

# Paredes de Alvenaria Armada (I) Possibilidades e Aplicações

Paulo B. Lourenço \*



## Resumo

As paredes de alvenaria representam um elemento construtivo com enorme importância económica mas com patologias recorrentes associadas à ausência de pormenorização e de um responsável claro, entre arquitecto, engenheiro, fornecedor, produtor e construtor. No entanto, a nova regulamentação sísmica (Eurocódigo 8) define claramente que o responsável pela segurança das paredes de alvenaria, ainda que de preenchimento, é o engenheiro de estruturas. Adicionalmente, Portugal possui uma situação sem paralelo nos países desenvolvidos, sendo o betão armado a “única” solução para estruturas de edifícios. Este artigo e um segundo artigo a publicar futura-

mente pretendem contribuir para a alteração da situação actual, demonstrando as possibilidades de aplicações inovadoras e apresentando a regulamentação existente.

## Introdução

Para a realidade portuguesa, verifica-se que os trabalhos de alvenaria, incluindo os respectivos rebocos, correspondem a cerca de 13 a 17 % do valor total da construção [1], um valor anual entre 500 e 1000 MEuro [2]. Este valor só é ultrapassado pelas estruturas de betão. Desta forma, justifica-se a necessidade de investimento no estudo de novas possibilidades para a construção com paredes de alvenaria. Neste contexto, a alvenaria armada representa

um avanço tecnológico significativo para a indústria da construção.

Ao colocar armadura nas juntas horizontais da alvenaria é possível definir paredes com uma capacidade significativa de resistência à tracção. Este novo material composto permite, por um lado, evitar a rigidez de execução e concepção da alvenaria tradicional e, por outro lado, realizar uma construção com fendilhação controlada. Na generalidade dos casos, as novas possibilidades técnicas, arquitectónicas e construtivas da construção em alvenaria armada são obtidas com uma quantidade mínima de armadura colocada nas juntas, tendo em vista controlar a fendilhação das paredes. Este conceito aumenta a qualidade da construção, ao mesmo tempo que conduz a uma

maior economia da construção (de um ponto de vista estritamente técnico e imediato, com as novas possibilidades construtivas, e de um ponto de vista estritamente financeiro, a médio e longo prazo, com a redução das patologias habituais associadas à fissuração dos panos de alvenaria).

Neste artigo apresenta-se a situação do mercado e soluções inovadoras. Num segundo artigo, em separado, apresenta-se o problema sísmico num contexto da nova regulamentação europeia e de responsabilidade civil.

### Anomalias Correntes em Paredes

A importância das paredes na construção é inegável porque os edifícios de habitação representam cerca de 50% do mercado nacional da construção [2]. No entanto, as paredes possuem um desempenho frequentemente desadequado e patologias frequentes. Na Figura 1 verifica-se que estas são responsáveis por 25% das anomalias em edifícios. Das anomalias nas paredes exte-

riores, cerca de 90% estão associadas com fendilhação e infiltrações de humidade.

As paredes de edifícios devem satisfazer diversas exigências funcionais, salientando-se a segurança, a estanquidade à água da chuva, o conforto termohigrométrico e acústico, a durabilidade e a adaptação a movimentos. A solução para a conformidade destas exigências num único elemento construtivo é de resolução complexa, uma vez que as exigências não são consideradas simultaneamente pelos intervenientes envolvidos (arquitecto, engenheiro, construtor, fabricante de materiais, etc.). Refere-se em particular que o desempenho das paredes depende dos sistemas estruturais e de fundações adoptados para o edifício, sendo habitual que as anomalias estejam associadas a um comportamento deficiente de vigas, lajes e fundações, por retracção, fluência, movimentos térmicos, deformações excessivas e assentamentos do terreno.

A experiência seguradora espanhola em paredes de alvenaria [4] demonstra claramente o elevado risco para os intervenientes, uma vez que 20% das reclamações são imediatamente atendidas por comum acordo, enquanto que, das reclamações que transitam para julgamento, 70% são favoráveis ao requerente. O projectista é considerado responsável único em 12% dos casos e co-responsável com os outros intervenientes nos restantes casos.

A situação descrita deveria preocupar os diversos intervenientes, tanto mais que os desenvolvimentos tecnológicos, com recurso à alvenaria armada, permitem soluções inovadoras. A abundância de métodos e materiais novos parece misturar-se com as soluções tradicionais viciadas, devido à habitual inércia do sector de construção. A este respeito, salienta-se os resultados da Bélgica onde as anomalias de fendilhação em paredes se reduziram de 40% para 10% em menos de 20 anos, após a generalização da utilização das armaduras de junta do tipo Murfor [5].

Face à situação actual de anomalias e à experiência dos países europeus referidos, a utilização da alvenaria armada nas juntas deve ser sempre preferida à alvenaria simples. O custo da introdução de armadura nas paredes para controlo de fendilhação na estrutura é inferior a 0.05% do valor da construção (admitindo uma parede de al-

venaria cada 6.0 m, um pé-direito de 2.4 m, um afastamento da armadura de 0.50 m e um valor da construção de 1500€/m<sup>2</sup>), o que representa um valor marginal face ao impacto da fissuração tradicional em paredes. No caso habitual, trata-se da colocação de armaduras em treliça com 4 a 5 mm de diâmetro, a cada 0.40 ou 0.50 m, com 2 a 3 fiadas consecutivas na parte inferior da parede.

Em Portugal, as aplicações com mais impacto decorreram recentemente em panos de paredes divisórias com grandes dimensões. Inúmeras construções, nomeadamente estádios, igrejas, salas de espectáculos ou centros comerciais, exigem divisórias de dimensões apreciáveis. As paredes de alvenaria representam a solução tradicional, com vantagens funcionais relativamente a soluções leves alternativas.

### Materiais

A alvenaria armada é um material composto constituído por unidades (blocos, tijolos, pedra, etc.), argamassa e armadura. No caso da alvenaria, a colocação da armadura pressupõe uma adequação com a técnica construtiva de elevação das paredes. Se se considerarem as juntas como os únicos planos contínuos capazes de permitir armar a alvenaria de uma forma simples, a colocação de armadura conduz a fiadas de material homogéneo com resistência à tracção na direcção horizontal. Por alvenaria armada entende-se neste artigo aquela que está armada regularmente por níveis (fiadas ou juntas), com recurso a armadura de junta. A alvenaria assim obtida possui ductilidade na direcção horizontal, através da resistência à tracção da argamassa das juntas.

A armadura específica para juntas tem de cumprir a norma europeia EN845-3 [6], salientando-se que a utilização de varões correntes não é admitida, resultando num desempenho inadequado face à durabilidade e aderência. Desta forma, a utilização de varões correntes nas juntas não cumpre a regulamentação nem permite assegurar a resistência à tracção da alvenaria. A armadura deve ser do tipo indicado na Figura 2, sendo a armadura do tipo Murfor, em treliça soldada continuamente no mesmo plano, a mais adequada. Por um lado, a sua configuração triangulada torna-a indeformável

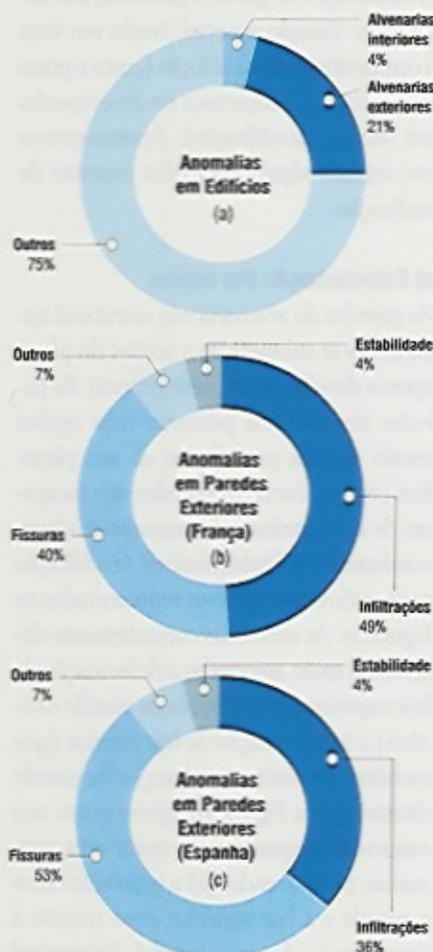


Figura 1 - Importância relativa das anomalias em paredes para (a,b) França e (c) Espanha, semelhante à observada em Portugal [3,4]

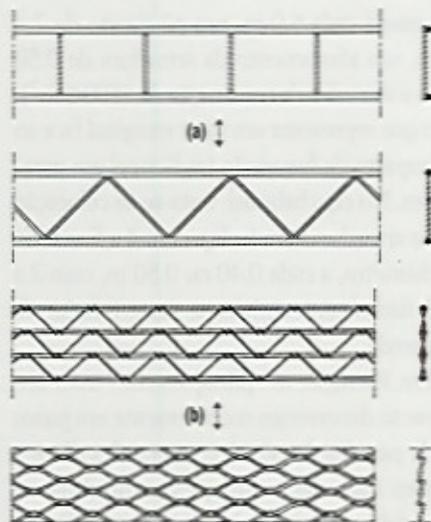


Figura 2 – Armaduras de junta: (a) soldada em escada e em treliça; (b) armadura com amarração contínua e rede de metal expandido

para solicitações no plano horizontal (flexão provocada pelo vento ou sismo) e, por outro lado, a armadura triangulada conduz a uma espessura total mínima. Esta armadura existe com diversos afastamentos entre os varões (de 30 a 280 mm) e diâmetros de 4 e 5 mm, para permitir o ajuste com a espessura da parede. O aspecto da parede de alvenaria armada está ilustrado na Figura 3.

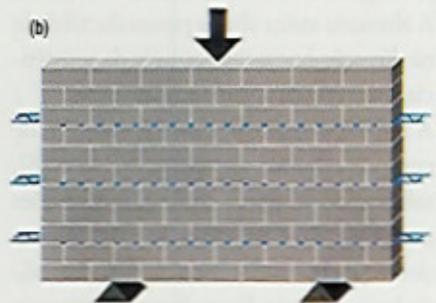


Figura 3 – Alvenaria armada com armadura de junta: (a) detalhe da junta; (b) aspecto da parede

Finalmente, refere-se que a armadura de junta necessita de protecção adequada para impedir a corrosão, uma vez que o recobrimento é limitado e as armaduras são de espessura reduzida. De acordo com o Eurocódigo 6 [7] e com o fabricante [8] reco-

menda-se a seguinte protecção: (a) aço galvanizado, em interiores sem humidade; (b) aço galvanizado e revestido por uma camada epoxy, em interiores húmidos ou exteriores; (c) aço inoxidável, em ambientes muito agressivos.

**Metodologia de Aplicação a Casos Correntes**

Ao colocar armadura nas juntas de alvenaria é possível definir paredes com uma capacidade significativa de resistência à tracção. Este novo material composto, alvenaria estrutural, permite, por um lado, evitar a rigidez de execução e concepção da alvenaria tradicional e, por outro lado, realizar uma construção sem fissuras. Nos casos correntes de controlo de fendilhação e garantia de ductilidade das paredes [7]: “A área da armadura não deve ser inferior a 0.03% e o espaçamento vertical não deve exceder 600 mm”.

Como exemplo, para uma parede com a espessura de 0.15 m, a armadura mínima é dada por  $A_s, \min = 0.15 \times 0.03\% = 0.45 \text{ cm}^2/\text{m}$ . Se adoptarmos treliças com varões de diâmetro  $\phi$ , igual a 4 mm, necessitamos de armaduras afastada a uma distância  $d$ , igual a 0.50 m,

$$A_s = \pi \times \phi^2 / 4 \times (2 \text{ varões}) / d = \pi \times 0.4^2 / 4 \times 2 / 0.50 = 0.50 \text{ cm}^2/\text{m} > A_s, \min$$

A armadura a colocar será, então, uma RND/Z.4-100, cada 0.50 m, onde RND indica “Round”, Z indica galvanizado, 4 indica o diâmetro do varão (em mm) e 100 indica o afastamento entre varões (em mm) [8]. Se a altura dos blocos for de 0.25 m, isto

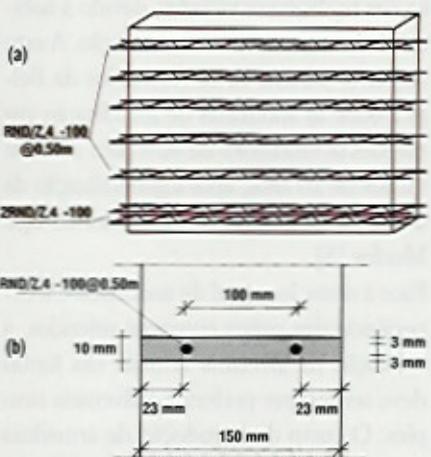


Figura 4 – Armadura para controlo de fendilhação numa parede com a espessura de 0.15 m: (a) alçado da parede; (b) pormenor da junta, em secção transversal

significa cada 2 juntas, mas se a altura dos blocos for igual a 0.20 m, isto significa alternar a colocação cada duas juntas com cada três juntas (ou seja cada 2.5 juntas), ver Figura 4.

O afastamento dos varões longitudinais adoptado é de 100 mm, o que permite um recobrimento da armadura até à face da alvenaria igual a 23 mm, se a junta for faceada com o bloco. Este valor é superior ao mínimo regulamentar de 15 mm [7]. O recobrimento de argamassa abaixo e acima das armaduras colocadas é de 3 mm, superior ao mínimo regulamentar de 2 mm.

Salienta-se, ainda, a colocação de duas camadas de armadura na base da parede (a calcular em função do vão), para permitir o desenvolvimento do efeito de arco no caso de deformação do suporte.

A alvenaria armada com treliças nas juntas suporta deformações impostas, suporta flexão vertical e suporta flexão horizontal.

**Aplicações a Casos Especiais**

A construção de grandes panos em alvenaria exige atenção especial, tendo em vista a competitividade da solução (custo e prazo de execução), a segurança e o desempenho em serviço (fendilhação). Apresentam-se em seguida alguns exemplos recentes de realizações.

**a) Caracterização das acções**

As paredes de alvenaria não estrutural encontram-se submetidas a acções do plano apenas devidas ao seu peso próprio. As paredes de alvenaria possuem uma rigidez muito elevada para flexão no seu plano. Em consequência, as paredes são incapazes de acompanhar a deformação das lajes, conduzindo a fenómenos de fendilhação conhecidos, tais como os representados na Figura 5a. As anomalias correntemente observadas estão associadas à deformação da laje superior (que se apoia na parede divisória) e à deformação da laje inferior (que mobiliza a resistência à tracção da parede divisória). Na Figura 5b, apresenta-se um esquema adequado para evitar esta anomalias, promovendo: (a) a separação entre a parede e a laje superior, com recurso à interposição de um material deformável (por exemplo, poliestireno expandido); (b) a separação entre a parede e a laje inferior,

com recurso à interposição de uma barreira de estanquidade (por exemplo, uma membrana em PVC); (c) a colocação de armadura de junta generalizada, para controlo de fendilhação, e na base, para resistir ao peso próprio da parede. A armadura na base deve ser dimensionada, admitindo a flexão da parede entre apoios como uma viga ou viga-parede, em função da relação vão/altura da parede.

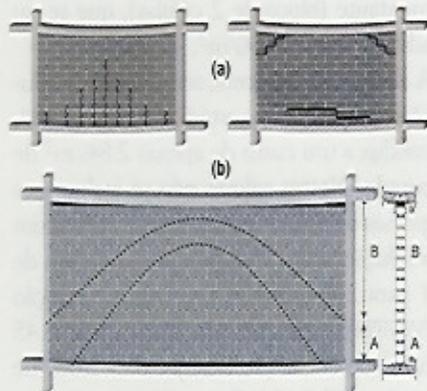


Figura 5 – Comportamento das paredes divisórias: (a) anomalias correntes associadas à deformação excessiva das lajes; (b) solução para evitar anomalias e efeito de arco entre os apoios, para o qual é necessário calcular armadura na base da parede

Relativamente às acções para fora do plano, de acordo com o artigo 24.º do RSA, sugere-se a consideração do valor característico regulamentar para a pressão dinâmica do vento  $w_k$ . O coeficiente de pressão interior  $\delta_{pi}$  mais desfavorável é de 0.3. Para paredes em edifícios até 15 m de altura, na Zona B (generalidade do território) e Rugosidade do Tipo I (zonas urbanas), a acção do vento traduz-se numa acção normal às paredes, no valor de  $p_{wk} = \delta_{pi} \times w_k = 0.21 \text{ kN/m}^2$ .

Para a acção do sismo, sugere-se a consideração simplificada de uma acção uniformemente distribuída normal às paredes, no valor  $0.22 \times \alpha \times \text{peso da parede}$ , artigo 30.º do RSA. Seja uma parede em blocos de betão de 0.20 m e peso específico de  $2.0 \text{ kN/m}^2$ . Neste caso, para Lisboa (Zona A), o valor da acção a considerar é  $p_{ek} = 2.0 \times 0.22 = 0.44 \text{ kN/m}^2$ , o que permite concluir que a acção do sismo é condicionante. No caso do Porto (Zona D), este valor é de  $p_{ek} = 2.0 \times 0.22 \times 0.3 = 0.13 \text{ kN/m}^2$ , pelo que a acção do vento é condicionante.

#### b) Estádios do Euro 2004

Na Figura 6 apresentam-se exemplos de alvenaria armada em três estádios construí-

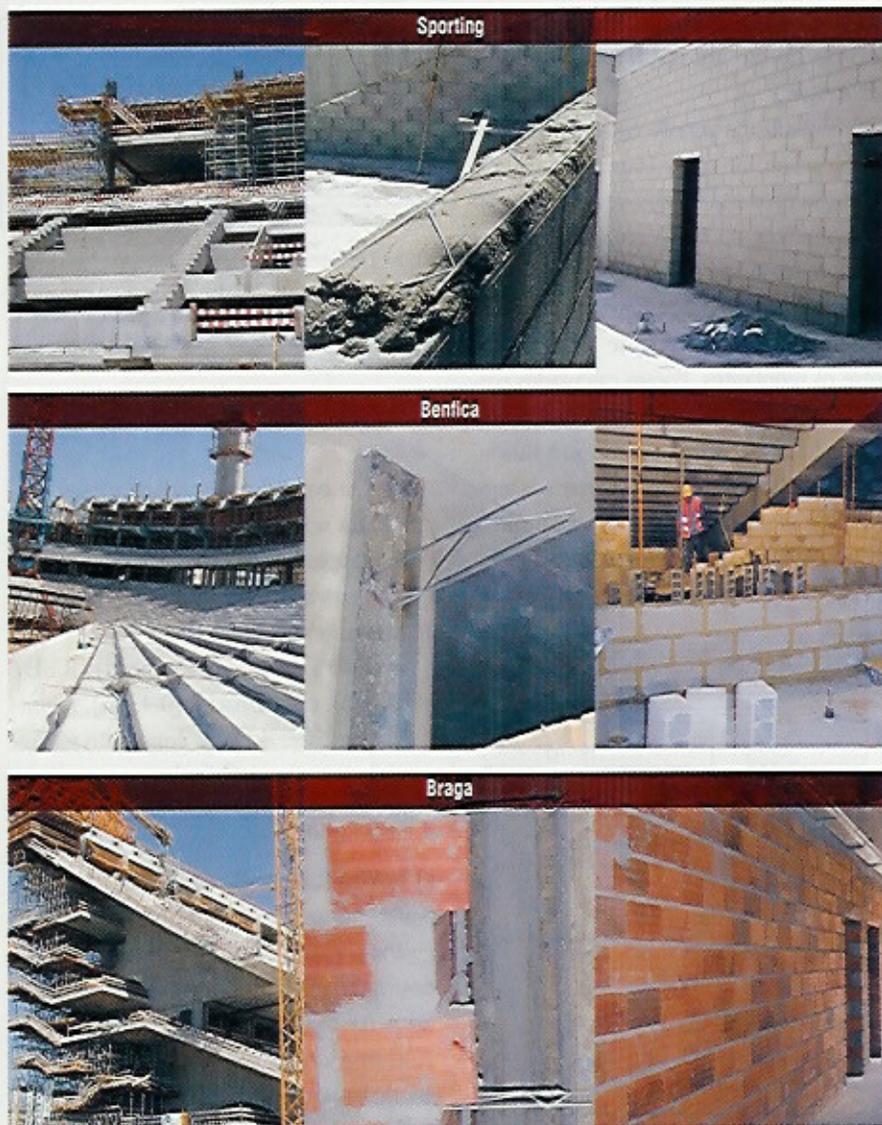


Figura 6 – Imagens e detalhes dos estádios do Euro 2004 com soluções de armadura de junta Murfor®

dos para o Euro 2004. Trata-se de soluções de elevado desempenho e competitivas, face à utilização tradicional de reforços horizontais e verticais com espaçamento reduzido. A armadura de junta é introduzida na argamassa em simultâneo com a construção da parede, não conduzindo praticamente a alterações no processo de construção tradicional de alvenaria. Detalha-se a seguir as soluções adoptadas no novo estádio do Sporting Clube de Portugal. Os materiais utilizados são os seguintes:

- ▶ Blocos em betão  $50 \times 20 \times 20$  - Grupo 2b (EC6) e resistência normalizada à compressão de 7.3 MPa. Junta de assentamento com 1.5 cm e argamassa traço 1:4 (em peso), com cimento 42,5 (Classe M6);
- ▶ Armadura de junta Murfor galvanizada, com 2 varões de 5 mm e afastamento de 0.15 m (RND/Z.5-150);

- ▶ Pilaretes realizados com betão da classe C16/20 (B20) e armadura da classe A500 NR.

As paredes das instalações sanitárias possuem um vão de 10.40 m e uma altura de 4.40 m, com aberturas para as portas de acesso às mesmas. A solução de execução prevista inicialmente incluía uma cinta e um montante aparente, bem como uma cantoneira e ferrolhos, para realizar a ligação destes elementos da parede à estrutura de contorno em betão armado. Na Figura 7(a) ilustra-se a solução adoptada, com recurso a armadura de junta. As vantagens da solução alternativa adoptada são: material homogéneo e resistente à tracção; dispensa de bloco U na viga-cinta e bloco duas células no montante, dispensa de reforços de betão armado. Daí decorre maior rapidez de execução e maior racionalidade da

construção. Na Figura 7(b) ilustra-se o modelo de cálculo adoptado para as acções horizontais.

Para os panos de parede com elevado desenvolvimento em planta (superiores a 30m), a solução proposta baseou-se na colocação de montantes de betão armado inseridos em blocos de duas células. Atendendo a que se utilizou armadura de junta, foi possível aumentar significativamente a separação entre os montantes. Foram calculados painéis "tipo", indicando-se o vão máximo que cada solução consegue vencer. Em função destes resultados, a obra foi preparada analisando o vão livre de cada painel e optimizando a solução face a esse mesmo vão livre (i.e. entre paredes transversais ou pilares).

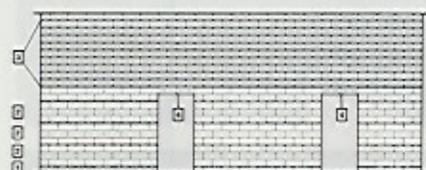


Figura 7 – Paredes de acesso às instalações sanitárias:  
(a) solução alternativa adoptada e  
(b) modelo de cálculo

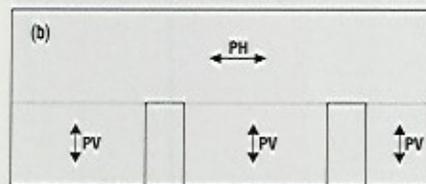


Figura 7 – Paredes de acesso às instalações sanitárias:  
(a) solução alternativa adoptada e  
(b) modelo de cálculo

Foram utilizadas as seguintes soluções tipo (altura máxima das paredes  $h < 4.40$  m), ver também Figura 8:

► Espaçamento montantes até 7.4 m, sem apoio no topo;

Armadura de junta (em geral): RND/Z.5-150, cada 3 fiadas (0.645 m). Armadura na base: 3 fiadas consecutivas. Montantes ( $4\phi 16 + \phi 6 @ 0.15$ );

► Espaçamento montantes até 7.4 m, com apoio no topo;

Armadura de junta (em geral): RND/Z.5-150, cada 3 fiadas (0.645 m). Arma-

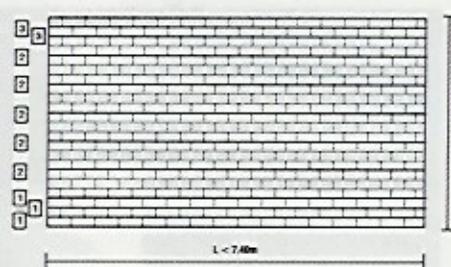


Figura 8 – Exemplo de uma das soluções tipo realizadas no novo estádio do Sporting

adura na base: 3 fiadas consecutivas. Armadura no topo: 2 fiadas consecutivas. Montantes ( $4\phi 10 + \phi 6 @ 0.12$ );

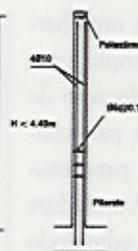
► Espaçamento montante até 9.0 m, com apoio no topo.

Armadura de junta (em geral): RND/Z.5-150, cada 2 fiadas (0.43 m). Armadura na base: 4 fiadas consecutivas. Armadura no topo: 2 fiadas consecutivas. Montantes ( $4\phi 10 + \phi 6 @ 0.12$ ).

### c) Análise Comparada de Custos

Apresenta-se em seguida uma análise de custos para um centro comercial. As paredes foram realizadas com blocos em betão  $50 \times 20 \times 20$  cm, com vãos correntes de 12.0 m e alturas correntes de 5.80 m. As anomalias em construções semelhantes resultaram na prescrição de paredes de alvenaria fortemente armadas. A solução prevista originalmente contemplava montantes com  $4\phi 10$  e cintas de  $\phi 6 @ 20$  afastados no máximo de 3.0 m e cintas com igual armadura colocadas cada 5 fiadas (ou 1.20 m). Adicionalmente, foram previstos ferros embebidos na laje, a cada 0.40 m.

A solução prevista contemplava uma viga-cinta de  $0.20 \times 0.20$  m<sup>2</sup>, com  $A_{st} = 4\phi 10$  e  $A_{tr} = \phi 6 @ 20$  cada 1.20 m. Desta forma, o custo adicional da viga-cinta por m<sup>2</sup> de parede, relativamente a uma parede corrente, pode ser estimado em  $2.61 \text{ kg} \times 0.78 \text{ €} (0.65 \text{ €} \times 1.20, \text{ face à dobragem e amarração}) + 0.0198 \text{ m}^3 \times 99.0 \text{ €} (\text{betão C20/25,}$



S4, agregado máximo 12.5 mm) = 4.0€/m<sup>2</sup>. O montante vertical era idêntico à viga-cinta, cada 3.00 m. O custo adicional é de 1.6€/m<sup>2</sup> de parede. Tem ainda de ser considerado o custo da colocação dos ferros embebidos na laje e o custo adicional dos blocos de alvenaria tipo lintel (bloco em U) e tipo montante (bloco de 2 células), que se vai admitir igual a 2.0€/m<sup>2</sup>.

A alternativa proposta, semelhante às soluções adoptadas nos estádios do Euro 2004, conduz a um custo de apenas 2.8€/m<sup>2</sup> de parede. Nestes valores não se incluem os ganhos de produtividade significativos com a solução alternativa, que são da ordem de 1 para 2 (alternativa proposta vs. solução prevista), e vão ser admitidos iguais 0.45 h/m<sup>2</sup> de oficial (10.5€/h) e 0.27 h/m<sup>2</sup> de servente (8.0€/h). Estes valores conduzem a uma poupança adicional igual a -6.9€/m<sup>2</sup> de parede. De acordo com os valores referidos, para 20.000 m<sup>2</sup> de parede, a alternativa proposta conduz a uma economia igual a  $[(4.0 + 1.6 + 2.0) - (2.8 - 6.9)] \text{ euros/m}^2 \times 20.000 \text{ m}^2 = 234.000 \text{ euros}$ , sendo a parcela mais significativa associada ao ganho de produtividade.

Conclui-se que a solução proposta é economicamente mais vantajosa do que a solução prevista, sendo a economia de custos de 234.000 euros para 20.000 m<sup>2</sup> de parede. A solução proposta é também mais sustentável do que a solução prevista, sendo a redução de emissões de CO<sub>2</sub> de 1.200 toneladas para 20.000 m<sup>2</sup> de parede. A solução proposta é também mais segura do que a solução prevista, sendo a redução de risco de falha de 1.200 toneladas para 20.000 m<sup>2</sup> de parede.

### Conclusões

A armadura para juntas de alvenaria apresenta potencialidades significativas no que respeita ao controlo de anomalias em paredes e ao desenvolvimento de soluções inovadoras. No presente artigo, analisam-se as vantagens do material alvenaria armada e detalham-se algumas soluções recentes.

\* Engenheiro Civil,

Professor Associado com Agregação,

Universidade do Minho,

Departamento de Engenharia Civil,

Azurém, 4800-058 Guimarães,

pbl@civil.uminho.pt – www.civil.uminho.pt/masonry

### REFERÊNCIAS

- [1] Bezega, A. A., Edifícios de habitação: Caracterização e estimação técnica-económica, UL-INCM, 1984.
- [2] Instituto Nacional de Estatística, Estatística da construção e obras públicas, Lisboa, 1997.
- [3] Bureau Securitas – Étude statistique de 12200 cas de sinistres survenus en 1982. Annales de l'ITBTP N° 426. Séries Questions Generales 162. Paris, 1984
- [4] ASEMAS (Asociación de Seguros Mutuos de Arquitectos Superiores) – Los cerramientos de fachadas: una construcción mal entendida. N° 13. 1997.
- [5] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction), Maçonnerie armée: Compte rendu d'étude et de recherche, N° 26-1981. 1981.
- [6] CEN, EN 845-3:2001, Specification for ancillary components for masonry – Part 3: Bed joint reinforcement or steel meshwork, 2001.
- [7] CEN, ENV 1996-1-1:1995, Eurocódigo 6: Projecto de estruturas de alvenaria, 1995.
- [8] Bekaert, Murfor® Reinforcement for masonry, 1997.