte por adopção de juntas secas possa ser atenuada pelo revestimento que as alvenarias devem incluir [18].

## **6. RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS**

Apesar do presente trabalho contribuir para a confirmação de que existem técnicas de construção que melhoram o comportamento mecânico e eventualmente térmico dos edifícios, devem continuar a ser feitos estudos neste sentido, para que de uma vez por todas se proporcione uma regulamentação e uniformização na construção em Portugal.

Em relação aos materiais utilizados neste trabalho, é ideal alargar o estudo a outro tipo de blocos e a diferentes composições de argamassas aliadas a estas duas diferentes técnicas construtivas, para assim se poder comparar os diferentes desempenhos e, conseqüentemente, se obter uma melhor performance na construção. Pode-se e deve-se utilizar para o estudo um número de provetes muito mais amplo, para assim poder haver uma maior certeza e rigor nos resultados obtidos.

Pode também ter interesse estudar o comportamento térmico das paredes de alvenaria, podendo-se simular o seu comportamento através de modelos numéricos como por exemplo o método dos elementos finitos ou através de trabalhos experimentais que permitam obter os coeficientes de transmissão térmica.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Albuquerque, Fernando; Correia, Daniel; Gomes, Carlos; Martins, Armando – *Argamassas na construção civil*.
- [2] ASTM E 519-02. *Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages*.
- [3] Bezelga, A. – *Edifícios de habitação: Caracterização e estimação técnica-económica*. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Nacional Casa da Moeda, Lisboa, 1984.
- [4] Bureau Securitas – “*Étude statistique de 12200 cas de sinistres survenus en 1982*”. Annales de l’ITBTP. N° 426. Séries Questions Generales 162. Paris, Juillet-Aôut 1984.
- [5] Coutinho, Joana de Sousa – *Ligantes e caldas. 1ª parte dos Apontamentos da Disciplina de Materiais de Construção 2 da Licenciatura em Engenharia Civil da FEUP*. FEUP. Porto, 2002.
- [6] Drysdale, R. G.; Hamid, A.A.; Baker, L. R. – “*Masonry structures: behavior and design*”. Prentice Hall, New Jersey, 1994.
- [7] EN 1015-11 – *Methods of test for mortar for masonry. Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*.
- [8] Euro code 6 – Design of masonry structures – Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures. CEN-23 June 2005.
- [9] Fontes de Melo, A.C. – *Desenvolvimentos recentes em blocos de betão leves*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, P.B.Lourenço & Hipólito Sousa (Eds.), Porto, 2002.
- [10] Gouveia, J. P. – *Comportamento de estruturas de alvenaria por aplicação de acções de compressão*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil na especialidade de estruturas. DEC/FCTUC, 2000.
- [11] Lourenço, P.B. – *Concepção e projecto para alvenaria*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, P.B.Lourenço (Eds.), 2007.
- [12] Lourenço, P.B. - *Concepção e projecto para alvenaria*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, P. B. Lourenço & Hipólito Sousa (Eds.), Porto, 2002.
- [13] Mamillan, M – *Le mouvement de l’eau dans les murs annales ITBTP*, n°217. Paris, ITBTP, Janvier, 1966.
- [14] NP EN772-1:2002 – *Métodos de ensaio de blocos para alvenarias – Parte 1: Determinação da resistência à compressão*.
- [15] Pereira, Sofia Patrícia Leite – *Comportamento da Alvenaria de Pedra ao esforço ao corte (Caracterização das juntas)*. Julho de 2003.
- [16] Rei, J.C.M. – *Edifícios de pequeno porte em alvenaria resistente: Viabilidade técnico-económica*. Tese de Mestrado. FEUP, 1999.
- [17] *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*.
- [18] Rodrigues Carvalho, Fernanda – *Comportamento mecânico de alvenarias. Influência de alguns parâmetros nas suas resistências à compressão e ao corte*. LNEC, Lisboa, Maio de 1990.
- [19] Silva, J. Mendes e Pereira, Paulo Meireles – *Manual de Alvenaria de Tijolo. Execução das alvenarias de tijolo*.
- [20] Sousa Coutinho, A. – “*Fabrico e propriedades do betão*”, Vol.I, 2ª edição. Lisboa, LNEC, 1988.
- [21] Sousa Coutinho, Joana – *Agregados para argamassas e betões*. Apontamentos da disciplina de Materiais de Construção 1 da Licenciatura em Engenharia Civil da FEUP. FEUP, Porto, 1999.

[22] Sousa, Hipólito – *Alvenarias em Portugal. Situação actual e perspectivas futuras*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, P. B. Lourenço & Hipólito Sousa (Eds.), Porto, 2002.

[23] Sousa, Hipólito – Manual de Alvenaria de tijolo.

[21] Sousa, Hipólito José Campos – *Melhoria do comportamento térmico e mecânico das alvenarias por actuação da geometria dos elementos. Aplicação a blocos de betão de argila expandida*. FEUP, 1996.

**A1**

**DIAGRAMAS**

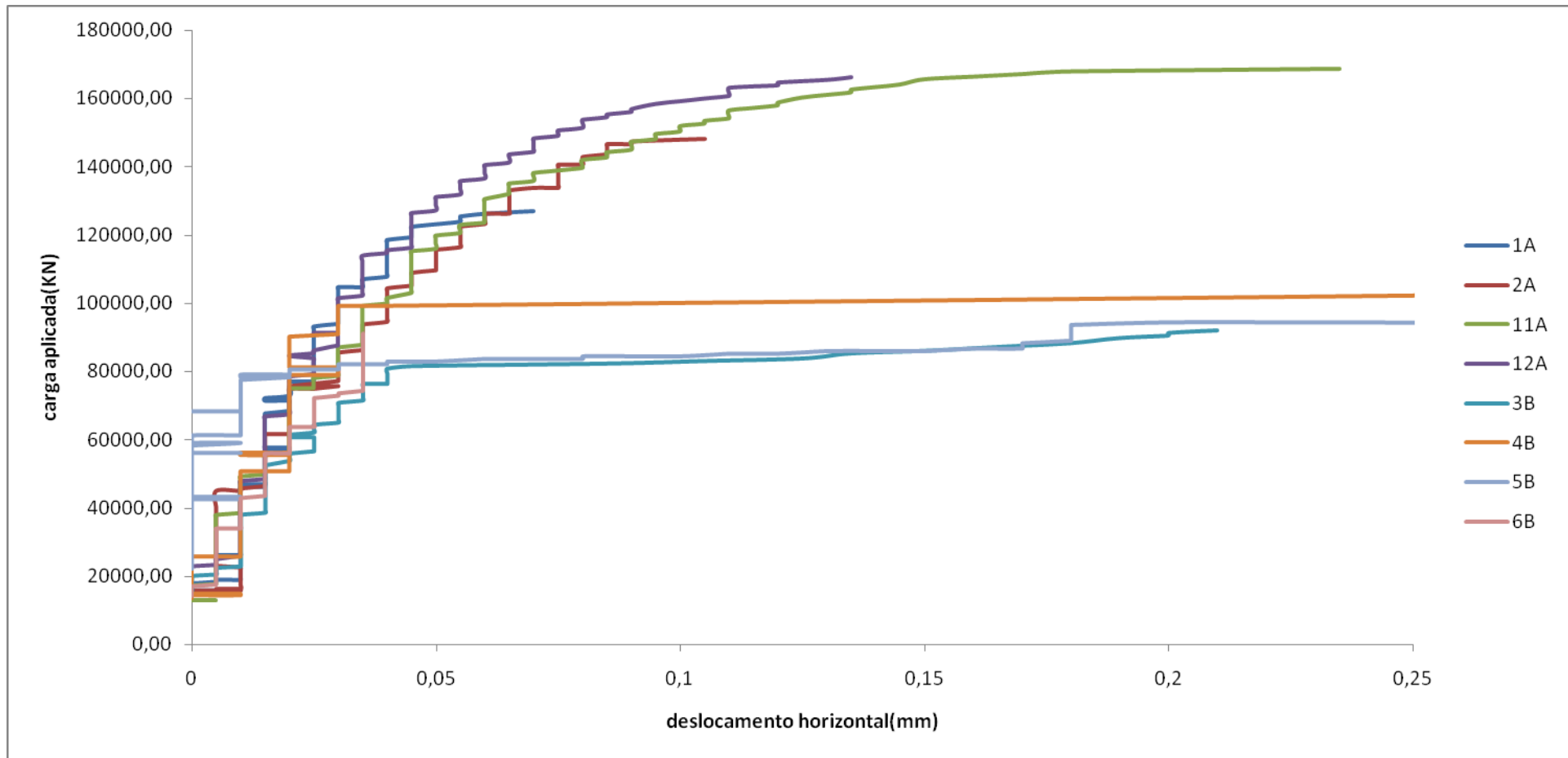


Diagrama carga aplicada – deslocamento horizontal em compressão diagonal dos provetes

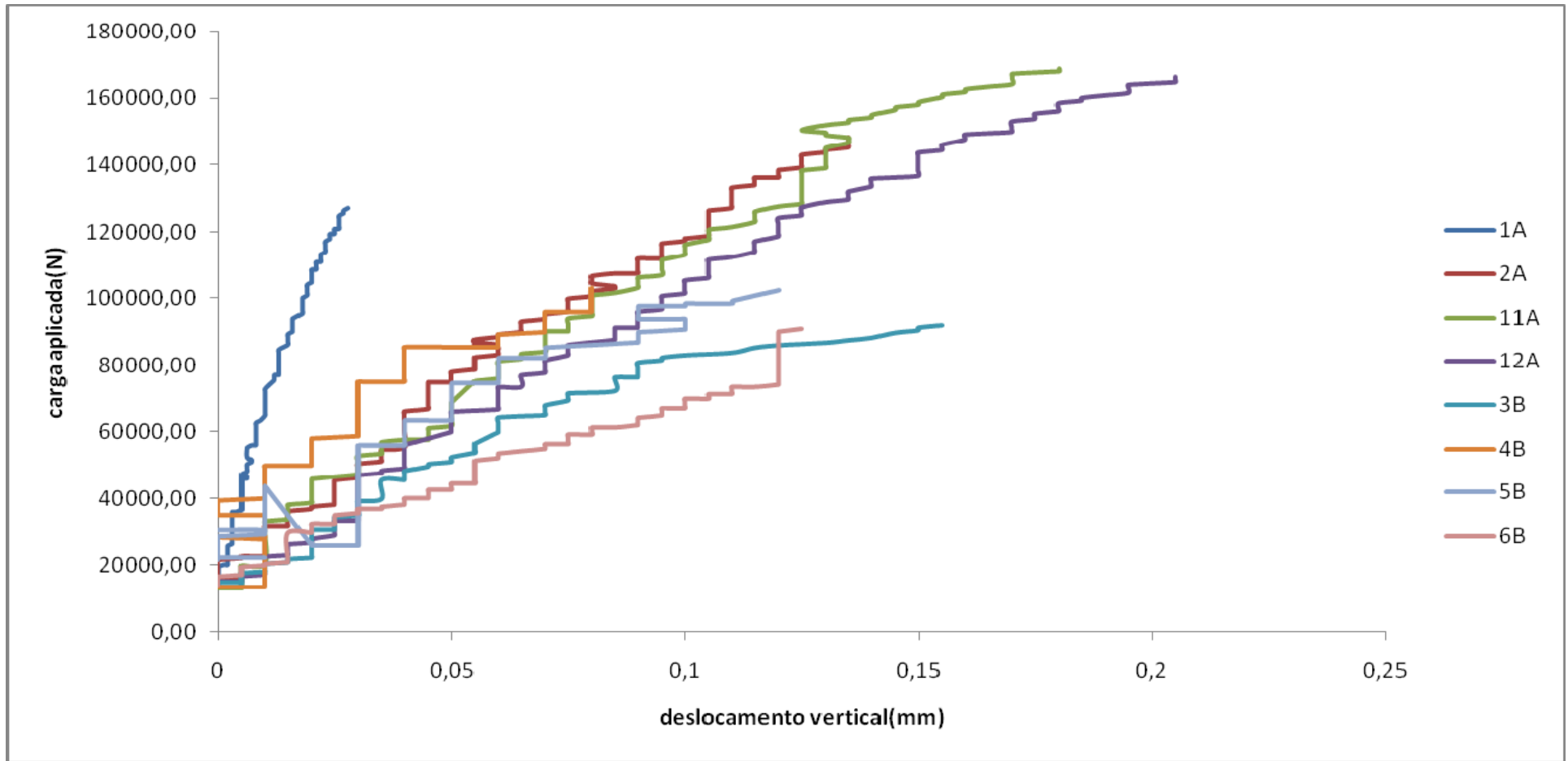


Diagrama carga aplicada – deslocamento vertical em compressão diagonal dos provetes

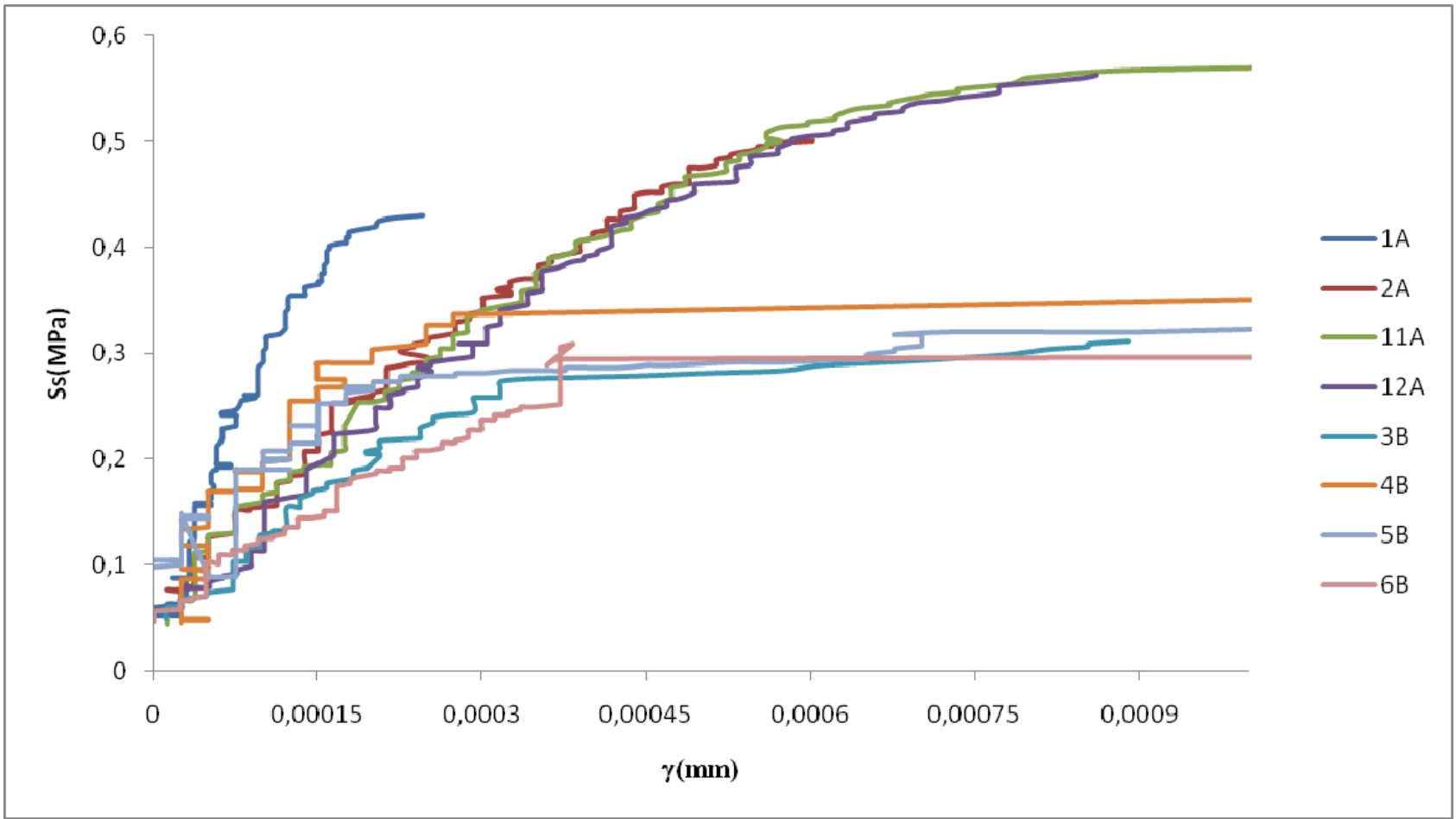



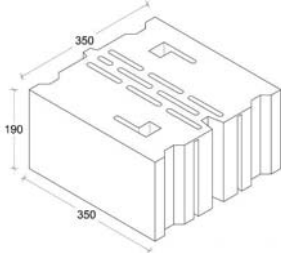

Diagrama tensão ao corte – extensão dos vários provetes

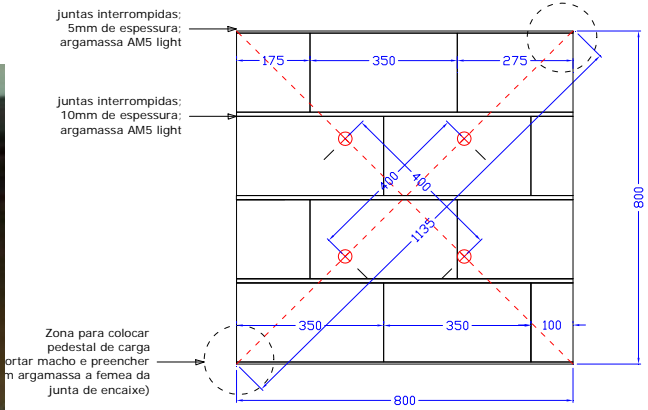

**A2**


**RELATÓRIO DE ENSAIO DA DETERMINAÇÃO DA  
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DIAGONAL DOS  
PROVETES DE ALVENARIA**


 Universidade do Porto Faculdade de Engenharia <b>FEUP</b>	Laboratório de Sistemas e Componentes	
	Boletim de Ensaio - Ref. ASTM E519-02	

Norma ASTM E519-02	Determinação da Resistência à Compressão Diagonal	Data do Ensaio 26-6-08 a 30-6-08
Requerente	Hugo André da Silva Gomes	

Descrição da unidade: Bloco Conforto		Designação argamassa: AM5 light
Cerâmico <input type="checkbox"/> Betão de Inertes leves <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Betão celular autoclavado Pedra Natural <input type="checkbox"/>		

Nº de Provetes 4	Esquema do provete para ensaio à compressão diagonal
<b>Idade construção do provete quando testado: todos provetes após 28 dias</b>	 <p>             juntas interrompidas:              5mm de espessura;              argamassa AM5 light           </p> <p>             juntas interrompidas:              10mm de espessura;              argamassa AM5 light           </p> <p>             Zona para colocar pedestal de carga              (cortar macho e preencher com argamassa a fêmea da junta de encaixe)           </p> <p style="text-align: right;"><b>Nota:</b> dimensões em mm</p>
<b>Descrição de construção do provete:</b> Construção e cura do provete em condições laboratoriais à temperatura de 24±8°C.. Juntas horizontais interrompidas, construídas com 120mm de largura. Juntas verticais preenchidas nas reentrâncias.	
	

 Universidade do Porto Faculdade de Engenharia <b>FEUP</b>	Laboratório de Sistemas e Componentes
	Boletim de Ensaio - Ref. ASTM E519-02


	<p>Linhas de rotura e Forças aplicadas(F):          Alinha de rotura verifica-se segundo a diagonal do provete e a força foi transmitida aos cantos do provete por intermédio da máquina de ensaio.</p>
	<p>Descrição de rotura:          Estes provetes sofreram menor fendilhação quando comparados com os da outra série, devido às juntas verticais não estarem preenchidas.          Tomamos na figura ao lado o exemplo do provete 1A. A rotura, como se verifica, ocorre segundo a diagonal do provete e envolvendo os blocos de canto e as juntas de argamassa da fiada central.          O valor da carga máxima aplicada neste tipo de provetes é superior quando comparado com os da outra série.</p>



Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
**FEUP**

Laboratório de Sistemas e Componentes

Boletim de Ensaio - Ref. ASTM E519-02

 Universidade do Porto Faculdade de Engenharia <b>FEUP</b>	Laboratório de Sistemas e Componentes
	Boletim de Ensaio - Ref. ASTM E519-02


Provete n°	Peso [kg/m2]	Dimensões [mm]				Carga máxima aplicada [N] P	Área provete [mm²] An	Tensão máxima ao Corte [MPa] Ss	Tensão ao Corte [MPa] Ss	Deslocamento vertical [mm] ΔV	Deslocamento horizontal [mm] ΔH	Comprimento de extensão [mm] g	Extensão [mm/mm] γ	Módulo de rigidez elástico [Mpa] G
		l <sub>u</sub> comprimento	h <sub>u</sub> altura	t espessura	n % de Área efectiva da unidade									
1A	207	814	800	350	74	127117,3	209013	0,43	0,14	0,005	0,01	398,55	0,00004	3793,41
2A	204	816	800	350	74	148286,87	209272	0,50	0,17	0,03	0,015	398,21	0,00011	1468,16
11A	207	814	803	350	74	168746,61	209402	0,57	0,19	0,035	0,02	401,77	0,00014	1386,13
12A	205,19	810	803	350	74	166176,72	208884	0,56	0,19	0,04	0,015	394,78	0,00014	1332,38
Média									0,17					1395,56
D.P.									0,02					68,38
C.V.(%)									12,58					4,90



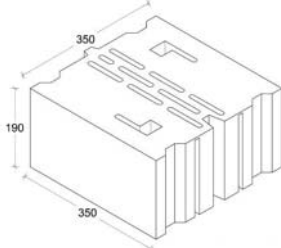

Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
**FEUP**

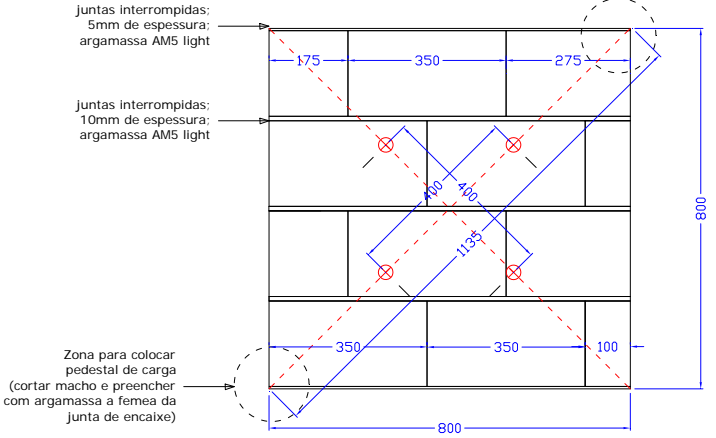

Laboratório de Sistemas e Componentes


Boletim de Ensaio - Ref. ASTM E519-02


 Universidade do Porto Faculdade de Engenharia <b>FEUP</b>	Laboratório de Sistemas e Componentes
	Boletim de Ensaio - Ref. ASTM E519-02

Norma ASTM E519-02	Determinação da Resistência à Compressão Diagonal	Data do Ensaio 31-6-08 a 6-7-08
Requerente	Hugo André da Silva Gomes	

Descrição da unidade: Bloco Conforto		Designação argamassa: AM5 light
<input type="checkbox"/> Cerâmico <input type="checkbox"/> Betão de Inertes leves <input checked="" type="checkbox"/> Betão celular autoclavado <input type="checkbox"/> Pedra Natural <input type="checkbox"/>		

Nº de Provetes 4	Esquema do provete para ensaio à compressão diagonal
<b>Idade construção do provete quando testado: todos os provetes após 28 dias</b>	 <p>             juntas interrompidas:              5mm de espessura;              argamassa AM5 light           </p> <p>             juntas interrompidas:              10mm de espessura;              argamassa AM5 light           </p> <p>             Zona para colocar              pedestal de carga              (cortar macho e preencher              com argamassa a fêmea da              junta de encaixe)           </p> <p style="text-align: right;"><b>Nota:</b> dimensões em mm</p>
<b>Descrição de construção do provete:</b> Construção e cura do provete em condições laboratoriais à temperatura de 24±8°C.. Juntas horizontais interrompidas, construídas com 120mm de largura. Juntas verticais não preenchidas.	
	

 Universidade do Porto Faculdade de Engenharia <b>FEUP</b>	Laboratório de Sistemas e Componentes
	Boletim de Ensaio - Ref. ASTM E519-02

	<p>Linhas de rotura e Forças aplicadas (F):          A linha de rotura verifica-se segundo a diagonal do provete e a força foi transmitida aos cantos do provete por intermédio da máquina de ensaio.</p>
	<p>Descrição de rotura:          Estes foram os provetes onde se verificou uma maior fendilhação, devido às juntas verticais não estarem preenchidas. Tomamos na figura ao lado o exemplo do provete 5B. A rotura, como se verifica, ocorre segundo a diagonal do provete e envolvendo o esmagamento dos dois blocos de canto e as juntas de argamassa da fiada central. O valor da carga máxima aplicada neste tipo de provetes, também foi inferior.</p>



Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
**FEUP**

Laboratório de Sistemas e Componentes

Boletim de Ensaio - Ref. ASTM E519-02

\_\_\_\_\_  
(técnico responsável)



Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia  
**FEUP**

Laboratório de Sistemas e Componentes

Boletim de Ensaio - Ref. ASTM E519-02

**A3**

**RELATÓRIO DE ENSAIO DA DETERMINAÇÃO DAS  
DIMENSÕES DOS BLOCOS**

Norma/Versão: NP EN 772-16 / 2002	Designação Sucinta do Ensaio: Determinação das Dimensões de Blocos para Alvenaria	Data do Ensaio: 28-05-2008
Requerente: Maxit - Tecnologias para a Construção, Reabilitação e Ambiente, S.A. (Projecto OTMAPS)		

### Características dos Blocos

- Designação comercial: Bloco Conforto
- Descrição sucinta: Bloco de furação vertical constituído por betão de agregados leves (argila expandida)
- Dimensões exteriores nominais declaradas: 350x350x190 mm (comprimento x largura x altura)
- Método de amostragem: Aleatória
- Data de fornecimento: 13-05-2008
- Idade do bloco na data de ensaio: 28 dias
- Observações: O bloco possui uma face destinada ao assentamento de juntas horizontais descontínuas de argamassa (Fig.1).

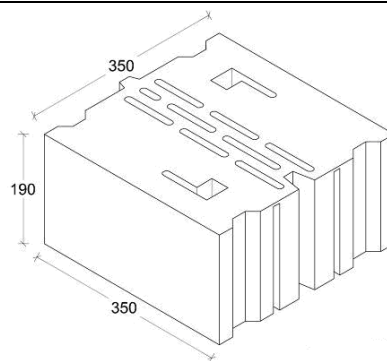


Fig.1- Esquema do bloco com indicação das dimensões nominais exteriores declaradas

### Descrição dos Instrumentos de medida

- 2 Paquímetros com precisão de 0,01 mm

Ref.	Modo de Medição	Dimensões [mm]					
		Profundidade de Vazios	Espessura dos Septos Exteriores	Espessura dos Septos Interiores	$l_u$ (comprimento)	$w_u$ (largura)	$h_u$ (altura)
1	c)	178,7	18,4	18,5	353,9	350,3	186,3
2	c)	180,8	18,2	18,4	352,4	350,9	188,9
3	c)	178,3	18,0	18,5	354,1	348,2	186,7
4	c)	183,4	20,0	17,7	352,1	348,1	190,4
5	c)	179,7	18,3	18,1	350,8	349,1	189,1
6	c)	186,2	17,7	18,4	352,4	350,4	192,8

Nota: c) medição das dimensões do provete na extremidade de cada aresta correspondente

Profundidade Média dos Vazios	Espessura Média dos Septos		Dimensões Nominais Exteriores Médias dos Blocos		
	Septos Exteriores	Septos Interiores	$L_u$ (compr.)	$W_u$ (largura)	$H_u$ (altura)
181,2 mm	18,4 mm	18,3 mm	352,6 mm	350,2 mm	189,0 mm

Tolerâncias Dimensionais Obtidas em Relação às Dimensões Nominais Exteriores Declaradas (máximo /mínimo)	$L_u$ (compr.)	$W_u$ (largura)	$H_u$ (altura)
		+4,1 / +0,8 mm	+1,1 / -0,4 mm

Observações: Segunda amostra de blocos fornecida pelo requerente.

Porto, FEUP, 15 Agosto de 2008,

Técnico Responsável,

---

Rui Sousa  
(Investigador IC/FEUP)

Visto do Director do LSC,

---

Hipólito de Sousa  
(Professor Associado FEUP)

**A4**

**RELATÓRIO DE ENSAIO DA DETERMINAÇÃO DA  
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS**

Norma/Versão: NP EN 772-1 / 2002	Designação Sucinta do Ensaio: Determinação da Resistência à Compressão de Blocos para Alvenaria	Data do Ensaio: 14-06-2008
Requerente: Maxit - Tecnologias para a Construção, Reabilitação e Ambiente, S.A. (Projecto OTMAPS)		

Características dos Blocos	Método de Amostragem	Data de Fornecimento
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Designação comercial:</u> Bloco Conforto</li> <li>• <u>Descrição sucinta:</u> Bloco de furação vertical constituído por betão de agregados leves (argila expandida)</li> <li>• <u>Dimensões exteriores nominais declaradas:</u> 350x350x190 mm (comprimento x largura x altura)</li> <li>• <u>Idade na data do ensaio:</u> 35 dias</li> </ul>	Aleatória	13-04-2008

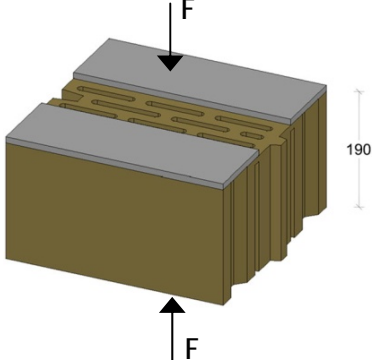
Método de Condicionamento dos Provetes	Esquema do Provette
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construídos e conservados ao ar em laboratório em ambiente não controlado até à data de ensaio em sala não condicionada (Temperatura de 19 a 21° ; H.R. de 60 a 65%)</li> </ul>	
<p><b>Método de Regularização da Superfície dos Provetes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Superfície de aplicação de carga (F) regularizada com argamassa, formando as juntas de assentamento horizontais descontínuas, de acordo com o previsto para o sistema de alvenaria.</li> </ul>	

Fig.1- Direcção de aplicação de carga (F) perpendicular às juntas de assentamento horizontais

Provette nº	Dimensões [mm]			Área Carregada [mm <sup>2</sup> ]	Carga de Rotura [N]	Tensão de Rotura [N/ mm <sup>2</sup> ]
	l <sub>u</sub> (comprimento)	w <sub>u</sub> (largura)	h <sub>u</sub> (altura)			
1	352,1	348,1	190,4	122549	247100	2,0
2	350,8	349,1	189,1	122486	194000	1,6
3	352,4	350,3	192,8	123479	241600	2,0
4	353,8	350,3	187,6	123933	285100	2,3
5	352,7	349,0	190,8	123106	255800	2,1
6	353,5	348,3	186,9	123133	220000	1,8
7	351,1	349,8	191,5	122815	237500	1,9
8	351,3	350,4	190,1	123096	263400	2,1
Resistência Média à Compressão			2 N/ mm <sup>2</sup>	Factor de forma (δ)		1,10
Resistência à Compressão Normalizada (f <sub>b</sub> )			2,2 N/ mm <sup>2</sup>	Coef.Variação (C.V.)		11,1 %

Porto, FEUP, 18 Agosto de 2008,

Técnico Responsável,

---

Rui Sousa  
(Investigador IC/FEUP)

Visto do Director do LSC,

---

Hipólito de Sousa  
(Professor Associado FEUP)

<b>Norma/Versão:</b> NP EN 772-1 / 2002	<b>Designação Sucinta do Ensaio:</b> Determinação da Resistência à Compressão de Blocos para Alvenaria	<b>Data do Ensaio:</b> 14-06-2008
<b>Requerente:</b> Maxit - Tecnologias para a Construção, Reabilitação e Ambiente, S.A. (Projecto OTMAPS)		

Características dos Blocos	Método de Amostragem	Data de Fornecimento
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Designação comercial:</u> Bloco Conforto</li> <li>• <u>Descrição sucinta:</u></li> <li>• Bloco de furação vertical constituído por betão de agregados leves (argila expandida)</li> <li>• <u>Dimensões exteriores nominais declaradas:</u> 350x350x190 mm (comprimento x largura x altura)</li> <li>• <u>Idade na data do ensaio:</u> 35 dias</li> </ul>	Aleatória	13-04-2008

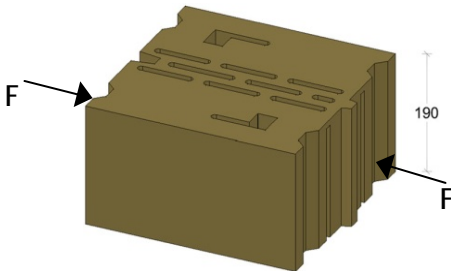
Método de Condicionamento dos Provetes	Esquema do Provette
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conservados ao ar em laboratório em ambiente não controlado até à data de ensaio em sala não condicionada (Temperatura de 19 a 21°; H.R. de 60 a 65%)</li> </ul>	
<b>Método de Regularização da Superfície dos Provetes</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superfície de aplicação de carga (F) regularizada com meios mecânicos e reentrâncias preenchidas com argamassa.</li> </ul>	

Fig.1- Direcção de aplicação de carga (F) paralela às juntas de assentamento horizontais

Provette nº	Dimensões [mm]			Área Carregada [mm <sup>2</sup> ]	Carga de Rotura [N]	Tensão de Rotura [N/ mm <sup>2</sup> ]
	$l_u$ (comprimento)	$w_u$ (largura)	$h_u$ (altura)			
1	353,0	349,2	188,4	65775	168900	2,6
2	351,6	350,0	189,0	66159	190800	2,9
3	353,3	349,3	189,7	66269	164800	2,5
4	353,0	349,2	189,0	65988	130200	2,0
5	353,7	349,1	189,5	66163	132000	2,0
6	354,2	348,2	187,2	65190	149700	2,3
7	351,9	350,2	190,6	66745	146700	2,2
8	352,6	350,3	188,8	66151	180200	2,7
<b>Resistência Média à Compressão</b>			2,4 N/ mm <sup>2</sup>	<b>Factor de forma (<math>\delta</math>)</b>		1,27
<b>Resistência à Compressão Normalizada (<math>f_b</math>)</b>			3,0 N/ mm <sup>2</sup>	<b>Coef. Variação (C.V.)</b>		13,9 %

Porto, FEUP, 18 Agosto de 2008,

Técnico Responsável,

---

Rui Sousa  
(Investigador IC/FEUP)

Visto do Director do LSC,

---

Hipólito de Sousa  
(Professor Associado FEUP)