

## PROPOSTA DE UMA SOLUÇÃO INOVADORA E ECO-EFICIENTE PARA PAREDES DIVISÓRIAS

Graça VASCONCELOS  
Professora Auxiliar  
Universidade do Minho  
Guimarães

Pedro ALVES  
Investigador  
Universidade do Minho  
Guimarães

Paulo MENDONÇA  
Prof. Auxiliar  
Universidade do Minho  
Guimarães

Aires CAMÕES  
Professora Auxiliar  
Universidade do Minho  
Guimarães

Paulo B. LOURENÇO  
Professor Catedrático  
Universidade do Minho  
Guimarães

António BRITO  
Professora Auxiliar  
Universidade do Minho  
Guimarães

P. CARVALHO  
Investigador  
Universidade do Minho  
Guimarães

S. CUNHA  
Investigadora  
Universidade do Minho  
Guimarães

### SUMÁRIO

Neste trabalho pretende-se apresentar uma solução para paredes divisórias construídas com blocos de forma inovadora fabricados com um material compósito resultante a combinação de materiais considerados como subprodutos industriais. Pretende-se que os blocos possibilitem a colocação de instalações reduzindo os resíduos em obra, contribuindo para uma maior sustentabilidade na construção. São apresentados neste trabalho os detalhes da solução, do processo construtivo e da validação parcial do comportamento mecânico.

### 1. INTRODUÇÃO

Em Portugal, na construção corrente de edifícios, mesmo de pequeno e médio porte é utilizada a tecnologia do betão armado. Recentemente têm-se implantado as estruturas metálicas especialmente em edifícios industriais. O uso de paredes de alvenaria tem-se limitado à construção de paredes divisórias não estruturais, quer para paredes de envoltivo quer para paredes divisórias. Estas paredes nem sempre são executadas adequadamente, originando-se vulgarmente patologias diversas, que agravam de forma significativa as condições de habitabilidade. Em Portugal as unidades de alvenaria mais comuns que são aplicadas nas paredes divisórias são os blocos cerâmicos de furação horizontal, ainda que se registre a utilização recente de soluções mais leves, nomeadamente de gesso cartonado.

Atualmente, o setor da construção civil representa um elevado impacto no consumo de energia, quer ao nível da produção dos materiais de construção quer ao nível do consumo de energia para aquecimento e arrefecimento no interior de edifícios de habitação e edifícios públicos. Este setor económico é responsável pela produção de 50% dos resíduos acumulados em aterros, pela produção de 30% das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera e por 40% do

consumo de energia total anual. Deste modo, existe a necessidade de encontrar soluções que conduzam a uma construção mais sustentável, que em parte pode ser alcançado como uma proposta de novos materiais mais eficientes do ponto de vista económico e ambiental. Uma possibilidade de obtenção de materiais ambientalmente mais sustentáveis consiste na inclusão de materiais considerados como subprodutos e resíduos de diferentes indústrias. A este respeito, existem vários estudos sobre a incorporação de materiais reciclados e de subprodutos em argamassas e betão, que funcionam como agregados ou materiais alternativos ao cimento, reduzindo assim a quantidade de cimento necessária e o impacto e termos de emissões de CO<sub>2</sub> [1-3]. Um exemplo da introdução de materiais mais sustentáveis em materiais de construção consiste numa argamassa de gesso e cortiça para aplicações na construção estudado por [4]. Neste trabalho registou-se uma boa compatibilidade entre o gesso e a cortiça, ainda que as propriedades mecânicas possam ser melhoradas pela aplicação materiais de reforço como as fibras de vidro Este material compósito tem vindo a ser utilizado em elementos pré-fabricados para paredes divisórias [5]. O regranulado de cortiça tem vindo a ser usado também em argamassa poliméricas com o objetivo de obter uma argamassa mais leve e com maior ductilidade relativamente a argamassas convencionais [6], bem como agregado em betões leves para aplicações em elementos construtivos não estruturais [7-8].

No contexto de conseguir soluções construtivas mais sustentáveis, tem vindo a ser desenvolvida no âmbito de um projecto de investigação nacional (SipdECO - Desenvolvimento de soluções inovadoras eco-eficientes para paredes divisórias), projeto SI&DT em co-promoção financiado pela agência de inovação no âmbito do Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN), uma solução de paredes divisórias usando um material compósito resultante da combinação de diferentes materiais considerados como subprodutos industriais, nomeadamente regranulado de cortiça, gesso FGD produzido numa central termoelétrica como resultado da dessulfuração de gases de combustão e fibras têxteis resultantes da reciclagem de pneus usados. Paralelamente ao material compósito, considerado mais eco-eficiente, foi proposta uma forma inovadora de um bloco que permite a introdução de instalações eléctricas sem a necessidade de abertura de roços, traduzindo-se uma solução que conduz à produção de menos resíduos.

Neste trabalho pretende-se apresentar detalhes da solução em termos de material compósito de base ao fabrico dos blocos à base de gesso, conceção do bloco de alvenaria a ser utilizado em paredes divisórias, tecnologia de produção dos blocos, sistema construtivo e apresentação de alguns resultados da validação mecânica da solução.

## 2. BREVE REVISÃO DE SOLUÇÕES DE BLOCOS EXISTENTES

Em Portugal a solução mais comum de paredes divisórias consiste na utilização de blocos cerâmicos de furação horizontal disponíveis com diferentes espessuras. Em sistemas de alvenaria estrutural podem ser aplicados blocos cerâmicos de furação vertical de espessura mais reduzida do que as paredes resistentes. Existem outras soluções menos usadas como os blocos de betão celular autoclavado (por exemplo blocos Ytong e Celcom). Os blocos CELCON base consistem em blocos maciços de grande formato, com forma paralelepípedica e todas as faces lisas, ver Figura 1a. O material constituinte é o betão celular autoclavado, um dos tipos de betão leve com boas características estruturais, térmicas, acústicas, resistência ao fogo, amplamente utilizados na Grã-Bretanha desde 1950. Os blocos YTONG consistem em peças maciças de betão celular autoclavado de grandes dimensões. Existem dois tipos de blocos disponíveis, um com os topos lisos e outro com encaixes de topo macho/fêmea e pegas ergonómicas. A elevada regularidade nas dimensões permite um assentamento com juntas delgadas de apenas 2 a 3 mm. Os blocos devem ser colados com cola específica, consistindo numa micro argamassa que confere várias vantagens, entre elas, a não existência de pontes térmicas através da junta. Existem também soluções de blocos de gesso. Como exemplos indicam-se blocos comerciais PLASTEK GRG de formato rectangular com uma única configuração de 100 mm de espessura, 375 mm de altura e 666 mm de comprimento. Apresenta duas faces lisas e os quatro topos moldados com encaixe macho-fêmea e furação

vertical com 100x25mm, ver Figura 1b. Os blocos MULTIGIPS da VG-Orth são peças maciças constituídas por gesso de alta qualidade (gesso de Paris), ver Figura 1b. São apresentadas duas densidades conforme o tipo de utilização. Para utilizações especiais onde os requisitos de isolamento acústico são uma exigência, é apresentado um bloco de alta densidade com  $1200 \text{ kg/m}^3$ . O bloco de alta densidade possui uma altura e largura de 500 mm e uma espessura de 100 mm. O bloco corrente de média densidade é ligeiramente maior, com 500 mm de altura, 666mm de largura e espessuras de 60.80 e 100 mm.



Figura 1: Exemplos de soluções de blocos para paredes divisórias; (a) blocos de betão celular autoclavado; (b) blocos de gesso

### 3. PROPOSTA DE UMA NOVA SOLUÇÃO DE PAREDES DIVISÓRIAS

#### 3.1. Geometria e forma do bloco de alvenaria

O bloco desenvolvido no âmbito do projeto de investigação SipiDECO apresenta forma e geometria inovadora de destina-se a ser utilizado em paredes divisórias, sem função estrutural, mas também adaptável a paredes com função resistente. As paredes podem ser utilizadas para construção nova ou como solução para reabilitação. No âmbito do projeto estabeleceu-se que o bloco seria fabricado com material compósito de gesso, regranulado negro de cortiça e fibras têxteis. O bloco poderá ser fabricado ainda com outros materiais, como por exemplo betão leve (com argila expandida ou outro material leve, inclusivamente regranulado negro de cortiça), desde que compatível com um peso que possibilite o fácil manuseamento em obra e com resistências associadas à sua função não estrutural. Qualquer que seja o material utilizado, a solução desenvolvida deverá sempre apelar à sustentabilidade da solução final.

A geometria do sistema construtivo de paredes tem por base os seguintes objetivos: (1) obtenção de um bloco leve que conduza a um maior rendimento de trabalho; (2) simplificação da tecnologia de construção no sentido de se executar a parede apenas como a montagem simples de peças de encaixe; (3) facilidade na incorporação das instalações (eléctricas, comunicações, águas), que geralmente requer a abertura de roços, de forma a diminuir os desperdícios de material e (4) melhorar o comportamento acústico entre edifícios contíguos.

A solução proposta pode ser utilizada em associação com outro sistema construtivo em alvenaria estrutural desde que se concentre a localização das instalações nas paredes divisórias não resistentes. Ainda que neste caso específico de paredes não estruturais a abertura de roços

não tenha implicações em termos estruturais, tem claramente influência no desperdício de material, sendo considerada uma solução não racional de acomodação das instalações.

O bloco tem forma retangular e é constituído por duas metades (Figura 2a e Figura 2b), que unidas por um material ligante formam o bloco final com furação vertical e horizontal, de modo a possibilitar a construção por fases e a integração eficiente das infra-estruturas, ver Figura 2c.

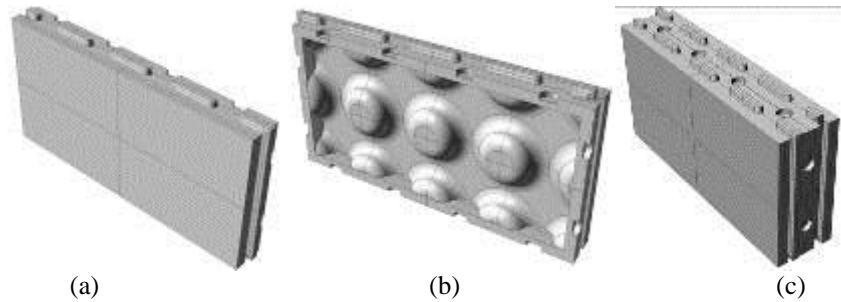


Figura 2 : Detalhes da solução do bloco para paredes divisórias; (a) aspecto da parte exterior de metade do bloco; (b) aspecto da parte interior de metade do bloco; (c) bloco inteiro

As dimensões adoptadas para cada metade do bloco foram condicionadas pelo peso máximo que se considera razoável para o adequado manuseamento em obra e para obter uma adequada rentabilidade de trabalho de modo a conduzir a uma solução economicamente viável. Com o objetivo de ter um bloco com um peso total não superior a 16 kg optou-se por propor para o bloco uma largura de 600mm, uma altura de 300mm e uma espessura total de 140mm (ligação de duas metades de 70mm). Refira-se que o peso é uma característica importante em termos de ergonomia e pode condicionar a rentabilidade de trabalho, havendo uma tendência clara de redução do peso dos materiais a manusear na construção civil. Dado que a construção das paredes pode ser feita por fases, através do assentamento faseado de cada metade do bloco, perfazendo um pano de parede, o peso manuseável pelo trabalhador será de 8kg.

Cada metade do bloco consiste numa associação de duas partes com formas distintas: uma parte exterior de forma rectangular com espessura constante (Figura 2a) e uma parte interior de espessura variável e constituída por formas curvilíneas côncavas e convexas cujo objetivo é definir a furação vertical e horizontal para acomodação das infra-estruturas (Figura 2b). As partes côncavas destinam-se também a reforçar a ligação entre as duas metades e conferir ao bloco um comportamento monolítico. Para além dos discos côncavos, a ligação entre as duas metades do bloco é feita no perímetro da parte interior constituída por um bordo contínuo (Figura 2b). A ligação entre as duas metades deve ser efectuada através da argamassa de gesso ou em alternativa por uma argamassa polimérica ou material adesivo que garanta a resistência à compressão adequada do bloco e da alvenaria de blocos. Pode-se adicionalmente utilizar peças auxiliares (ver Figura 3) que facilitem a ligação entre panos durante a construção da parede.

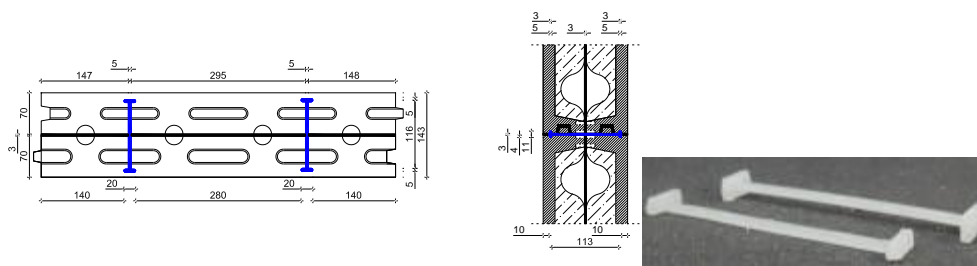


Figura 3 : Peças auxiliares para melhorar a estabilidade durante a construção da parede

O bloco possui em todo o perímetro encaixes tipo macho-fêmea biselados, sendo contínuos na junta vertical e descontínuos na junta horizontal. A descontinuidade horizontal justifica-se pela intenção de passagem das infra-estruturas. Este tipo de encaixe destina-se a facilitar a colocação em obra, aumentando a eficiência do processo construtivo.

O desenvolvimento do sistema construtivo de paredes conduz à necessidade de criar peças especiais de forma a responder a todas as solicitações construtivas correntes na construção de paredes. No caso de paredes divisórias, estas devem ser desligadas da estrutura no bordo de contacto com as lajes de topo e base de modo a evitar transferência de cargas verticais através das lajes. No entanto, prevê-se a ligação das paredes aos elementos laterais de modo a garantir resistência a ações para fora do plano no caso de actuarem cargas horizontais dinâmicas (ação dos sismos e ações de impacto, ver Figura 4a). Esta ligação prevista requer a criação de peças especiais para garantir a ligação aos elementos estruturais laterais, como por exemplo os pilares. Para além das peças metálicas de ligação, foram também definidos diferentes tipos de blocos auxiliares que permitem uma montagem eficiente das paredes, evitando adaptações em obra e contribuindo para o rigor de execução e diminuição significativo de desperdícios de material, nomeadamente meio bloco, ver Figura 4b.

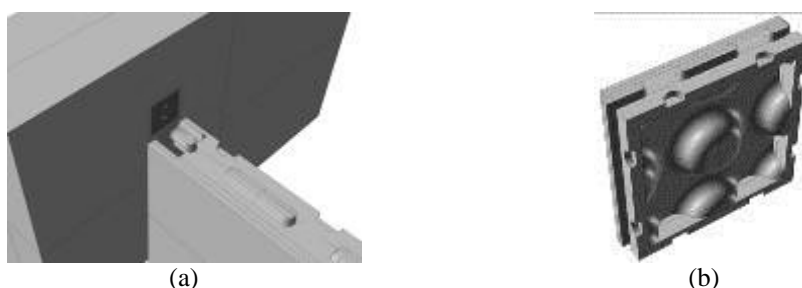


Figura 4 : Pormenores da solução; (a) ligação da parede aos elementos envolventes; (b) geometria do meio bloco

### 3.2. Material compósito para o fabrico do bloco

#### 3.2.1. Materiais constituintes

Como anteriormente referido, o material compósito que serve de base ao bloco para construção das paredes divisórias resulta da combinação de três subprodutos da indústria, nomeadamente gesso FGD, regranulado de cortiça e fibras têxteis resultantes do processo de reciclagem de pneus. O gesso FGD, formado no sistema de tratamento de efluentes gasosos de uma central termoelectrica portuguesa, apresenta-se sob a forma de sulfato de cálcio bi-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) com cerca de 7% de humidade. Para que possa ser reactivo com água deve ser modificado para sulfato de cálcio hemi-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ). Com base no resultado do ensaio de calorimetria diferencial de varrimento e análise termo-gravimétrica (DSC-TGA), foi seleccionada a temperatura de 105 °C para a desidratação [9].

Em termos industriais é comum utilizar temperaturas de calcinação mais elevadas. O gesso após a calcinação, nomeadamente a 165°, apresenta a mesma composição química do gesso convencional, disponível no mercado e correntemente designado como gesso estuque [9]. O gesso FGD apresenta um módulo de finura mais elevado (2 % de material retido no peneiro 100  $\mu\text{m}$ ) do que o gesso convencional (54 % de material retido no peneiro 100  $\mu\text{m}$ ). Em termos de resistência à compressão, o gesso FGD apresenta valor consideravelmente superior (17.4MPa) ao gesso convencional (9.2MPa). De acordo com os resultados obtidos, é possível verificar que a temperatura de calcinação do gesso tem influência na resistência à compressão bem como na consistência do material compósito. Maiores temperaturas de calcinação conduzem a valores mais elevados da resistência à compressão e a uma reacção mais rápida com

água. O regranulado utilizado na mistura do material compósito, ver Figura 5b, consiste num regranulado de cortiça expandida, um subproduto de uma indústria de aglomerado negro de cortiça portuguesa, sendo o material constituído por partículas de diferentes tamanhos: 2/4 mm, 2/9 mm e 4/8 mm. A massa volúmica real destes granulados é, respectivamente, igual a 166, 182 e 198 kg/m<sup>3</sup> e a densidade aparente é de 65.7 e 72.0 kg/m<sup>3</sup>.

As fibras têxteis de pneus são provenientes de uma empresa portuguesa de reciclagem de pneus usados, ver Figura 5c. Estas fibras são na generalidade compostas por fios e cordões poliméricos e alguns resíduos de borracha, sendo o principal elemento constituinte das fibras a poliamida 6. A análise dimensional das fibras (comprimento e do diâmetro), recorrendo a um microscópico óptico com registo fotográfico demonstrou uma grande dispersão no comprimento de fibras, sendo o valor mínimo encontrado de 108.2 µm e o valor máximo de 12469.1 µm. O valor médio foi de 2109.4 µm com um desvio padrão de 1993.2 µm. O diâmetro das fibras também é variável tendo sido o valor mínimo encontrado de 7.2 µm e o valor máximo de 34.1 µm com uma média de 20.7 µm.



Figura 5 : Materiais constituintes do material compósito; (a) gesso FGD; (b) regranulado de cortiça; (c) fibras têxteis

A seleção da composição do material compósito de base ao fabrico do bloco foi feita a partir de um estudo experimental realizado no laboratório de Engenharia Civil da Universidade do Minho. Para o efeito, foram estudadas diferentes percentagens de regranulado de cortiça, nomeadamente 5%, 7% e 9% da massa de gesso (M5, M6, M9), fixando-se a percentagem de fibras em 3% da massa de gesso, ver Tabela 1.

Tabela 1 - Composição das misturas (em % da massa de gesso)

Composição	Tipologia	Água	Ácido Cítrico.	Regranulado	Fibras
M5	moldada	80.0	0.05	5.0	3.0
M7	moldada	87.5	0.05	7.0	3.0
M9	moldada	93.75	0.05	9.0	3.0
P	prensada	22.5	0.05	–	–
5C0F	moldada	80.0	0.05	5.0	0.0
5C1F	moldada	80.0	0.05	5.0	1.0
5C2F	moldada	80.0	0.05	5.0	2.0
5C3F	moldada	80.0	0.05	5.0	3.0
7C0F	moldada	87.5	0.05	7.0	0.0
7C1F	moldada	87.5	0.05	7.0	1.0
7C2F	moldada	87.5	0.05	7.0	2.0
7C3F	moldada	87.5	0.05	7.0	3.0

A percentagem máxima de 3% de fibras foi fixada pela reduzida trabalhabilidade obtida com percentagens superiores e com base na produção anual do produto. Adicionalmente, foi

caracterizado o gesso prensado (P) na perspectiva usar uma solução de bloco resultante de uma combinação de material moldado e prensado. Nesta composição, optou-se por não utilizar cortiça nem fibras têxteis dado que estes contribuíam para um acabamento imperfeito do material e redução da resistência à compressão. Neste primeiro estudo o gesso FGD foi calcinado em laboratório a 105°C. Posteriormente, procedeu-se a um segundo estudo em que se fez variar a percentagem de regranulado de cortiça de 5% e 7% de cortiça e para cada um destes casos fez-se variar a percentagem de fibras têxteis de 0% (5C0F, 7C0F), 1% (5C1F, 7C1F), 2% (5C2F, 7C2F) e 3% (5C3F, 7C3F), da massa de gesso. Neste estudo o gesso FGD foi fornecido por uma empresa que efectua a calcinação do gesso a uma temperatura de 165°C. A quantidade de água e de retardador foram definidos de modo que fosse possível obter uma trabalhabilidade adequada e um tempo de presa compatível com a moldagem do bloco de alvenaria. A quantidade de água foi ajustada de modo a obter-se um espalhamento de aproximadamente 150mm [10] na mistura moldada e de modo a obter compacidade e acabamento final adequados no material prensado. O retardador adoptado foi o ácido cítrico, dado que resultou numa menor redução da resistência do gesso à compressão [9]. A dosagem de retardador foi fixada (0.05% da massa de gesso) com base num estudo experimental preliminar onde se pretendeu conjugar a minimização da redução da resistência à compressão, adequada trabalhabilidade e tempo de presa compatível com a moldagem do material compósito. O processo de mistura e fabrico dos provetes foi efectuado de acordo com norma EN 13279-2 [10]. Para avaliar o comportamento e as propriedades mecânicas (resistência à compressão e módulo de elasticidade) das composições moldadas foram considerados 6 provetes cilíndricos com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura e 6 provetes prismáticos com 40x40x160 mm<sup>3</sup> para o material prensado. Os provetes da composição P, conformados por prensagem, resultaram da moldagem de placas com 35x300x600 mm<sup>3</sup> que foram posteriormente submetidas a uma pressão de 5 MPa, diminuindo a sua espessura para cerca de 13 a 14 mm. A partir destas placas, através de corte por via húmida, obtiveram-se 6 provetes com 13x14x27 mm<sup>3</sup> e 6 com 13x40x160 mm<sup>3</sup>.

Na Tabela 2 estão indicados os valores médios da resistência à compressão uniaxial e o módulo de elasticidade. Os coeficientes de variação encontram-se entre parêntesis e em percentagem. Verifica-se que o material prensado apresenta uma resistência à compressão claramente superior ao material moldado, independentemente do valor da percentagem de regranulado de cortiça adicionado à mistura. No caso do módulo de elasticidade, o valor é superior mas numa percentagem muito inferior. O aumento de regranulado de cortiça traduz-se numa redução da resistência à compressão e numa diminuição do módulo de elasticidade. Analisando a diminuição da resistência nas misturas com gesso calcinado a 105°C (M5, M7 e M9) verifica-se que esta é aproximadamente linear [11].

Tabela 2 - Propriedades mecânicas do material compósito

Composição	$E$ (MPa)	$f_c$ (MPa)
M5	1899.6 (4.7)	3.10 (2.7)
M7	1311.8 (12.1)	2.0 (13.4)
M9	823.3 (1.5)	1.1 (5.8)
P	2196.9 (17.1)	13.3 (18.2)
5C0F	3731.9 (10.7)	2.62 (13.3)
5C1F	2917.3 (15.6)	2.88 (15.4)
5C2F	2855.7 (1.8)	2.63 (6.0)
5C3F	2662.5 (20.2)	3.35 (7.8)
7C0F	1977.3 (19.3)	1.68 (22.2)
7C1F	2360.8 (17.6)	2.04 (16.4)
7C2F	2090.5 (22.8)	2.27 (6.3)
7C3F	2068.6 (14.0)	2.13 (12.0)

Os valores da resistência à compressão nas misturas (5C3F e 7C3F) e módulo de elasticidade obtidos com gesso calcinado a temperatura de 165°C são superiores aos valores obtidos nas

misturas M5 e M7 com a mesma percentagem de fibras de 3%, o que está de acordo com os resultados obtidos considerando apenas a pasta de gesso. A introdução de fibras têxteis resulta no aumento da resistência à compressão e numa redução do módulo de elasticidade. O efeito da introdução das fibras têxteis pode ser observado no comportamento global do material compósito à compressão, ver Figura 6. O comportamento global em compressão caracteriza-se por um regime de pré-pico composto por um ramo linear e por um ramo não linear cuja extensão depende da ductilidade do material e que está relacionada com a microfissuração do material antes da carga máxima ser atingida.

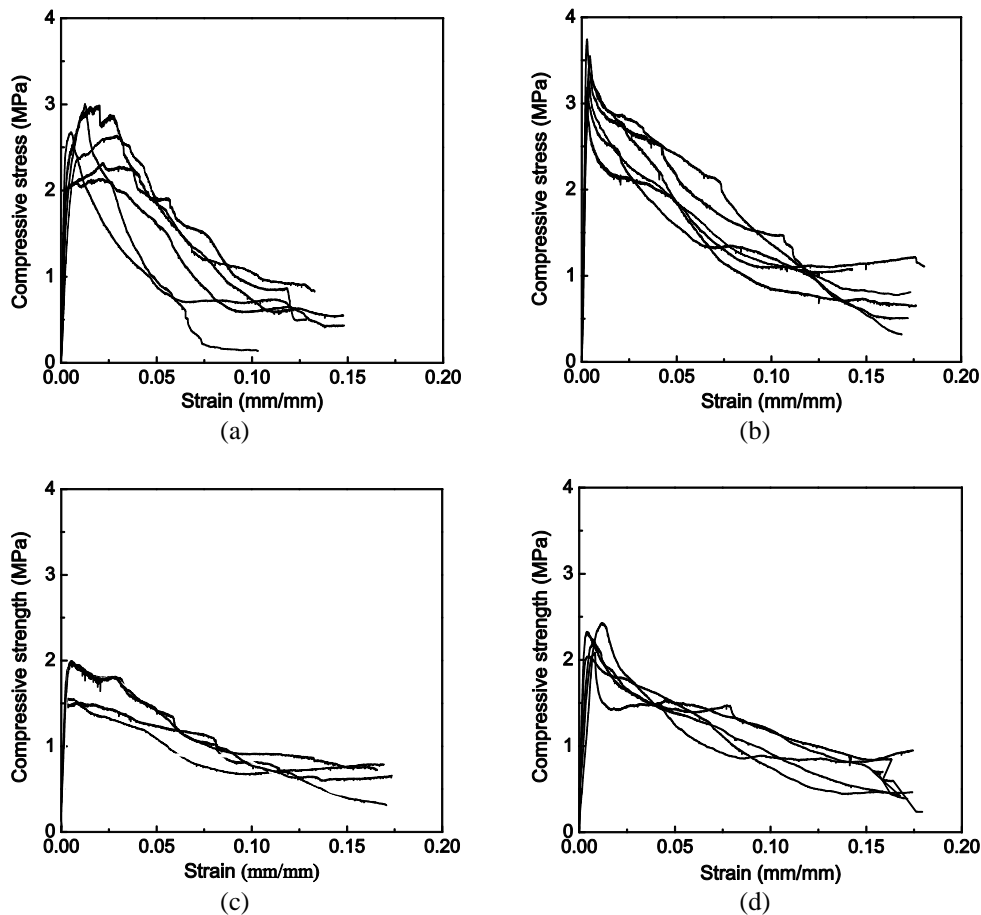


Figura 6 : Diagramas tensão-extensão das misturas compósitas com: (a) 5% regranulado de cortiça e 0% fibras têxteis; (b) 5% regranulado de cortiça e 3% fibras têxteis; (c) 7% regranulado de cortiça e 0% fibras têxteis; (d) 7% regranulado de cortiça e 3% fibras têxteis

O comportamento após o pico de resistência é composto por um ramo descendente que traduz a diminuição de resistência para deformações crescentes. Verifica-se que a introdução de fibras têxteis se traduz num ramo descendente mais suave, o que está ligado a uma maior ductilidade. Por outro lado, verifica-se que o aumento da percentagem de regranulado de cortiça conduz ao aumento da deformação última e a uma redução da resistência mais suave. De qualquer modo, verifica-se que o nível de deformação (deformação correspondente à tensão máxima e deformação última) em compressão obtida para este material compósito, é consideravelmente elevada, quando comparada com outros materiais de construção, como betão, tijolo e argamassa, o que demonstra a maior ductilidade deste material. Este comportamento é distinto do comportamento do material prensado que apresenta um comportamento mais frágil em compressão e roturas bruscas em flexão [11]. O nível elevado de deformação obtido em



compressão do material moldado está associado ao esmagamento progressivo do material que resulta da rotura da estrutura de gesso que se encontra confinado pelo regranulado de cortiça. A capacidade portante do material compósito é integralmente conferida pelo gesso e possivelmente auxiliada pelas fibras têxteis de maior dimensão. As fibras têxteis têm também um papel fundamental na resistência à tração e na ductilidade em tração, como mostram os resultados dos ensaios de flexão realizados em vigas com entalhe, a partir dos quais se obtêm a energia de fractura em tração [12]. A introdução de fibras têxteis (1% de fibras têxteis) traduz-se no aumento da energia de fractura em 153% e 137% no caso das misturas com percentagem de 5% e 7% de fibras respectivamente. O aumento da energia de fractura é de 37.8% quando a percentagem de regranulado de cortiça aumenta de 5% para 7% [12].

### 3.3. Tecnologia de fabrico dos blocos

Como referido anteriormente, o bloco de alvenaria proposto pode ser totalmente moldado, ou em alternativa, composto pelo interior moldado ligado a uma placa de gesso prensado. No caso do bloco misto, é necessário proceder à prensagem de placas de gesso de 600mm de comprimento, 300mm de altura e 14mm de espessura que posteriormente serão ligadas à parte interior moldada. A prensagem foi efectuada através de uma prensa hidráulica de 3000kN de capacidade e ajustada através de um estudo preliminar adoptando-se uma tensão de prensagem de 5MPa de modo a obter um material compacto e de bom acabamento. Como anteriormente referido, não se inclui no material prensado as fibras têxteis e regranulado de cortiça. Note-se que a ideia do bloco misto consiste em produzir um bloco sem necessidade de adicionar reboco. Para a parte moldada foi dimensionado e executado um molde em alumínio que permite a produção de metade do bloco, ver Figura 7. Após a mistura do material compósito, este é vertido no molde podendo o bloco ser desmoldado após 15 minutos. Para facilitar a desmoldagem do bloco foi dimensionado um sistema de extração automático (Figura 7b). que permite a perfeita e rápida desmoldagem do bloco sem a ocorrência de defeitos (Figura 7c). Refira-se que o molde conduz a um elevado rigor dimensional, o que é favorável devido ao sistema de encaixes dos blocos.

O bloco moldado pode ou não ser revestido com uma pasta de gesso para dar o acabamento final. Este acabamento pode ser dado em obra, o facilita a produção dos blocos moldados e aumenta a rapidez de produção.

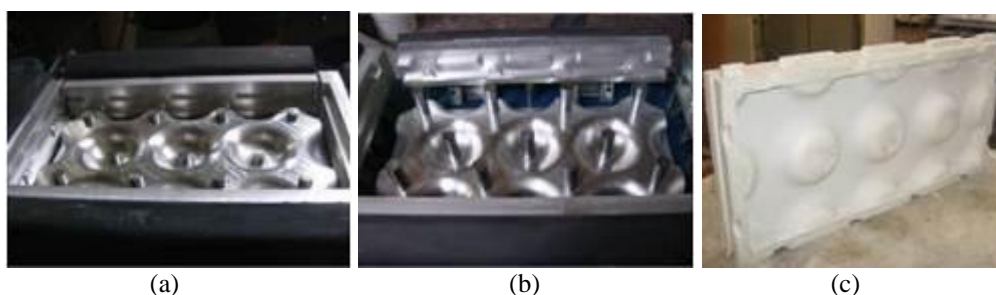


Figura 7 : Detalhes do fabrico dos blocos; (a) molde; (b) sistema de extração; (c) aspecto final de metade de bloco

### 3.4. Metodologia de construção

O processo construtivo, que se quer simples, está intimamente relacionado com o objetivo inicial de introdução eficiente das infra-estruturas. De facto, como anteriormente descrito, a parede é constituída por dois panos monoliticamente ligados. Deste modo, o processo construtivo da presente é constituído por três fases, nomeadamente: (1) colocação e assentamento do primeiro paramento (metade do bloco) até uma altura que se considere viável

relativamente à colocação das instalações. O assentamento do primeiro pano de parede é efectuado diretamente no pavimento nivelado sobre o material de ligação que é utilizado também nas juntas horizontais. Na solução proposta não é aplicado material ligante nas juntas verticais, pelo que a ligação entre os blocos se estabelece apenas através dos encaixes contínuos do tipo macho-fêmea, ver Figura 8a. O alinhamento dos blocos é facilitado pelos encaixes verticais e horizontais. Na Figura 8b ilustra-se a primeira fiada do primeiro pano de uma parede com aproximadamente 4.0m de comprimento e 2.70m de altura ( $10.8\text{m}^2$ ) construída numa célula de teste onde se avalia o desempenho térmico e acústico. Apesar da existência de encaixes na direção vertical e horizontal, existe tendência para separação das duas metades dado que o material de ligação endurece lentamente. Assim, como anteriormente mencionado, para garantir uma maior estabilidade durante a construção são colocadas peças poliméricas flexíveis nas metades dos blocos do primeiro pano onde posteriormente são ligados as metades de bloco correspondentes ao segundo pano, ver Figura 8c; (2) colocação das infra-estruturas; (3) colocação e assentamento do segundo pano e ligação ao primeiro paramento através da aplicação do material ligante no perímetro interior e nas partes côncavas, ver Figura 8d,e. Na Figura 8f apresenta-se o aspecto final da parede.

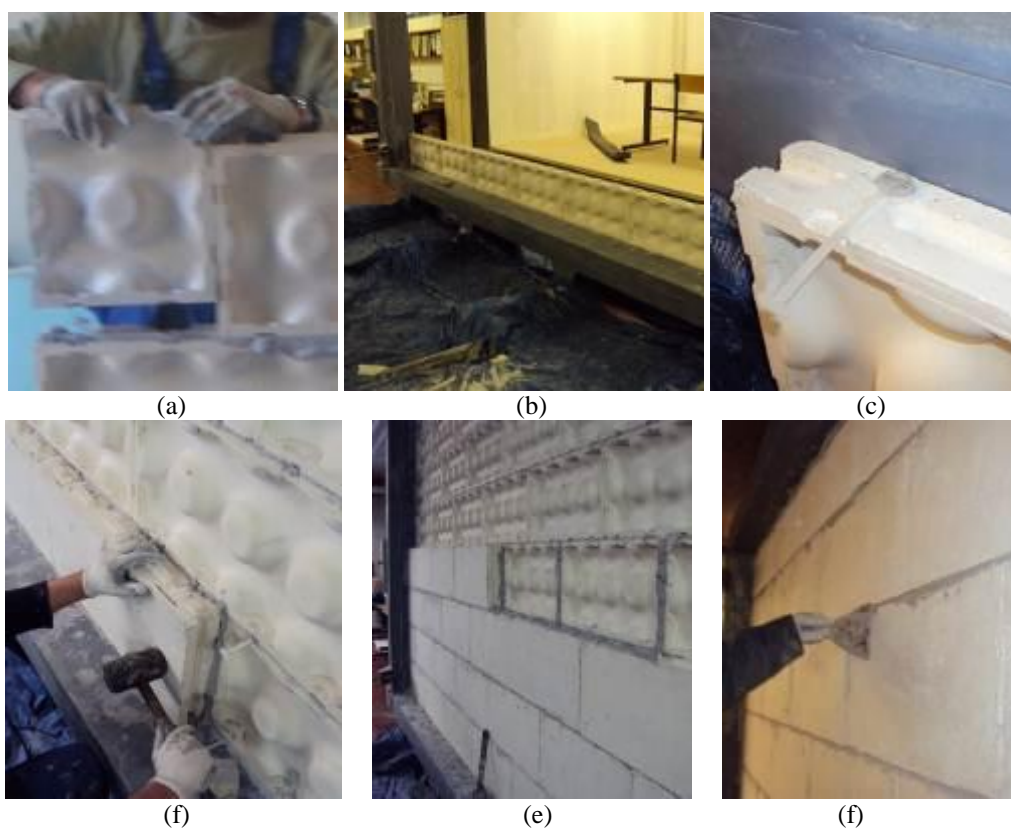


Figura 8 : Processo de construção; (a) ligação dos blocos ao nível da junta vertical; (b) assentamento da primeira fiada do primeiro pano; (c) colocação das peças poliméricas auxiliares; (d) e (e) assentamento do segundo paramento de paredes; (f) aspecto final da parede divisória

### 3.5. Seleção do material de ligação dos blocos

O bloco de material composto à base de gesso resulta da ligação entre duas metades de bloco de modo que seja possível a construção da parede por fases e a instalação das infra-estruturas. Isto significa que as duas metades de bloco têm de ser ligadas para que o bloco de gesso

funcione de modo monolítico. O material de ligação poderá ser usado para o assentamento dos blocos. Apesar de o encaixe macho-fêmea na junta horizontal, a resistência a ações para fora do plano poderá ser melhorada pela utilização de material de assentamento. Com o objetivo de facilitar a tecnologia de construção, consideram-se 4 materiais adesivos comerciais destinados a serem usados em bases de gesso, nomeadamente duas argamassa de gesso (PA3 e PA4) e duas resinas sintéticas (PA1 e PA2).

A seleção do material de ligação mais eficiente foi efetuada com base num conjunto de ensaios experimentais. Numa primeira fase foram efetuados ensaios de arrancamento e posteriormente ensaios de compressão uniaxial em blocos, compressão uniaxial e flexão em provetes de alvenaria. Os ensaios de arrancamento destinam-se a avaliar a aderência em tração entre o material de ligação e o material compósito. Os ensaios de compressão uniaxial em blocos e provetes destinam-se a avaliar por um lado a eficiência da ligação entre as metades do bloco já que são gerados esforços de tração na interface da ligação. Os ensaios de flexão têm como objetivo avaliar a eficiência do material ligante na junta horizontal em termos de aderência em tração.

Os ensaios de arrancamento “pull off” foram efectuados seguindo as sugestões da norma EN1015-12 [13]. Para material de base optou-se por utilizar diretamente o bloco de gesso moldado sendo o material adesivo aplicado na face do bloco. Para cada material adesivo foram efetuadas 5 carotagens com uma profundidade superior à espessura do material adesivo e colados 5 discos metálicos com um cola resistente, a partir dos quais foi aplicada uma força de tração crescente, ver Figura 9a. Na Figura 9b encontram-se indicados os valores médios da resistência de aderência em tração entre o material adesivo e o material compósito. Verifica-se que as resinas sintéticas apresentam uma maior resistência de aderência pelo que foram seleccionadas para prosseguir com os ensaios de flexão e compressão uniaxial.

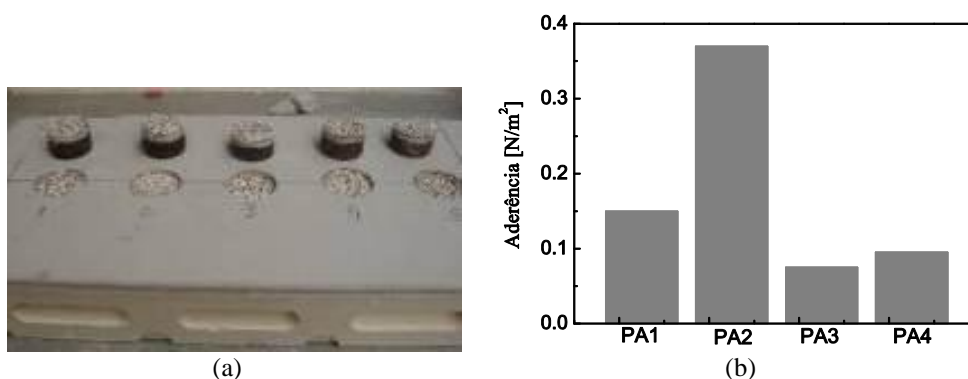


Figura 9 : Ensaios de arrancamento; (a) superfícies de rotura; (b) valores da aderência

Os ensaios de compressão uniaxial em blocos foram efectuados segundo a norma EN 771 [14]. Foram ensaiados 5 blocos para cada material ligante. A construção dos provetes foi efectuada seguindo a tecnologia descrita anteriormente. Os ensaios foram realizados com controlo de deslocamento de modo que a carga máxima fosse atingida no intervalo sugerido pela norma. Os provetes foram rectificadas na base e no topo com uma argamassa de gesso de modo a garantir o alinhamento da carga aplicada. Na Figura 10a encontra-se ilustrado o esquema de ensaio. Foi aplicada uma chapa metálica no topo do bloco para distribuir a carga pela área do bloco. Foram medidos deslocamentos no interior do bloco através de 2 LVDTs colocados em cada face do bloco. Foi medido também o deslocamento transversal com o objetivo de detectar a separação entre as duas metades. Os valores médios da resistência à compressão dos blocos,  $f_{cb}$ , encontram-se indicados na Tabela 3. Verifica-se que o valor médio da resistência à compressão assume o valor máximo com a pasta adesiva PA2, que representa um acréscimo de aproximadamente 20% relativamente ao valor mais baixo da resistência.

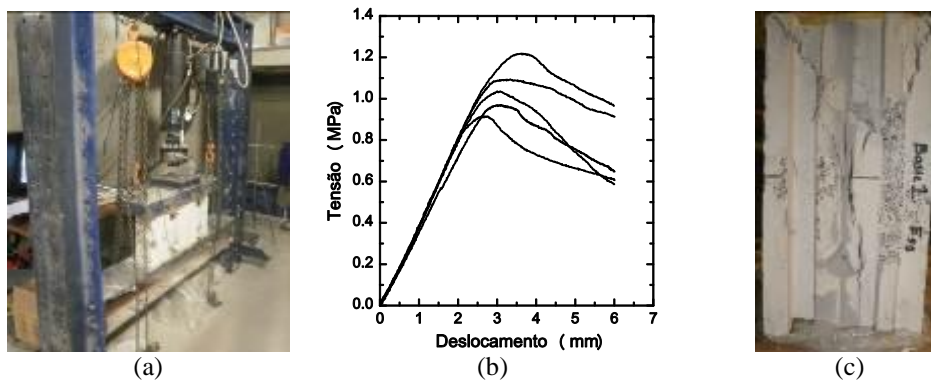


Figura 10: Ensaios de compressão; (a) esquema de ensaio; (b) diagramas tensão-deslocamento nos provetes com material ligante PA2; (c) ruptura de um bloco com material ligante PA2

A resistência obtida para os materiais de ligação e assentamento PA1, PA3 e PA4 são praticamente iguais. Note-se que a resistência em tração obtida com os ensaios de “pull off” dos materiais ligantes PA3 e PA4 é próxima e difere claramente da aderência conseguida com o material PA2. Isto parece indicar que resistências de aderência próximas podem conduzir a resistências à compressão também próximas. A resistência do bloco depende do material mas também depende do material de ligação entre as metades, já que esta ligação fica solicitada à tração. Os diagramas tensão-deslocamento indicados na Figura 10b para os blocos construídos com o material de ligação PA2 demonstram a capacidade do bloco se deformar bem como um comportamento pós-pico caracterizado por um ramo descendente muito suave. Decidiu-se finalizar os ensaios quando a carga suportada pelos provetes ainda era alta mas já com um visível padrão de dano, ver Figura 10c. Os valores da resistência mais baixo para os provetes com os materiais ligantes PA1, PA3 e PA4 resulta de uma maior tendência para a ruptura da interface de ligação entre as duas metades do bloco.

A resistência de aderência em tração ao nível das juntas foi obtida seguindo a norma EN 1052-2 [15] para a obtenção da resistência à flexão da alvenaria. Para o efeito, foi utilizado o provete que resultou da assemblagem de três blocos, ver Figura 11a, o qual foi solicitado em flexão na direção paralela às juntas horizontais. O esquema de ensaio, configuração de carga e instrumentação estão apresentados na Figura 11b. Os ensaios foram realizados com controlo de deslocamento. Foram utilizados 4 LVDTs verticais e dois LVDTs horizontais localizados de modo a medir abertura de junta, partindo do princípio de que a ruptura ocorreria ao nível das juntas horizontais.

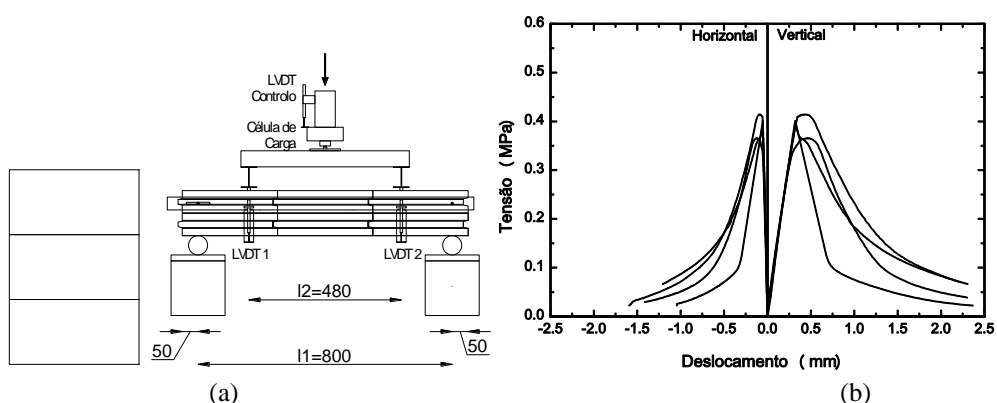


Figura 11 : Ensaios de flexão para obtenção da resistência de aderência em tração das juntas horizontais; (a) provete e esquema de ensaio (dimensões em mm); (b) diagramas força-deslocamento

Os valores médios da resistência de aderência das juntas,  $f_t$ , estão indicados na Tabela 3 para as duas pastas adesivas selecionadas. Verifica-se que o valor da resistência de aderência é consideravelmente superior no caso da pasta adesiva PA2.

Tabela 3 - Avaliação da eficiência do material de ligação

Material	$f_{cb}$ (MPa)	$f_{ca}$ (MPa)	$f_t$ (MPa)
PA1	0.85 (7.2%)	0.88 (3.0%)	0.39 (5.3%)
PA2	1.05 (11.2%)	1.07 (3.0%)	0.50 (4.6%)
PA3	0.88 (7.8%)	-	-
PA4	0.89 (9.1%)	-	-

A rotura dos provetes construídos com a pasta adesiva PA1 ocorre na junta, maioritariamente ao nível da interface bloco-pasta adesiva, como se pode observar através da Figura 12a. Neste caso a superfície da junta horizontal fica em grande parte livre do material ligante, como resultado da rotura da aderência da interface. Nos provetes construídos com a pasta adesiva PA2, a rotura ocorre nas proximidades da junta horizontal mas envolve a rotura do material compósito e não a rotura do material de ligação, ver Figura 12b. Neste caso, pode-se considerar que rotura do provete em flexão é condicionada pela rotura do material compósito em tração.



Figura 12 : Modos de rotura em flexão; (a) provetes construídos com a pasta adesiva PA1; (b) provetes construídos com a pasta adesiva PA2

Os ensaios de compressão uniaxial para avaliação do desempenho das duas pastas adesivas seleccionadas foram efectuados de acordo com a norma EN 1052-1 [16], destinada à caracterização de alvenaria resistente à compressão. Os provetes têm dimensões de 60mm de comprimento e 90mm de altura, correspondente a três fiadas de blocos. Na fiada intermédia são colocados dois meios blocos de modo a ter uma junta vertical. Os ensaios foram efectuados em controlo de deslocamento. O deslocamento vertical de cada provete resulta da média dos deslocamentos medidos por dois LVDTs colocados em cada face do provete de acordo com a norma EN 1052-1 [16], ver Figura 13a. A superfície superior e inferior dos blocos foram rectificadas aplicando uma resina de alta resistência de modo a evitar excentricidades da carga vertical. No topo de cada provete foi colocada uma chapa de aço espessa de modo a uniformizar a carga vertical, aplicada através de um actuador de 250kN de capacidade. O comportamento típico da alvenaria em compressão pode observar-se através dos diagramas tensão-deslocamento obtidos nos três provetes construídos com a pasta adesiva PA2 (Figura 13b). O diagrama tensão-deslocamento é caracterizado por um ramo descendente após a tensão de rotura ser atingida associado à perda de capacidade resistente para deformações crescentes como resultado do progressivo desenvolvimento de dano.

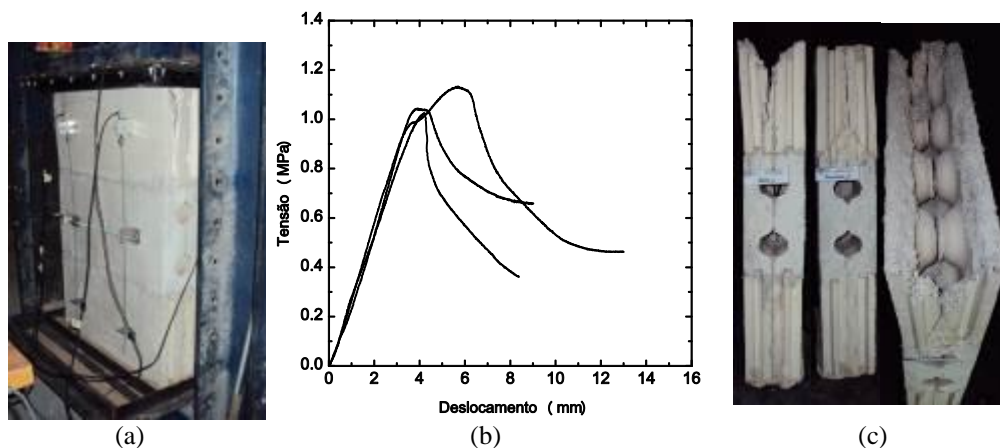


Figura 13 : Pormenores sobre os ensaios de compressão uniaxial; (a) geometria do provete e instrumentação; (b) diagramas típicos tensão-deslocamento; (c) modo de rotura

Verifica-se que existe uma reduzida variabilidade na zona elástica, ao passo que o regime de pós-pico se caracteriza por uma dispersão considerável, ainda que só tenham sido ensaiados 3 provetes. Salienta-se o elevado nível de deslocamento vertical apresentado pelo provetes, o que está associado ao tipo de rotura caracterizada pelo esmagamento dos blocos da base e topo seguido pela fissuração vertical dos blocos na espessura, ver Figura 13c. No caso dos provetes construídos com a pasta adesiva PA1, a fissuração vertical desenvolve-se na ligação das duas metades de bloco, como resultado dos esforços de tração desenvolvidos na direção transversal. Este comportamento conduz à redução em 18% da resistência à compressão da alvenaria construída com a pasta adesiva PA1 relativamente à alvenaria construída com a pasta adesiva PA2. Dos resultados obtidos conclui-se que a pasta adesiva PA2 apresenta melhores resultados, quer nos ensaios individuais de aderência em tração, quer nos ensaios de flexão e compressão uniaxial da alvenaria.

#### 4. VALIDAÇÃO MECÂNICA DA SOLUÇÃO

Apesar das paredes divisórias serem elementos construtivos não estruturais, é necessário garantir a sua estabilidade a ações verticais resultantes do peso próprio a eventuais cargas transmitidas pelas lajes no caso de se observarem deformações consideráveis das lajes. Adicionalmente, é importante que estas paredes tenham resistência a ações fora do plano dado que no caso de regiões sísmicas estas ações são preponderantes. No entanto, de acordo com a diretriz europeia para aprovação técnica de paredes divisórias ETAG [17], do ponto de vista mecânico é referida apenas a necessidade de uma parede divisória (paredes não estruturais) resistir a ações de impacto e compressão excêntrica.

Assim, nesta secção apresentam-se os resultados dos ensaios estáticos monotónicos através dos quais é possível a obtenção da resistência à flexão da alvenaria (construída com o material de ligação PA2) na direção paralela e perpendicular às juntas horizontais, os resultados dos ensaios de compressão em provetes representativos da alvenaria de blocos de material compósito. Adicionalmente, faz-se uma abordagem da avaliação de desempenho da solução proposta a ações de impacto e compressão excêntrica.

##### 4.1. Comportamento à flexão

Os ensaios de flexão (flexão em quatro pontos) foram efectuados de acordo com a norma EN 1052-2 [15] destinada a alvenaria estrutural. A geometria dos provetes para obtenção da resistência à flexão da alvenaria está apresentada na Figura 14a,b para as duas direcções de

flexão. A configuração de carga e instrumentação para medição dos deslocamentos verticais está indicada na Figura 14c. Os ensaios foram efetuados em controlo de deslocamento.

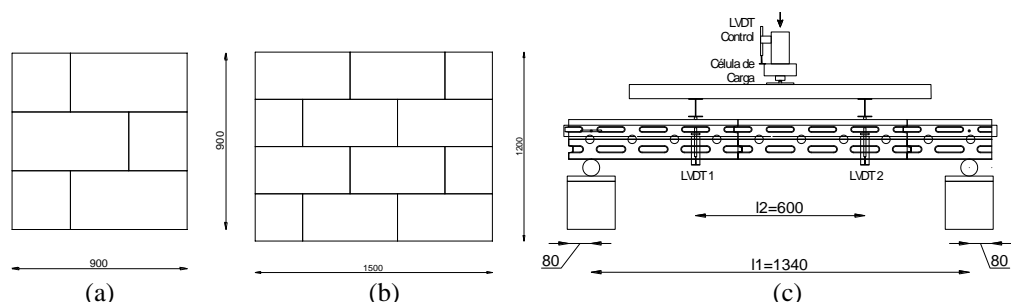


Figura 14 : Detalhes dos ensaios de flexão; (a) provete para flexão na direção paralela às juntas horizontais; (b) provete para flexão na direção perpendicular às juntas horizontais; (c) configuração de ensaio

Os valores médios da resistência à flexão,  $f_{pl}$  (direção paralela às juntas horizontais) e  $f_{pp}$  (direção perpendicular às juntas horizontais) e os coeficientes de variação entre parêntesis apresentam-se na Tabela 4. O comportamento global em flexão em ambas as direções apresenta-se na Figura 15 através dos diagramas tensão-deslocamento. Como anteriormente mencionado, a resistência à flexão corresponde ao valor máximo da tensão normal calculada em regime elástico. O deslocamento corresponde ao valor médio medido nos 4 LVDTs colocados nos 2 terços do vão como indicado na Figura 14c. A alvenaria de blocos compósitos apresenta valores de resistência à flexão superiores em 11% na direção paralela à junta horizontal em relação à direção perpendicular à junta horizontal. De acordo com o eurocódigo 6 [18] a resistência característica à flexão é da ordem dos 0.1MPa para blocos cerâmicos na direção paralela à junta horizontal e de 0.2MPa a 0.4MPa na direção perpendicular à junta horizontal no caso de a resistência à compressão da argamassa ser inferior ou superior a 5.0 MPa respectivamente. Os valores característicos da resistência à flexão de alvenaria de tijolo de furação horizontal de 15cm de espessura obtidos por Pereira (2010) [19] foram de 0.1MPa e de 0.33MPa nas direções paralela e perpendicular à junta horizontal. Se consideramos os valores característicos da resistência à flexão da alvenaria de blocos compósitos de 0.25MPa e de 0.22MPa (EN1052-2) [15] nas direções paralela e perpendicular à junta horizontal respectivamente constata-se que a resistência na direção paralela às juntas é 2.5 vezes superior e a resistência na direção perpendicular é 1.5 vezes inferior aos valores da resistência à flexão obtidos por [19]. O valor consideravelmente superior na direção paralela justifica-se pelo facto de a rotura dos provetes ocorrer no bloco segundo um linha paralela à junta horizontal e não ao nível da junta como indicado no eurocódigo 6 [18] e como obtido por Pereira (2010) [19], indicando que a resistência à flexão é controlada em parte pela resistência do material composto à tração, ver Figura 16a.

Tabela 4 - Valores médios da resistência à flexão e compressão da alvenaria de blocos

$f_{pl}$ (MPa)	$f_{pp}$ (MPa)	$f_c$ (MPa)
0.37 (12.1%)	0.33 (4.0%)	0.93 (6.9%)

O modo de rotura na direção perpendicular consiste numa linha contínua abrangendo os blocos e as juntas verticais de modo semelhante ao indicado no eurocódigo 6 [18], mobilizando simultaneamente a resistência à tração das juntas verticais e blocos. Note-se que na solução proposta as juntas verticais não têm qualquer material de enchimento, contabilizando-se apenas a resistência conferida pelos encaixes macho-fêmea, ver Figura 16b. Comparando os diagramas tensão-deslocamento da solução SipdeCO, ver Figura 15, com a solução tradicional [19], constata-se que a solução proposta é consideravelmente mais dúctil do que a solução tradicional de alvenaria de tijolo de furação horizontal que apresenta um comportamento

extremamente frágil. Na solução proposta há a possibilidade de registo do comportamento após o pico de resistência ser atingido.

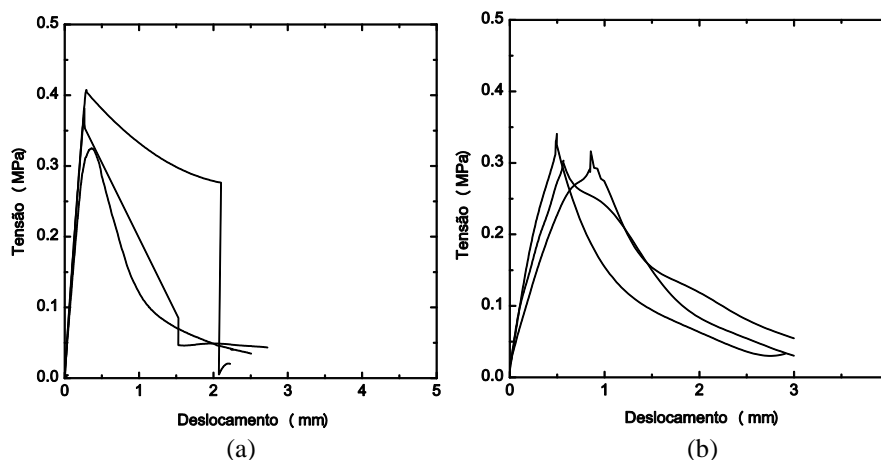


Figura 15 : Diagramas tensão-deslocamento obtidos nos ensaios de flexão da alvenaria; (a) direção paralela às juntas horizontais; (b) direção perpendicular às juntas horizontais



Figura 16 : Modos de rotura em flexão; (a) direção paralela às juntas horizontais; (b) direção perpendicular às juntas horizontais

#### 4.2. Comportamento à compressão

Apesar de os ensaios de compressão uniaxial realizados no âmbito da seleção do material de ligação terem sido efetuados em provetes com dimensões normalizadas (secção 4.4), decidiu-se repetir os ensaios de compressão uniaxial em provetes de maiores dimensões e considerados mais representativos do aparelho de alvenaria. Os provetes utilizados na caracterização em compressão uniaxial têm 1.20m de comprimento e 1.5m de altura, ver Figura 17a. Os ensaios foram efectuados com controlo de deslocamento vertical e a carga foi aplicada sobre um perfil rígido para garantir a uniformização no comprimento e espessura da parede. A instrumentação foi definida de modo a medir os deslocamentos na altura e na parte central da parede. Foram colocados 2 LVDTs em cada face distanciados de 60cm e 1 LVDT em cada face distanciado de aproximadamente a altura da parede. Foi colocado um LVDT horizontal para medir os deslocamentos horizontais e um LVDT no topo da parede para medir o deslocamento total da parede. Foram ensaiados 5 provetes mas apenas se instrumentaram 4 deles. Os diagramas tensão-deslocamento indicados na Figura 17b, considerando que o deslocamento vertical é o deslocamento medido pelo LVDT colocado no topo da parede, são semelhantes aos diagramas obtidos nos provetes mais pequenos. Estes ensaios confirmam que o comportamento em compressão é consideravelmente dúctil, o que está associado à elevada ductilidade do material



compósito em compressão. O modo de rotura dos provetes em compressão caracteriza-se principalmente pelo esmagamento dos blocos nas extremidades, o que poderá também estar associado à influência das fronteiras, ver Figura 17c. O esmagamento dos blocos é acompanhado pela rotura da interface de ligação entre as duas metades de bloco. O dano concentra-se essencialmente na espessura, não sendo visível dano nas faces dos blocos. Este comportamento contrasta com o comportamento em compressão da alvenaria tradicional de tijolo com furação vertical, que apresenta uma rotura muito frágil [19]. Se for considerado o valor característico da resistência à compressão, calculado de acordo com a norma EN1502-1, de 0.78MPa, e comparando com o valor característico apontado por Pereira 2010 [19] para alvenaria de blocos de tijolo de furação horizontal de 15 cm de espessura de aproximadamente de 1.0MPa, conclui-se que a alvenaria de blocos de material compósito apresenta pior desempenho em termos de resistência.

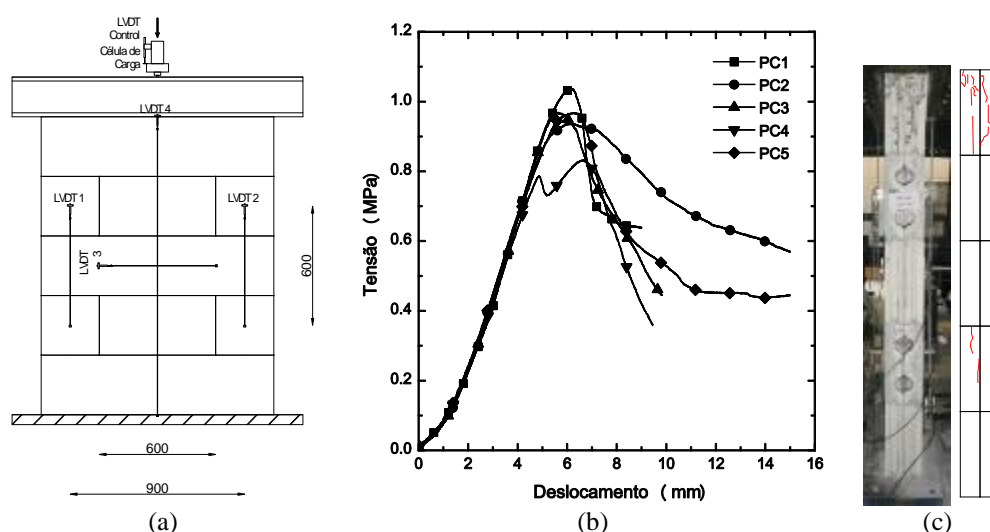


Figura 17 : Detalhes dos ensaios de compressão; (a) geometria dos provetes e instrumentação (dimensões em mm); (b) diagramas tensão-deslocamento; (c) modo de rotura típico

### 4.3. Comportamento a ações de impacto e compressão excêntrica

A diretriz europeia para aprovação técnica de paredes divisórias ETAG [17] define dois estados relativamente aos quais a resistência ao impacto e à compressão excêntrica devem ser verificadas, nomeadamente o estado em que se prevê dano estrutural e o estado em que se pretende assegurar a segurança em serviço. Para cada estado são definidos diferentes níveis de solicitação associadas diferentes categorias de uso, definidas a partir das categorias estabelecidas no eurocódigo 1 [20] de acordo com o uso específico, nomeadamente áreas para uso residencial (categoria A), escritórios (categoria B), áreas de concentração de pessoas (categoria C-C1 a C5), centros comerciais (categoria D) e zonas com provável acumulação de bens (categoria E). Na ETAG [17] as categorias de uso I e II englobam as categorias A e B, a categoria III, as zonas C1 a C4, D e E e a categoria de uso IV inclui as zonas C5, A, B, C1-C4, D e E. A definição das categorias I a IV relaciona-se com a proteção das paredes, que é superior no caso das habitações e com o risco de ocorrer acidentes e haver utilização indevida. A solicitação de impacto inclui duas modalidades, nomeadamente impacto mole e impacto duro com o objetivo de simular a queda de pessoas e objetos. Para simular o impacto mole usa-se um saco de 50kg com ponto de impacto a 1.5m de altura a partir de diferentes alturas originando diferentes energias de impacto. Como exemplo, refira-se que a energia de impacto correspondente à classe de uso I é de 100N.m para o estado associado ao dano estrutural e a 3x60N.m associado ao estado de serviço.

No caso de cargas excêntricas, são definidas duas categorias de carga: categoria a correspondente a pesos elevados (suspensão de 1000N durante 24horas) e a categoria b correspondente a pesos muito pesados (suspensão de 4000N durante 24horas).

Actualmente não existem normas específicas para a realização dos ensaios de impacto e compressão excêntrica, a realização dos ensaios de impacto pode ser efectuada de acordo com as recomendações da EOTA [21].

Os ensaios de impacto estão ainda em progresso e estão a ser efectuados na parede construída na célula de teste construídas para validação térmica e acústica, ver Figura 18.

A parede tem aproximadamente 4.0m de comprimento e 2.7m de altura, representando as dimensões médias de uma parede interior de um compartimento de uma habitação. Dado que o impacto é uma carga dinâmica pretende-se efectuar a medição do deslocamento central no ponto de aplicação da carga de impacto e as acelerações em determinados pontos para obtenção das acelerações e posteriormente dos deslocamentos e conseqüentemente da deformada da parede.

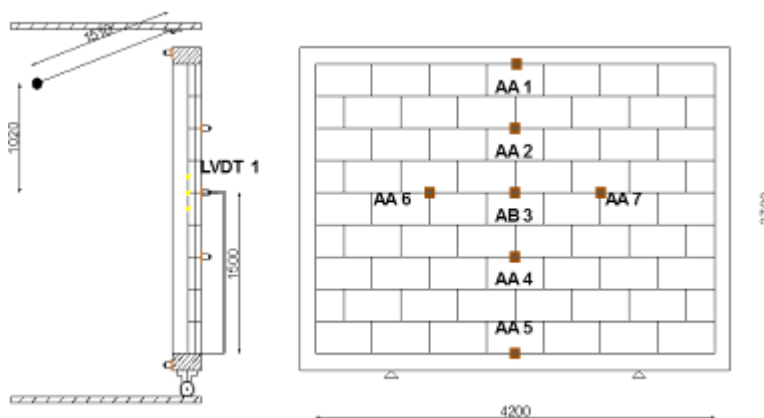


Figura 18 : Geometria da parede para ensaios de impacto e compressão excêntrica

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados resultados do projecto de investigação com o objetivo de propor soluções inovadoras para paredes divisórias tendo como base um material compósito à base de gesso FGD, regranulado de cortiça e fibras têxteis. Para além da formulação e do estudo do comportamento mecânico do material é descrita a solução adoptada para a forma e geometria do bloco, tecnologia de fabrico dos blocos e processo de construção. Adicionalmente, são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização mecânica da alvenaria de blocos flexão e compressão uniaxial. Como principais resultados constata-se que: (1) o valor da resistência à compressão da alvenaria é ligeiramente inferior ao valor correspondente à solução tradicional de blocos cerâmicos de furação horizontal mas tem um comportamento consideravelmente mais dúctil; (2) em termos de resistência à flexão, verifica-se que para além da maior ductilidade a resistência na direção paralela e perpendicular às juntas horizontais apresenta resultados muito razoáveis. O valor da resistência à flexão na direção paralela é superior ao valor obtido em alvenaria tradicional.

Para além da caracterização mecânica apresentada, existe ainda a necessidade de avaliar o desempenho da parede para ações de impacto e compressão excêntrica, o que inclui uma campanha de ensaios em desenvolvimento.

Dos resultados obtidos até agora é possível concluir que do ponto de vista mecânico se trata de uma solução viável e comparável com a solução tradicional de blocos cerâmicos.

## 6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado no âmbito do projecto SipdECO - Desenvolvimento de soluções inovadoras eco-eficientes para paredes divisórias, projecto SI&DT em co-promoção, financiado pela Agência de Inovação.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] I. Gerra, I. Vivar, B. Llamas, A. Juan, J. Moran, Eco-efficient concretes: The effects of using recycled ceramic material from sanitary installations on the mechanical properties of concrete, *Waste Management*. 29 (2009) 643-646.
- [2] V. Corinaldesi, G. Moriconi, Behavior of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate, *Construction and Building Materials*. 23 (2009) 289-294.
- [3] M. Garg, N. Jain, Waste gypsum from intermediate dye industries for production of building materials, *Construction and Building Materials*. 24 (2010) 1632-1637.
- [4] F. Hernandez-Olivares, M.R. Bollati, M. del Rio, B. Parga-Landa, Development of cork-gypsum composites for building applications, *Construction and Building Materials*. 13 (1999) 179-186.
- [5] M. Rio Merino, J. Santa Cruz Astorqui, F. Hernandez-Olivares, New prefabricated elements of lightened plaster used for partitions and extrados, and *Building Materials*. 19 (2005) 487-492.
- [6] S.R. Karade, M. Irle, K. Maher, Influence of granule properties and concentration on cork-cement compatibility, *Holz als Roh- und Werkstoff*. 64 (2006) 281-286.
- [7] S. Jalali, R. Eires, Aires Camões, Experimental characterization of granulated cork lightweight concrete, *Waste Recycling*, (2005) 139-132. ISBN 83-89174-83-9.
- [8] P.J.R.O. Novoa, M.C.S. Ribeiro, A.J.M. Ferreira, A.T. Marques, Mechanical characterization of lightweight mortar modified with cork granulates, *Composites Science and Technology*. 64 (2004) 2197-2205.
- [9] G. Vasconcelos, A. Camões, R. Eires, C. Cardoso, Relatório Técnico de projecto D2.1, 2010.
- [10] EN 13279-2: Gypsum binders and gypsum plasters – Part 2: Test methods, 2004.
- [11] A. Camões, C. Cardoso, R. Eires, S. Cunha, G. Vasconcelos, P. Medeiros, S. Jalali, P.B., Lourenço, FGD gypsum based composite for non-structural application in construction, Portugal SB10, Sustainable Building – Affordable to All, Low Cost Sustainable Solutions, 185-192, 16-18 March, 2010, Faro, Portugal.
- [12] G. Vasconcelos, A. Martins, S. Cunha, A. Camões, P.B. Lourenço, Mechanical behavior of gypsum and cork based composite material, *Materials Science Forum*, 2011. (Artigo submetido para possível publicação).
- [13] EN1015-12 - Methods of test for mortar for masonry – Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates, 2000.
- [14] EN 772-1 - Methods of test for masonry units – Part 1: Determination of compressive strength, European Standard. CEN. Brussels, 2000.
- [15] EN 1052-2 - Methods of test for mortar for masonry: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar, *European Standard*. CEN. Brussels. August, 1999.
- [16] EN 1052-1 - Methods of test for masonry: Part 1 - Determination compressive strength, *European Standard*. CEN. Brussels. August, 1999.
- [17] ETAG 003, Guideline for European technical approval for internal partition kits for use as non-loadbearing walls, 1998.
- [18] EN 1996-1-1 - Eurocode 6 – Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures, *European Standard*. CEN. Brussels. November 2005.

- 
- [19] M. Pereira, Caracterização experimental da resposta mecânica no plano e fora do plano de paredes de alvenaria de enchimento, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia do Porto, 2010.
  - [20] EN 1991-1-1 - Eurocode 1. Actions on structures- Part 1-1: general actions – densities, self-weight, imposed loads for buildings, 2001.
  - [21] EOTA, Determination of impact resistance of panels and panel assemblies, Technical report TR 001, 2003.