

## **Análise do Contributo dos Sistemas Construtivos em Alvenaria Estrutural para a Sustentabilidade dos Edifícios**

Hélder Cardoso<sup>1</sup>, Ricardo Mateus<sup>2</sup>, Graça Vasconcelos<sup>2</sup>

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal*

### RESUMO

A indústria da construção tem um forte contributo para os efeitos negativos provocados sobre o meio ambiente, assim como a nível social e económico. Hoje em dia, a construção continua refém dos métodos construtivos mais tradicionais havendo uma forte resistência à introdução de novas tecnologias, mesmo que estas proporcionem um melhor desempenho ambiental das cidades e da qualidade de vida dos seus cidadãos.

Deste modo, o estudo e aplicação de novos materiais e soluções construtivas tornam-se essenciais para diminuir a utilização de recursos naturais e energia assim como os danos resultantes da sua aplicação.

Assim, com este projeto pretende-se descrever e analisar a contribuição dos sistemas construtivos em alvenaria estrutural para os objetivos da Sustentabilidade dos Edifícios tendo como referência estudos já realizados.

Em conclusão, é esperado que a solução em alvenaria estrutural para além de incluir as características técnicas exigidas, tenha menor impacte ambiental, seja economicamente vantajosa e proporcione bem-estar aos utilizadores do edifício onde possa vir a ser aplicada.

**Palavras-chave:** Soluções Construtivas, Alvenaria Estrutural, Construção Sustentável, Avaliação do Ciclo de Vida

---

<sup>1</sup> Aluno do Mestrado em Sustentabilidade do Ambiente Construído da Universidade do Minho

<sup>2</sup> Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho

## 1. INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural pode ser definida como um conjunto de unidades de alvenaria resistente sobrepostos, solidarizados por meio de um ligante (argamassa), podendo ainda integrar elementos de reforço (varões metálicos, ligadores ou outros) (Lourenço, 1999).

Os valores apresentados para o sistema em alvenaria estrutural são baseados na utilização de um bloco de betão (Bloco BEST) desenvolvido no âmbito do Projeto “ALVEST – Desenvolvimento de soluções de paredes em Alvenaria Estrutural” criado em coautoria pela Universidade do Minho (Projecto Alvest, 2013).

### 1.1. Fases históricas

Inicialmente surgiu o conceito de alvenaria estrutural através da utilização da pedra no seu estado natural e aparelhada na construção de edificações. Mais tarde apareceram as casas de terra, as paredes de adobe com tijolos de barro cozidos ao sol e posteriormente cozidos em fornos, sendo estes alguns dos exemplos históricos da utilização da alvenaria.

No século XVIII e XIX desenvolveu-se o conceito de alvenaria resistente, sendo aplicada em construções como o Panthéon, em Paris, o Túnel sob o Rio Tamisa, em Londres ou a Igreja de Saint Jean de Montmartre, em Paris.

Posteriormente, com as tecnologias do betão e a produção de aço, a alvenaria passou para um patamar secundário, com função apenas de compartimentação.

Em 1951 Paul Haller realizou estudos que culminaram com a construção de um edifício de 13 pisos (41,4m de altura) e paredes de 37 cm de espessura, em Basileia. Obra essa que ainda hoje é considerada o marco da alvenaria estrutural. Este período marca o retorno da investigação e do interesse por esta técnica de construção (Lourenço, 1999).

### 1.2. A alvenaria em Portugal

A nível nacional encontram-se cavernas e grutas que mostram o trabalho realizado pelos povos primitivos com recurso à alvenaria. Do período da Idade Média (séc. V a XV) existem várias obras do Império Romano desde calçadas, castelos, pontes e catedrais. Os materiais aplicados na construção de edifícios de habitação diferiam consoante a zona do País, sendo características as construções em alvenaria de pedra aparelhada em granito na zona norte, sendo que na zona sul era mais frequente a utilização da taipa e de adobe.

Na transição para a Idade Moderna (séc. XV a XVIII) surgiram os castelos, palácios e mosteiros, enquanto na habitação familiar recorria-se à alvenaria de pedra, cantaria e tabique.

Após o sismo de 1755, as estruturas de alvenaria da época pombalina serviram de referência para a construção a nível nacional (LNEC, 2005). Já na década de 30 surgiu o betão armado levando ao declínio deste tipo de edifícios, impulsionando as construções mistas de alvenaria e betão ou as construções metálicas.

## 2. TECNOLOGIA

### 2.1. Tipologias de paredes de alvenaria estrutural

Existem três tipos de soluções de alvenaria estrutural mais usuais que se designam por simples, armada e confinada. A alvenaria simples, tal como pode ser verificado na Figura 2a) caracteriza-se por um conjunto de unidades de alvenaria dispostas de forma definida e ligadas por argamassa, sem recurso a outro tipo de elementos resistentes. Esta deve ter uma aplicação a nível nacional limitada a zonas consideradas de baixa sismicidade (Gouveia et al., 2007). De acordo com a Figura 2b), na alvenaria armada existe reforço através de varões ou redes de aço, por forma a solidarizar a estrutura. Esta solução apresenta melhores características mecânicas e um ótimo comportamento estrutural no que se refere à distribuição de tensões, dissipação de energia e valores últimos da resistência ao corte quando solicitada a ações horizontais (Gouveia et al., 2006). Existe ainda o sistema em alvenaria confinada, que tal como representado na Figura 1c), é baseado em paredes executadas normalmente entre vigas e pilares sem a intenção de se comportarem como uma estrutura rígida ou porticada, sendo que estes elementos de confinamento são executados após a elevação da parede (Gouveia et al., 2007).

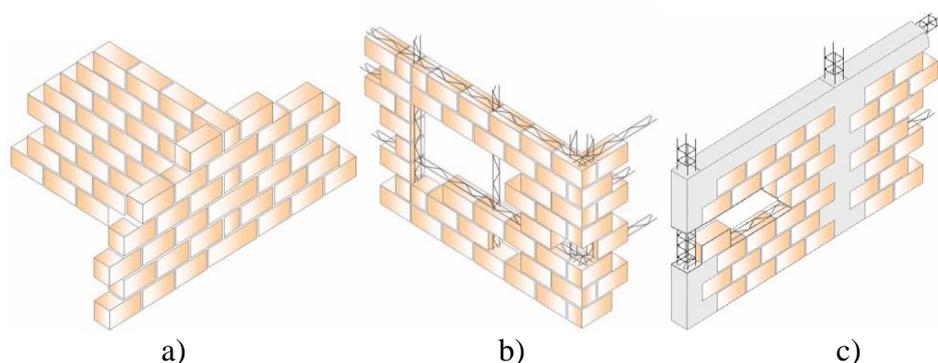


Figura 1 – Tipos de alvenaria; a) simples; b) armada; c) confinada (Gouveia et al., 2007).

### 2.2. Materiais

Para se proceder à análise das possíveis vantagens que um sistema construtivo apresenta, é necessário ter uma referência por forma a perceber as melhorias induzidas. Assim, foi considerado um sistema em alvenaria estrutural de blocos de betão com uma caixa de ar e acabamento em placas de gesso cartonado pelo interior, sendo no exterior aplicado o sistema ETICS<sup>3</sup> (Isolamento XPS e reboco armado) tal como é possível verificar na Figura 4. Como referência considerou-se o sistema construtivo em betão armado com panos em alvenaria de parede dupla de tijolo, isolamento na caixa de ar com XPS e revestimento exterior e interior em reboco, tal como representado na Figura 5.

De salientar que todos os materiais considerados se encontram disponíveis em Portugal independentemente da área geográfica em questão, uma vez que são utilizados na construção frequentemente.

<sup>3</sup> Acrónimo do inglês *External Thermal Insulation Composite Systems*

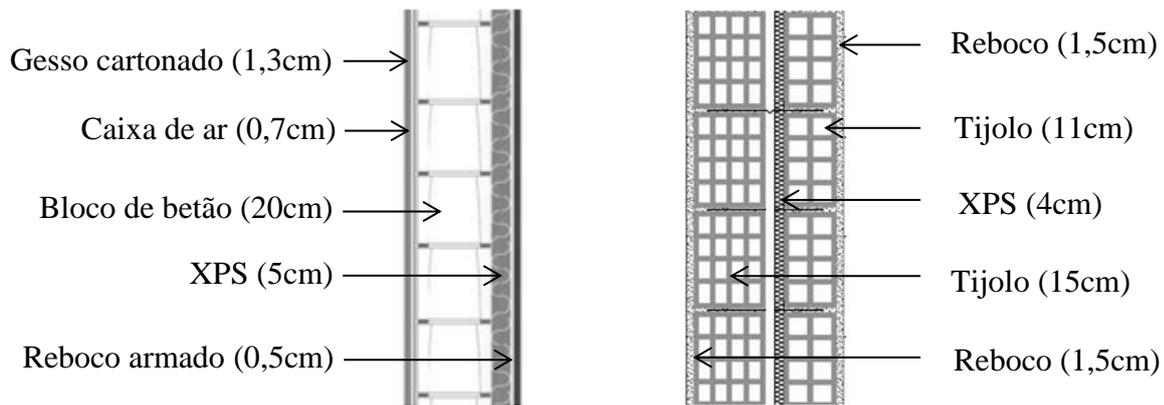


Figura 2 – Constituição das paredes do sistema construtivo em alvenaria estrutural (esquerda) e em betão armado (direita).

### 2.3. Pormenores e processos de construção

O processo e faseamento construtivo entre os dois sistemas é similar, sendo que apresenta ligeiras diferenças, identificáveis na Figura 3. Desde logo para a alvenaria estrutural é exigido que a transmissão das cargas das paredes para o terreno seja feita a partir de sapatas contínuas o que no sistema em betão armado não é exigência, podendo ser feito com recurso a sapatas isoladas, permitindo uma poupança significativa de materiais como betão e aço.



Figura 3 – Sapatas de fundação do sistema em alvenaria estrutural (esquerda) e em betão armado (direita)

No sistema em estudo as paredes são uniformes, sendo que no convencional a transmissão das cargas desde as vigas até às sapatas é feita com recurso a pilares em betão armado, tal como representado na Figura 4.



Figura 4 – Paredes; a) Sistema em alvenaria estrutural; b) Sistema em betão armado.

A condução das cargas impostas pelas lajes é feita recorrendo a vigas cinta (Figura 5a)) onde se inserem as armaduras nervuradas e o enchimento em betão, por forma a que os esforços sejam uniformemente distribuídos por toda a parede, para evitar a concentração de

cargas e problemas a elas associados. Por outro lado, no sistema convencional normalmente recorre-se a vigas (Figura 5b)) em betão armado que descarregam as cargas diretamente nos pilares.



Figura 5 - Colocação de armaduras nas vigas; a) Alvenaria Estrutural; b) Betão armado

As lajes não apresentam diferenças significativas na sua execução dado que tanto as maciças como as aligeiradas (Figura 6) podem ser aplicadas em ambos os sistemas construtivos.



Figura 6 – Laje aligeirada com blocos de betão.

### 3. DESEMPENHO FUNCIONAL

#### 3.1. Desempenho estrutural

Em termos do desempenho estrutural é sabido que no sistema construtivo em betão armado a única limitação é a criatividade, havendo vários exemplos de edifícios em todo o mundo com dezenas de metros de altura. Quanto ao sistema em alvenaria e principalmente em blocos de betão, as referências de aplicação em Portugal ainda são reduzidas, sendo que as que existem são baseadas em edifícios de habitação unifamiliares de apenas 2 ou 3 pisos. Em termos mundiais temos o exemplo do Brasil, onde a acção sísmica não é tida em conta no dimensionamento estrutural e existem edifícios até 10 pisos em alvenaria não armada (Graça, 2007).

#### 3.2. Isolamento térmico e acústico

As paredes da envolvente exterior com a constituição já definida anteriormente apresentam as características térmicas e acústicas indicadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização dos dois tipos de parede.

<b>Tipo de parede</b>	<b>Espessura (cm)</b>	<b>Massa (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>R<sub>w</sub> (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
Alvenaria estrutural	27,5	220	0,45	48,7
Alvenaria tijolo cerâmico	35	181	0,47	45,3

Como é possível concluir, a alvenaria estrutural apresenta um coeficiente de transmissão térmica (U) ligeiramente melhor. A acumular a esse aspeto, o isolamento nesse sistema é feito pelo exterior, o que permite combater eficazmente o problema das pontes térmicas, tendo repercussão nas necessidades energéticas do edifício durante a sua utilização.

Em termos de comportamento acústico e tal como era espectável, o sistema em blocos de betão apresenta um índice de redução sonora (R<sub>w</sub>) superior ao conferido pela parede de referência.

#### 4. DESEMPENHO ECONÓMICO

##### 4.1. Custo de construção

Tendo em conta os valores de construção praticados na Zona Norte de Portugal, é esperado que o custo por m<sup>2</sup> de cada um dos tipos de paredes seja o indicado na Tabela 2.

Tabela 2 – Custo por m<sup>2</sup> de acordo com o tipo de parede.

<b>Sistema construtivo</b>	<b>Custo de Construção (€/m<sup>2</sup>)</b>
Alvenaria estrutural	104
Alvenaria tijolo cerâmico	92

Verifica-se que o custo da parede do sistema em alvenaria estrutural é ligeiramente superior à alvenaria em tijolo cerâmico, muito influenciado pelo custo elevado da aplicação do ETICS.

Por outro lado, é possível perceber que se o estudo fosse feito ao nível do edifício o valor final do sistema em betão armado seria bastante diferente, uma vez que neste caso não estão a ser considerados os elementos estruturais, materiais com um custo elevado e com grande influência no custo final.

#### 5. DESEMPENHO AMBIENTAL

A quantificação do desempenho ambiental para a parede de cada uma das soluções foi baseada em bibliotecas como o *Ecoinvent* e o *IDEMAT 2001* (Bragança, 2011), sendo que apresenta os valores para cada categoria de impacte ambiental indicados na Tabela 3.

Tabela 3 – Quantificação dos indicadores de impacto ambiental das soluções.

Solução	Indicador de Impacte Ambiental*					
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP
Alvenaria estrutural <sup>4</sup>	2.65E-01	5.66E+01	4.61E-06	1.64E-01	1.14E-02	3.10E-02
Alvenaria tijolo cerâmico <sup>5</sup>	6.46E-01	13.2E+01	108E-06	3.73E-01	1.86E-02	6.58E-02

\*ADP (Mj equiv.); GWP (KgCO<sub>2</sub> equiv.); ODP (KgCFC-11 equiv.); AP (KgSO<sub>2</sub> equiv.); POCP (KgC<sub>2</sub>H<sub>4</sub> equiv.); EP (KgPO<sub>4</sub> equiv.).

Verifica-se que em todas as categorias de impacto ambiental analisadas, a parede de alvenaria estrutural apresenta um comportamento superior relativamente à parede em tijolo cerâmico (aplicada no sistema em betão armado).

## 6. ANÁLISE E DISCUSSÃO

Fazendo uma análise geral verifica-se que a solução em estudo é superior à solução de referência em 70% do peso na nota final de sustentabilidade (de acordo com as ponderações consideradas na MARS-SC) tal como é possível analisar na Tabela 4. De salientar que as paredes em alvenaria de tijolo cerâmico apresentam melhor desempenho apenas no custo de construção (aproximadamente metade).

Tabela 4 – Quadro resumo das características dos dois tipos de paredes.

Dimensão	Peso (%)	Indicador	Peso (%)	Valor		Melhor solução	
				Alvenaria estrutural	Alvenaria tijolo cerâmico	Alvenaria estrutural	Alvenaria tijolo cerâmico
Ambiental	40	ADP	12	2.31-1	4.41E-1	X	
		GWP	38	5.41E+1	9.05E+1	X	
		ODP	12	4.03E-6	2.04E-4	X	
		AP	12	1.44E-1	2.4E-1	X	
		POCP	14	1.05E-2	1.28E-2	X	
		EP	12	2.55E-2	3.77E-2	X	
Funcional	30	U	76	0,45	0,47	X	
		R <sub>w</sub>	24	48,7	47,3	X	
Económica	30	CC	100	104	92		X

Para além das vantagens já enunciadas a alvenaria estrutural é caracterizada pela sua simplicidade construtiva, evita a necessidade de construção da parede dupla tradicional, minimiza o uso de cofragens, e como a construção é padronizada minimiza os desperdícios.

Por outro lado, este não é perfeito, apresentando como principal desvantagem a alteração dos elementos estruturais durante ou após a finalização do processo construtivo, como por exemplo aberturas nas paredes estruturais. Assim, nos projetos de alvenaria estrutural devem estar bem definidas todas as condições implícitas na execução do mesmo,

<sup>4</sup> Considerado PExt1 de onde foi deduzido o valor do tijolo cerâmico, e adicionado o tijolo em betão com as dimensões do bloco BEST.

<sup>5</sup> Considerado PExt12.

como também os profissionais envolvidos na elaboração deste tipo de projetos devem ter um conhecimento aprofundado nesta área, por forma a acompanhar o processo e solucionar possíveis problemas (Alves, 2011).

## 7. CONCLUSÃO

Concluindo, a evolução da construção tem de promover o desenvolvimento de novas técnicas construtivas, com o melhor aproveitamento dos materiais face às suas características e à sua racionalização, rapidez no processo construtivo, entre outros aspetos. Nesse ponto de vista, e dada a quantidade de vantagens anteriormente enunciadas prevê-se que o sistema construtivo em alvenaria estrutural possa ser uma das soluções para ir ao encontro daquilo que são os objetivos da construção sustentável. Contudo ainda há um longo caminho a percorrer, não só no estudo e aperfeiçoamento das características deste sistema, mas por outro lado em contrariar a resistência do mercado relativamente a soluções que mesmo sendo inovadoras em vários aspetos, continuam a não ser tidas em conta na altura de projetar.

## 8. REFERÊNCIAS

Alves, J. (2011) - Desempenho sísmico de estruturas de Alvenaria de blocos de betão. Dissertação de Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil: Guimarães (2011).

Bragança, L.; Mateus, R- Avaliação do Ciclo de Vida dos Edifícios: impacte ambiental de soluções construtivas. ISBN 978-989-96543-3-4 (2011).

Gouveia, J.; Lourenço, P. - Avaliação do comportamento de paredes de alvenaria com blocos de betão leve. 4as Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, LNEC, Lisboa (2006).

Gouveia, J.; Lourenço, P.; Vasconcelos, G.; - Soluções construtivas em alvenaria. Congresso Construção 2007 - 3.º Congresso Nacional, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal (2007).

Lourenço, P. - *Dimensionamento de Alvenarias estruturais*. Relatório 99-DEC/E-7, Universidade do Minho, Guimarães (1999). Disponível em [www.civil.uminho.pt/masonry](http://www.civil.uminho.pt/masonry)

LNEC - *A gaiola como génese da construção anti-sísmica*. Pesquisa a 30-09-2014 em [http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/gaiol\\_const\\_sism.html](http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/gaiol_const_sism.html). NESDE, LNEC, Lisboa (2005).

Projecto Alvest, Relatório técnico D5.2 e D5.3 - Desenvolvimento de soluções de paredes em Alvenaria Estrutural (2013).

Vasconcelos, G.; Gouveia, J.; Haach, V.; Lourenço, P. - Alvenaria Armada: soluções inovadoras em Portugal, Seminário sobre Paredes de Alvenaria (2007).