

## Situação e potencial das alvenarias em Portugal perante o contexto internacional

MARQUES Rui<sup>1, a</sup>

<sup>1</sup> ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal

<sup>a</sup>marquesmnc@sapo.pt

**Palavras-chave:** Alvenaria estrutural, Tendências, Requisitos, Inovação, Normativa.

**Resumo.** Os edifícios de alvenaria representam metade do parque habitacional português, mas a sua importância relativa para os aspetos sociais é certamente maior. Apesar do passado de construção nacional com alvenaria estrutural e da forte tradição de setores relacionados, particularmente a indústria cerâmica, a técnica está praticamente em desuso. Esta tendência é contrária ao desenvolvimento de soluções e à preponderância de construção com alvenaria em outros países europeus, ainda que em contextos diferentes, e igualmente noutros continentes. Este trabalho indaga inicialmente sobre as razões para o declínio das alvenarias em Portugal, face aos requisitos de segurança, funcionalidade e sustentabilidade dos edifícios. São depois discutidas as possibilidades de reuso das alvenarias, especialmente no contexto da Indústria 4.0, pois que esta solução tem grande potencial para introduzir conceitos inovadores no setor da construção. As hipóteses de construção com alvenaria são igualmente discutidas face aos desenvolvimentos da normativa para projeto de estruturas de alvenaria.

### Introdução

O setor da construção tem sido, nos últimos anos, confrontado com um grande número de novos conceitos a aplicar nas diferentes fases de edificação, desde o projeto até à gestão da construção. Muitas das inovações introduzidas estão relacionadas com o surgimento de altas tecnologias que visam transportar o processo de construção para uma era digital, nomeadamente no contexto da Indústria 4.0. As novas tecnologias são certamente uma mais-valia no setor, mas a sua aplicação necessita de um melhor enquadramento e de uma maior articulação com os processos tradicionais.

Em contrapartida, os materiais e sistemas de construção têm sido desenvolvidos a um ritmo muito mais lento comparativamente às tecnologias digitais, ainda que estudos de novas soluções para potencial industrialização tenham sido realizados. Este é o caso das alvenarias, as quais, em Portugal, são essencialmente usadas como material de preenchimento sem função estrutural. Isto é em contraciclo com o desenvolvimento nos países da Europa Central, e mesmo no mundo em geral, onde se reconhece a importância das alvenarias para uma construção sustentável. Nestes países têm sido desenvolvidos inúmeros sistemas para alvenaria estrutural, adaptados às especificidades locais de cada região, nomeadamente em termos da qualidade possível dos materiais, dos requisitos quer funcionais quer estruturais das paredes de alvenaria, assim como dos aspetos económicos.

O caso de Portugal é enigmático relativamente ao uso das alvenarias. No que respeita à cerâmica, o país é, de acordo com a APICER [1], referência internacional de inovação e desenvolvimento na cerâmica de revestimento, na utilitária e decorativa, na louça sanitária e na cerâmica estrutural de telhas, sem menção às alvenarias. Por outro lado, os blocos de betão têm assumido uma maior preponderância como solução para as alvenarias na construção nacional, tendo em conta aspetos relacionados com a otimização de materiais e com fatores de produção e energéticos. Outro caso enigmático é o uso nacional de alvenaria de pedra, uma vez que Portugal é um dos países com maior património edificado neste material, mas onde a mesma é atualmente usada sobretudo como material de revestimento. Paralelamente a isto, observou-se também uma grande degradação nos processos construtivos das alvenarias. Tudo isto requer, no mínimo, um processo de reflexão.

## Alvenaria estrutural

As estruturas de alvenaria representam metade do parque edificado em Portugal. No entanto, o seu uso em construção nova é praticamente inexistente. Para isto contribuem o limitado conhecimento dos projetistas sobre o comportamento estrutural das alvenarias, a escassez de materiais e sistemas de qualidade no mercado nacional, e o aparente pouco interesse do setor da construção na solução.

Em países com fortes economias, como Alemanha e Brasil, verificou-se grande desenvolvimento de produtos para alvenaria (unidades, argamassas, e materiais e acessórios complementares), assim como de tecnologias para a sua execução. As unidades são produzidas com elevada precisão dimensional e excelente acabamento. Estas podem ser feitas com distintos materiais (cerâmica, argila expandida, betão leve, betão celular autoclavado, etc.), formas e tipos de encaixe. As mesmas podem incorporar soluções de isolamento, bem como apresentar orifícios e encaixes para facilitar a montagem e eventual colocação de armaduras. Para as argamassas, são comuns os sistemas baseados em juntas delgadas de argamassa-cola. Estas soluções são exemplificadas na Figura 1.



Figura 1: Exemplos de soluções inovadoras para alvenaria estrutural

A tendência atual é disponibilizar sistemas integrados de alvenaria, com peças complementares (meios-blocos, blocos de remate, etc.; e.g., Figura 2a), de modo a que a construção seja o mais racionalizada possível, minimizando desperdícios e tempos de montagem [2]. Existem igualmente unidades de alvenaria ecológicas, as quais são produzidas a partir de resíduos de cortiça, gesso, fibras de pneus, etc. No que respeita a produtos complementares, existe uma grande gama de soluções, por exemplo, para execução de paredes falsas para isolamento e ventilação, e de caixas de estores e instalações técnicas. Existem também sistemas para montagem integrada das paredes com outros elementos, como os pavimentos e as coberturas, e.g. Figura 2b, assim como acessórios para execução de lintéis, etc. Para o reforço da alvenaria, existem soluções prefabricadas para armação e integração das paredes com outros elementos estruturais, por exemplo, pilares e lajes.

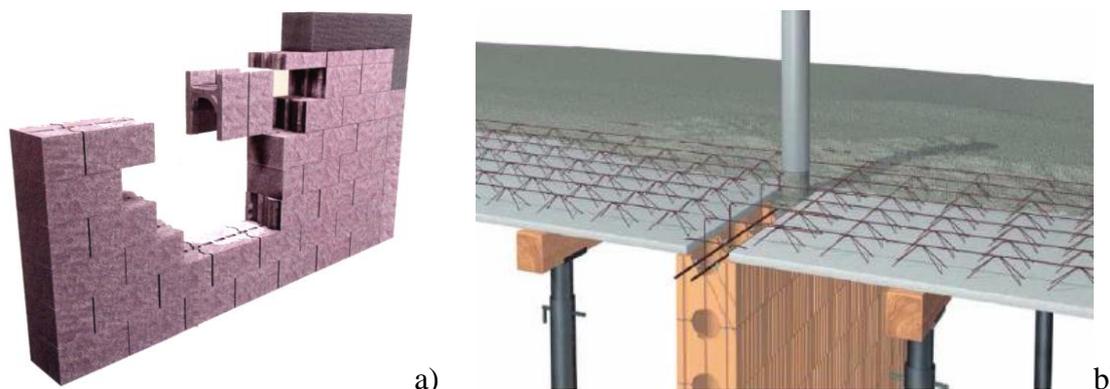


Figura 2: Sistemas industrializados de alvenaria estrutural: a) em blocos de betão e b) com integração de laje

O uso dos sistemas modernos de alvenaria permite aumentar enormemente o arrojo arquitetónico e a beleza dos edifícios, com vãos mais excêntricos e maiores, e com formas complexas e curvas, como observado na Figura 3. Outros aspetos das alvenarias ainda mais evidenciados na construção moderna são a sua solidez, resistência ao fogo, durabilidade, e particularmente a sua funcionalidade. O uso destes sistemas implica, como para outros materiais, um nível adequado de especialização, quer na fase de projeto, com métodos de cálculo apropriados, quer na fase de construção, com a potencial integração de novas tecnologias.

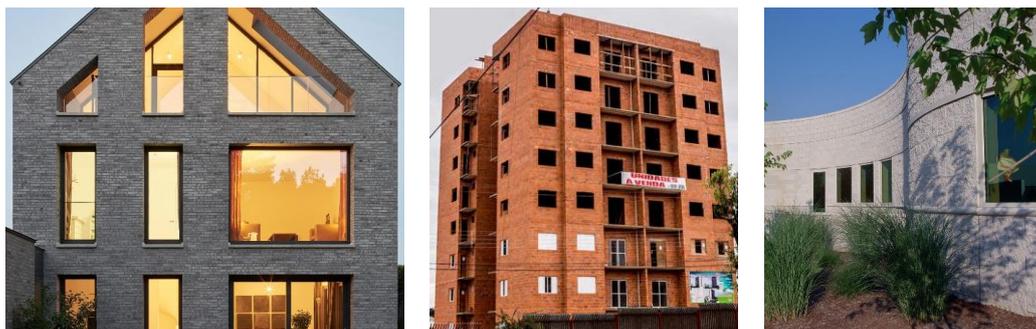


Figura 3: Exemplos de edifícios arrojados em alvenaria estrutural

## Tendências de projeto e construção

O projeto de estruturas tem sido feito desde há séculos, ainda que regras integradoras das diferentes solicitações a considerar tenham apenas recentemente sido desenvolvidas e aplicadas. Atualmente, as maiores exigências estruturais e funcionais dos edifícios tornam a concepção de estruturas de alvenaria ainda mais desafiante. O projeto destas estruturas não se limita ao dimensionamento das secções e à disposição das paredes, mas também ao planeamento do processo construtivo, de modo a ter soluções otimizadas com base no conceito de “sistemas construtivos de alvenaria”. Tais sistemas permitiram o reaparecimento no setor de edifícios verdadeiramente em alvenaria.

Os sistemas referidos focam na racionalização do processo construtivo, particularmente pela idealização de soluções construtivas integradas em alvenaria [3]. No caso da alvenaria estrutural moderna, a elevada qualidade geométrica das unidades e o uso de sistemas modulares permitem um planeamento sincronizado da estrutura e das instalações técnicas (rede elétrica, canalizações, etc.). O desenho estrutural consiste principalmente na otimização do arranjo dos blocos (e.g., Figura 4) em conjugação com as instalações técnicas, de modo a permitir elevados rendimentos e reduzido desperdício de material. As ações sísmicas colocam certamente restrição ao projeto de estruturas de alvenaria, mas soluções sismo-resistentes têm igualmente sido desenvolvidas, e.g. [4].

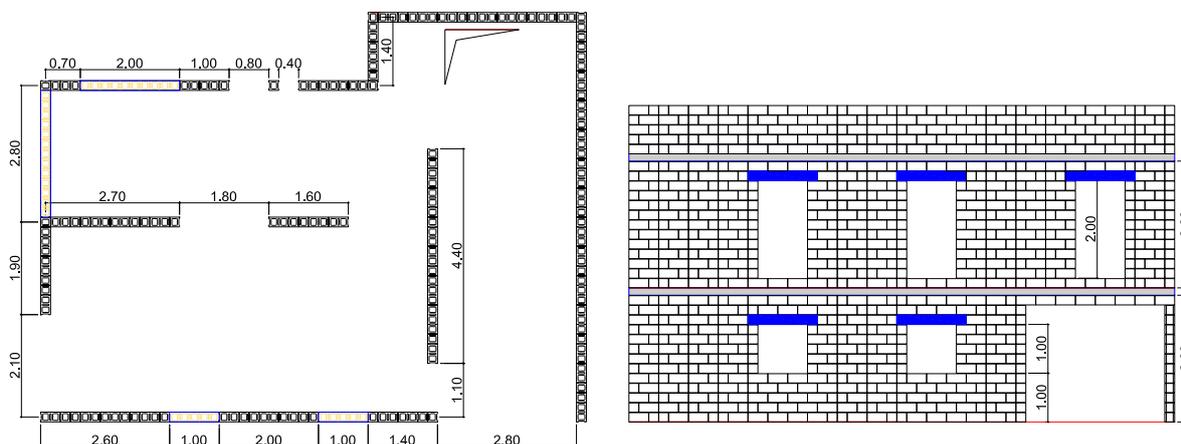


Figura 4: Modulação de um sistema de alvenaria com blocos de betão

O uso de paredes de alvenaria com função de preenchimento em estruturas de betão armado revelou-se uma tendência negativa, uma vez que levou à degradação dos processos construtivos das alvenarias. Os casos de parede de preenchimento em construção reticulada e de estrutura resistente em alvenaria simples são ilustrados na Figura 5. Estudos realizados evidenciam a vantagem de usar alvenaria estrutural face a estruturas reticuladas, para edifícios de pequena a média altura, e.g. [5]. De modo a garantir as exigências térmicas, a solução que emprega tijolo vazado tradicional obriga à construção de dois panos de alvenaria, ao preenchimento parcial da caixa-de-ar com isolamento térmico e à resolução das pontes térmicas. Por outro lado, a solução em alvenaria simples com uso de tijolos estruturais e de elevada eficiência térmica obriga apenas à simples montagem da parede, usualmente com blocos de encaixe que aumentam a produtividade, evitando pontes térmicas. Outros requisitos funcionais relativamente aos edifícios de alvenaria serão discutidos na secção seguinte.



Figura 5: Soluções de paredes de a) preenchimento e de b) alvenaria estrutural. Para quê paredes de preenchimento quando podemos ter paredes resistentes?

As novas tendências arquitetônicas, quer estéticas (e.g., corpos excêntricos e formas curvas; ver Figura 6) quer funcionais (e.g., iluminação e espaços adaptáveis) representam grandes desafios para a indústria da construção e para os projetistas estruturais. Estas implicam uma evolução paralela dos métodos de cálculo e dos processos construtivos para as estruturas. A falta no contexto nacional de documentação técnica e normas que suportem o projeto de alvenaria estrutural é um dos aspetos limitadores do seu uso. O enquadramento das estruturas de alvenaria na regulamentação europeia é na realidade um problema global, mas nem por isso restritivo da sua aplicação na Europa. Na recente revisão dos Eurocódigos, a norma para projeto de alvenaria foi ajustada para permitir uma aplicação mais sustentada da solução, num compromisso entre a complexidade de resultados de investigação, o pragmatismo da experiência e as aptidões dos projetistas.



Figura 6: Exemplos de construções arrojadas em alvenaria estrutural

## Requisitos dos edifícios

A arquitetura atual abrange um vasto conjunto de materiais para a construção de edifícios, embora haja uma certa prevalência de determinados materiais devido a práticas e fatores locais, seja por razões estéticas, culturais, comerciais, econômicas, energéticas, relacionadas a riscos geográficos, industriais e espaciais. Madeira, aço, betão e alvenaria são geralmente as opções mais comuns para os materiais estruturais dos edifícios. Diferentes opções podem ser consideradas, mas o uso dos diferentes materiais deve, em qualquer caso, ser ponderado face aos requisitos básicos exigidos [6]. A integração dos valores de satisfação destes requisitos pode ser tomada como uma medida da sustentabilidade da solução, tendo em consideração a otimização das necessidades das pessoas e da sociedade durante o ciclo de vida dos edifícios. Os requisitos estruturais e funcionais a considerar para a solução construtiva de um edifício são a seguir enumerados (cada requisito é rotulado com uma abreviação), e brevemente discutidos com referências ao caso da alvenaria.

1. Resistência e estabilidade (REST): A alvenaria possui uma resistência relativamente limitada, sobretudo a esforços de tração, que deve ser tida em conta no projeto. O carregamento excêntrico, muito comum em estruturas modernas, pode também causar uma redução considerável da capacidade de carga das paredes.

2. Durabilidade (DURA): As estruturas de alvenaria apresentam em geral excelente durabilidade comparativamente a outros materiais. As principais patologias estão relacionadas com outros materiais que complementam a solução construtiva, por exemplo o aço de armaduras ou a madeira em carpintarias.

3. Economia (ECON): Os materiais de alvenaria, não sendo os mais baratos, resultam em construções relativamente económicas, nomeadamente em comparação com as estruturas reticuladas, nas quais a quantidade de aço onera os custos, e com as estruturas de madeira no que respeita aos custos de manutenção.

4. Conforto, iluminação e ventilação (COIV): Os edifícios de alvenaria são genuinamente confortáveis aos diferentes sentidos humanos, particularmente em termos visuais e de conforto higrotérmico. Nas construções modernas, as possibilidades de iluminação natural e de ventilação foram muito melhoradas.

5. Resistência ao fogo (REFO): A ação do fogo é especialmente demandante para qualquer construção. A alvenaria é possivelmente o material com melhor resistência ao fogo. Ainda assim, as estruturas de alvenaria devem ser projetadas de modo a que preservem a sua função de suporte de carga durante a exposição ao fogo.

6. Isolamento sonoro (ISOS): Os edifícios de alvenaria apresentam reduzido ruído estrutural. A capacidade de isolamento acústico foi igualmente potenciada pelo desenvolvimento dos sistemas modernos de alvenaria. A tendência de materiais mais leves foi de certa forma contrabalançada pela integração de forros acústicos.

7. Resistência ao tempo e à humidade (RETH): A exposição ao tempo é um fator condicionante da durabilidade das construções. As alvenarias podem ser bastante afetadas pelos fenómenos de absorção de água e humidade ascensional, em termos de resistência e patologias associadas, tais como eflorescências e dano nos revestimentos.

8. Isolamento térmico (ISOT): O desempenho térmico das alvenarias está muito dependente dos materiais e soluções construtivas. Os sistemas modernos de alvenaria, com incorporação de isolamento, permitem fazer face a gradientes térmicos elevados, proporcionando ambientes otimizados no balanço de temperaturas.

9. Estética e arrojo arquitetónico (ESAA): O desenho da alvenaria estrutural tem sido bastante limitado pela conveniência de regularidade face às ações sísmicas. Este talvez seja o maior desafio, mas os sistemas modernos permitem já o projeto de edifícios com corpos excêntricos e formas curvas, conforme já ilustrado atrás.

10. Requisitos ecológicos (RECO): O eco desempenho resulta da integração de fatores relacionados à circularidade de materiais, energética, económica, etc. Há soluções de alvenaria em que a ecologia foi mote para a solução, mas os sistemas modernos de alvenaria são evidenciados como soluções sustentáveis, e.g. [7].

De modo a ter uma ideia global do desempenho dos materiais mais comuns relativamente aos requisitos enumerados, é apresentada, na Tabela 1, uma classificação (definida a critério do autor) em que se pontua cada material de acordo com a ordem em que o mesmo é classificado em cada rubrica. É depois calculado o desempenho global, somando as pontuações para os vários requisitos. A diferença de classificação global entre os diferentes materiais não é significativa, o que reforça a importância do desenvolvimento e competitividade na concepção de uma solução construtiva.

Tabela 1: Classificação de materiais de construção relativamente aos requisitos para os edifícios

	REST	DURA	ECON	COIV	REFO	ISOS	RETH	ISOT	ESAA	RECO	Global
Madeira	2	2	5	5	3	5	2	5	3	5	37
Aço	5	4	2	4	2	2	5	2	4	3	33
Betão	4	3	3	3	4	4	3	3	5	2	34
Alvenaria	3	5	4	2	5	3	4	4	2	4	36

Classificação: 5 = Excelente, 4 = Muito bom, 3 = Bom, 2 = Razoável.

## Inovação na construção

O termo “inovação” refere-se a uma descoberta, mas só o será verdadeiramente se tiver utilidade. No setor da construção, diferentes conceitos de inovação têm sido introduzidos nos últimos anos, particularmente no contexto da Indústria 4.0. O setor das alvenarias pode assumir, a este propósito, um papel relevante no sentido de introduzir procedimentos inovadores na indústria da construção. As principais tendências de inovação com aplicação às alvenarias são [2]:

1. Biomimética: projeto e construção com base nas estruturas biológicas da natureza.
2. Tecnologias digitais: uso de soluções como robôs, sensores e inteligência artificial.
3. Construção verde: projeto e construção com soluções sustentáveis e amigas do ambiente.
4. Construção modular e prefabricada: fabricação de sistemas prontos a ser montados em obra.
5. *Building Information Modelling* (BIM): criação e gestão de informação para os processos de construção.

A Indústria 4.0 engloba a automação e a tecnologia da informação, assim como as principais inovações tecnológicas nestes campos. No entanto, o seu verdadeiro foco é a melhoria da eficiência e da produtividade nos processos da indústria. Os intervenientes nos processos de concepção dos edifícios podem tirar partido das referidas tendências de inovação para transportar o seu projeto e a sua construção para uma era digital. Exemplos disso são o desenvolvimento de formas inspiradas na natureza, assim como de sistemas modulares e prefabricados, e numa nova dimensão, o uso de robôs e soluções BIM, respetivamente nos processos de construção e de gestão da informação (Figura 7); ver [8].

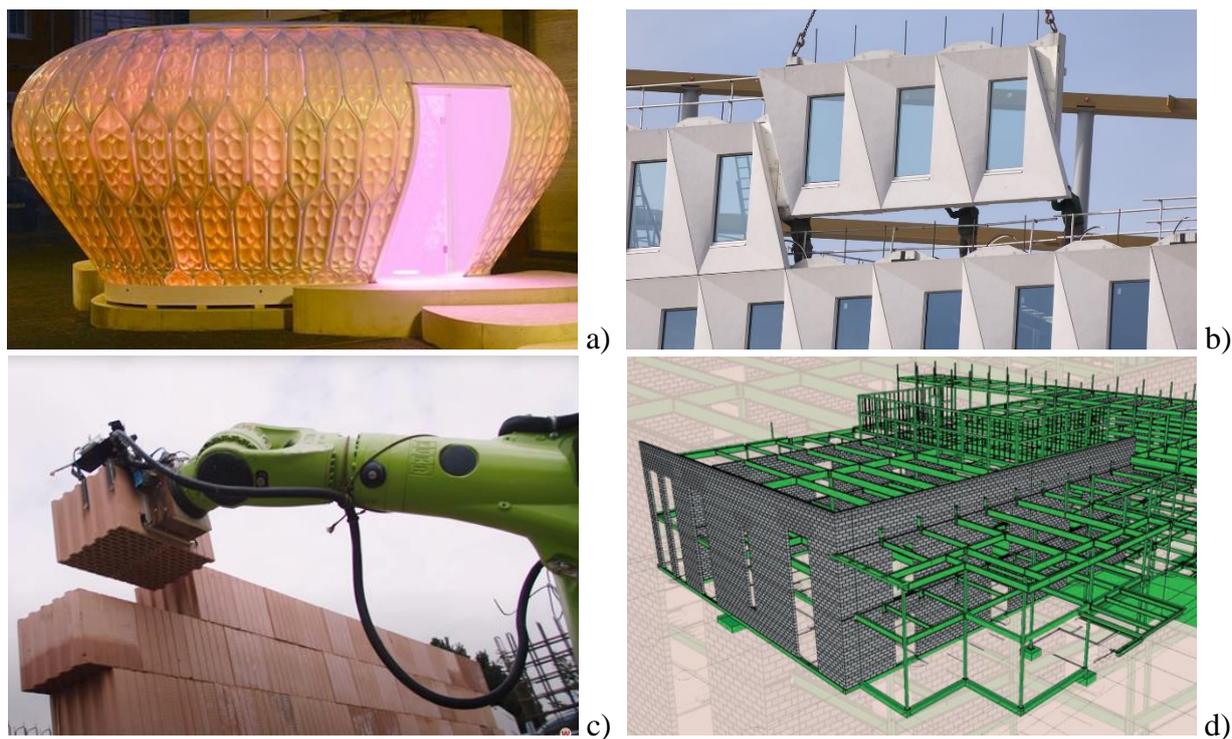


Figura 7: Tendências inovadoras na construção com alvenaria: a) bio inspiração, b) prefabricação, c) robótica e d) BIM

Na corrente de novas tendências e tecnologias, muito diversificados produtos e soluções para construção com alvenaria têm sido desenvolvidos, para atender aos aspetos estruturais de resistência (e.g., face a ações de sismos e furacões) e aos requisitos funcionais (e.g., de eficiência energética e térmica). Na procura de satisfazer estes requisitos, assim com os outros referidos anteriormente, alguns desafios já foram vencidos, tais como a possibilidade de construir edifícios relativamente altos, estruturas de alvenaria com grandes vãos, e edifícios com formas complexas (Figura 8). A sustentabilidade de aplicação das novas tecnologias requer, no entanto, um melhor enquadramento e articulação das mesmas com os processos tradicionais de construção, uma vez que dificilmente todo o processo de concepção poderá ser realizado com altas tecnologias. A evolução terá de ser gradual e progressivamente abrangente.



O projeto de estruturas de alvenaria é regulado na generalidade pela Parte 1-1 do Eurocódigo 6 (NP EN 1996-1-1:2005) [10], cuja correspondente versão europeia foi recentemente revista, de acordo com a estrutura apresentada na Figura 10; ver [11]. Procurou-se obter uma norma mais bem articulada e harmonizada relativamente a aspetos gerais dos ECs, mas igualmente em relação a tópicos específicos do projeto com alvenaria. Aspetos relevantes que foram abordados na revisão da norma com vista à integração de novas soluções no projeto foram:

- A formulação da resistência ao corte, com vista a introduzir regras de cálculo que considerem as especificidades de materiais recentemente usados nos edifícios de alvenaria, por exemplo, membranas de impermeabilização e argamassa-cola em juntas.
- A estabilidade fora do plano, para a qual os procedimentos para consideração dos efeitos de 2ª ordem, particularmente presentes em construções modernas devido às condições de esbelteza e excentricidade [12], foram revistos relativamente ao fator de redução da capacidade (Figura 11).
- A adição de regras para alvenaria confinada, solução que é semelhante ao sistema de estruturas reticuladas, e por isso apresentando potencial de aplicação. A tipologia de alvenaria confinada foi profundamente revista na norma, onde se destacam novas regras de cálculo ao corte e à flexão [13].

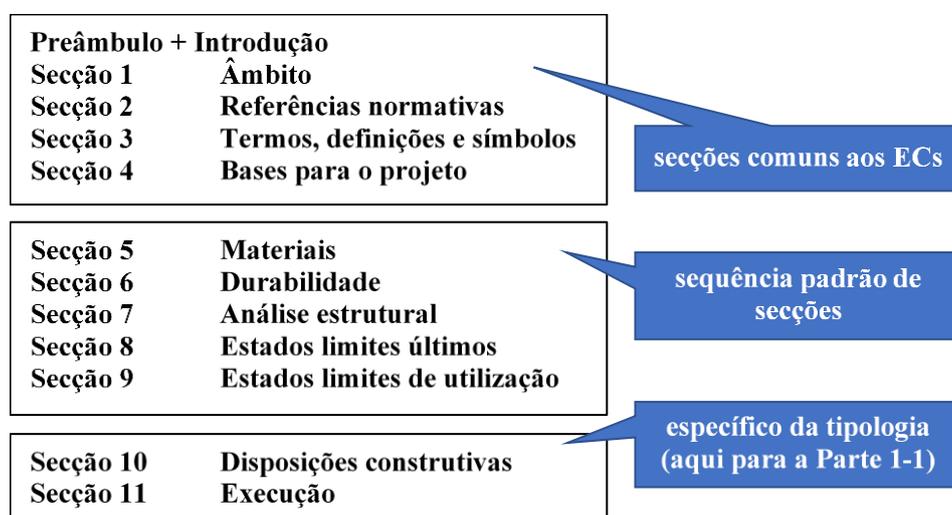


Figura 10: Estrutura da versão revista da Parte 1-1 do Eurocódigo 6 (prEN 1996-1-1)

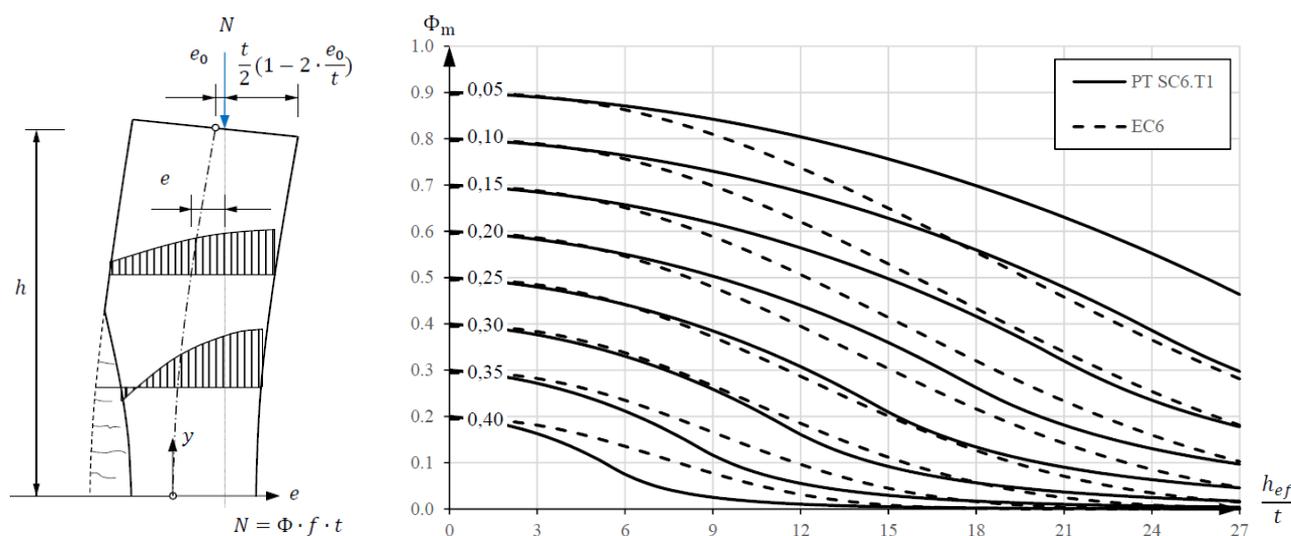


Figura 11: Cálculo do fator de redução da capacidade devido aos efeitos de 2ª ordem (PT SC6.T1 corresponde à nova proposta) [11]

No Eurocódigo 6, o procedimento de projeto é baseado essencialmente num cálculo aos estados limites, para verificar que um efeito aplicado a um elemento é inferior à sua resistência. O trabalho de revisão da norma permitiu, no entanto, abrir horizontes com vista à incorporação de procedimentos de cálculo baseados no desempenho, particularmente em articulação com a norma de projeto sísmico, o Eurocódigo 8 (NP EN 1998-1:2010) [14].

## Notas finais

Os sistemas de alvenaria moderna são uma solução potencialmente vantajosa e comprovadamente sustentável para a edificação. A solução permite tendências modernas e obedece a requisitos atuais para a construção. As ações sísmicas não são, em geral, demasiado limitadoras da solução. As alvenarias têm também grande potencial para a introdução de conceitos de inovação no setor.

Um enorme trabalho tem sido realizado internacionalmente em investigação, desenvolvimento de soluções construtivas, normas e tecnologias para implementação da alvenaria estrutural. No contexto nacional, o emprego da alvenaria como uma solução estrutural necessita ser reconsiderado, o que será apenas possível com a sensibilização de todas as partes interessadas.

## Referências

- [1] APICER, *Cerâmica Portuguesa: tradição e inovação*, Associação Portuguesa das Indústrias de Cerâmica e Cristalaria, Coimbra (2016).
- [2] R. Marques, P.B. Lourenço, *Inovação e projeto de alvenaria estrutural segundo o Eurocódigo 6*, *Construção Magazine*, 101 (2021) 16–19.
- [3] G.A. Parsekian, A.A. Hamid, R.G. Drysdale, *Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural*, EdUFSCar – Editora da Universidade Federal de São Carlos, SP, Brasil (2012).
- [4] R. Marques, *Metodologias inovadoras no cálculo sísmico de estruturas em alvenaria simples e confinada*, Tese de doutoramento, Universidade do Minho, Guimarães (2013).
- [5] R. Marques, P. Torre, P.B. Lourenço, *Construir com alvenaria estrutural: vencer a crise com construção mais eficiente*, *INFO - Ordem dos Engenheiros Região Norte*, 27 (2012) 62–64.
- [6] A.E.D. El-Alfy, *Design of sustainable buildings through Value Engineering*, *Journal of Building Appraisal*, 6 (2010) 69–79.
- [7] I. El-Adaway, T. Breakah, S. Khedr, *Brick masonry and sustainable construction*, in *ICSDC 2011: Integrating Sustainability Practices in the Construction Industry*, pp. 524–534 (2012).
- [8] P. Roberts, *Innovation in Masonry Today*, Keynote in the 13<sup>th</sup> North American Masonry Conf., Salt Lake City, Utah (2019), <https://masonrysociety.org/wp-content/uploads/2019/06/Keynote-Address-by-Peter-Roberts-Tuesday-Morning.pdf>, acessado em 25/10/2022.
- [9] MOPTVDU, *Manual técnico: Sistema constructivo bloque panel*, Ministerio de Obras Públicas, Transporte y de Vivienda y Desarrollo Urbano, Proyecto TAISHIN Fase II, San Salvador, El Salvador (2010).
- [10] IPQ, *Eurocódigo 6 – Projeto de estruturas de alvenaria - Parte 1-1: Regras gerais para estruturas de alvenaria armada e não armada*, NP EN 1996-1-1:2005. Instituto Português da Qualidade, Caparica (2005).
- [11] P.B. Lourenço, R. Marques, *Design of masonry structures (General rules): Highlights of the new European masonry code*, Keynote in the 17<sup>th</sup> International Brick/Block Masonry Conference, Kraków, pp. 3–17, CRC Press/Balkema, Leiden (2020).
- [12] T. Bakeer, W. Jäger, *Buckling of reinforced and unreinforced masonry walls - A unified solution for Eurocode 6*, in *Proceed. of the 13<sup>th</sup> Canadian Masonry Symposium*, Halifax (2017).
- [13] R. Marques, P.B. Lourenço, *Structural behaviour and design rules of confined masonry walls: Review and proposals*, *Construction and Building Materials*, 217 (2019) 137–155.
- [14] IPQ, *Eurocódigo 8 – Projeto de estruturas para resistência aos sismos - Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios*, NP EN 1998-1:2010. CT 115 (LNEC), março de 2010. Instituto Português da Qualidade, Caparica (2010).