

Avaliação estrutural expedita de edifícios antigos de alvenaria

Luís Miguel Soares Martins | ARUP (Londres) | Luis.Soares-Martins@arup.com

José Avelino Loureiro Moreira Padrão | DEC, ESTGV, IPViseu | jpadrao@estv.ipv.pt

A realidade dos centros urbanos degradados, e especialmente dos centros históricos, é preocupante no que toca à segurança das pessoas e bens que neles habitam e circulam, dada a falta de manutenção dos mesmos, a ocorrência de intervenções ao nível estrutural que danificam/desvirtuam as soluções originais, e por vezes, deficiências estruturais inerentes ao método construtivo originalmente utilizado. Os esforços iniciados em tempos recentes no sentido de uma melhoria da segurança estrutural dos centros históricos são relevantes, mas ainda insuficientes num panorama nacional. A generalidade dos edifícios presentes nestes agregados urbanos são construções não monumentais, sem características singulares que os destaquem dos restantes, mas que no entanto transformam os centros históricos, desde os mais modestos e simples até aos mais belos e complexos, em património a preservar para as gerações futuras [1].

Dado este cenário de enorme mercado potencial para a reabilitação, é pertinente uma avaliação dos métodos de análise estrutural dos edifícios antigos, nomeadamente dos constituídos por alvenaria simples. Entre os métodos actualmente disponíveis ao projectista encontram-se alguns, de fácil e rápida aplicação, capazes de fornecer resultados fiáveis sobre a performance das estruturas em alvenaria que mais comumente se encontram nos edifícios antigos. A necessidade de aliar rapidez no projecto de reabilitação à procura constante e premente de rigor e segurança nos resultados obtidos, tornam estas ferramentas apetecíveis dada a escassez de

recursos (económicos e de pessoal devidamente qualificado) actualmente disponíveis.

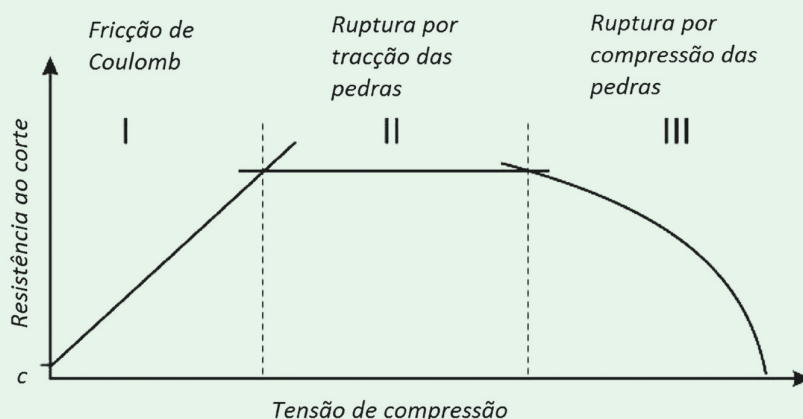
Métodos de avaliação simplificada de edifícios de alvenaria

A avaliação estrutural de qualquer estrutura começa com a análise aos seus materiais constituintes. Enquanto nas estruturas modernas os materiais utilizados estão perfeitamente caracterizados, dada a regulamentação existente, tal não acontecia em tempos passados. É assim importante proceder a ensaios que permitam determinar as características mais

importantes das alvenarias, tais como resistência à compressão, coesão, ângulo de atrito e módulo de elasticidade. Dado que não é por vezes possível realizar campanhas de ensaios exaustivas que permitam conhecer com segurança as propriedades da alvenaria e dos seus constituintes, foram desenvolvidas algumas expressões que ambicionam determinar a resistência à compressão uniaxial e ao corte de alvenarias de pedra [2].

A determinação teórica da resistência à compressão de alvenaria de pedra, a partir das propriedades dos seus componentes, tem sido alvo de interesse, principalmente para aplica-

1 | Zonas do modelo de rotura de Berndt, adaptado de [2].



ção em pontes de alvenaria, onde a extração de carotes para ensaios é por vezes difícil. As expressões mais comuns [3] [2] permitem obter resultados com elevada dispersão de valores, o que levanta sérias dificuldades na sua aplicação prática à generalidade dos casos. Existem no entanto alguns tipos de alvenaria em que os resultados obtidos são bastante próximos dos reais, tais como em alvenarias de cantaria e de pedra aparelhada [2].

A generalidade dos modelos atrás citados não entra em linha de conta com a tipologia da alvenaria, ou seja, as relações espaciais entre os seus componentes, bem como o grau de regularidade da alvenaria, pois a organização interna dos componentes da alvenaria influencia grandemente a capacidade resistente à compressão. Alguns dos modelos mais importantes que têm em conta as dimensões dos componentes da alvenaria, bem como as suas dimensões relativas, são os de Mann, Berndt e Ohler [3]. Outro aspecto importante é a não consideração dos vazios (sempre presentes nas alvenarias reais), já que estes alteram significativamente a distribuição interna de esforços, diminuindo a capacidade resistente da alvenaria.

A determinação teórica da resistência ao corte de alvenaria é significativamente mais fiável que a respeitante à resistência à compressão. O comportamento mecânico da alvenaria ao corte pode ser descrito de forma similar ao de um solo, através de um valor de resistência ao corte em tensão vertical nula (coesão) e um incremento dessa resistência com uma crescente tensão de compressão vertical (coeficiente de fricção, equivalente à tangente do ângulo de atrito nos solos granulares). O modelo mais simples é o de Mohr-Coulomb, em que existe uma relação linear entre a tensão resistente ao corte e a tensão vertical de compressão instalada na alvenaria [4] [5]. Este

modelo oferece bons resultados para a generalidade das alvenarias e estados de tensão presentes nos edifícios correntes. No entanto, em alguns casos, é conveniente utilizar modelos mais avançados, em que o envelope de rotura é composto por 3 zonas distintas (figura 1). Estes modelos impõem uma tensão resistente ao corte máxima, independentemente do incremento da tensão de compressão instalada na alvenaria, sendo representações mais correctas do comportamento real das alvenarias de pedra.

Os modelos cinemáticos são uma ferramenta extremamente útil para a verificação da segurança em paredes de alvenaria, em estado limite último. Este método de análise, divulgado e fortemente desenvolvido por Giuffrè (entre outros) assenta no conceito de macroelemento, definido como “um elemento da construção caracterizado por um comportamento sísmico próprio” [6], ou seja, um painel com comportamento autónomo, assimilável a um bloco rígido, passível de sofrer translações e/ou rotações. Este tipo de mecanismos surgiu da observação e análise de edifícios de alvenaria danificados por sismos [7].

Este tipo de análise cinemática admite que o colapso advém da perda de equilíbrio de parte ou mesmo de toda a estrutura, e não da cedência dos materiais por serem ultrapassadas as suas resistências mecânicas [7]. A análise efectuada considera que as acções aplicadas nas paredes são estáticas, embora existam já alguns avanços que permitam considerar cargas dinâmicas, infelizmente ainda de difícil aplicação prática. A principal aplicação dos modelos cinemáticos é a avaliação da estabilidade das paredes de alvenaria à acção sísmica.

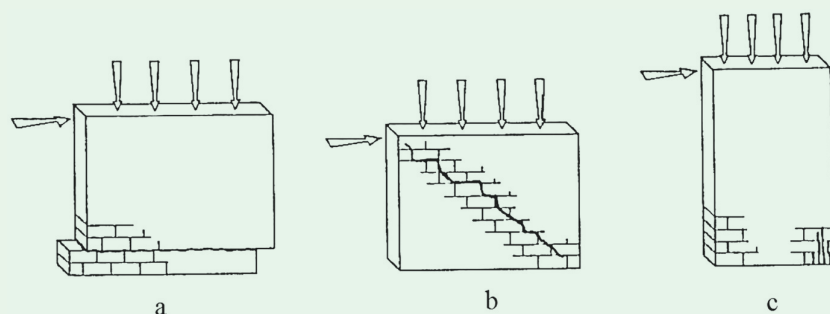
A verificação da segurança é feita através da comparação do coeficiente de colapso capaz de levar a estrutura em análise ao colapso

com a razão entre a aceleração sísmica local e a aceleração da gravidade [6]. O coeficiente de colapso é definido como $c=a/g$ [7], onde c é o coeficiente de colapso, a é a aceleração sísmica que leva a parede ao colapso e g é a aceleração da gravidade. O coeficiente de colapso representa então o valor mínimo pelo qual a massa inercial dos macroelementos deve ser multiplicada de modo a que ocorra o mecanismo de colapso em análise. O valor do coeficiente de colapso c deve ser superior à razão a/g , de modo que a estrutura esteja em equilíbrio cinemático. Note-se que o coeficiente de colapso é um valor adimensional, não dependendo da zona sísmica onde a parede em análise se encontra.

A verificação da estabilidade cinemática de um macroelemento não é suficiente para garantir a sua segurança estrutural, impondo-se que sejam realizadas verificações à resistência da parede relativamente aos esforços mais comuns, em que se destaca a verificação da resistência da parede ao corte e à compressão.

Para a verificação ao esforço de corte no plano é importante reconhecer os 3 principais modos de rotura de uma parede (figura 2): flexo-compressão (rocking), cisalhamento-escorregamento (sliding shear failure), e cisalhamento com fissuração diagonal (diagonal cracking) (Tomaževič, 1999). A cada um destes modos de rotura estão associadas diferentes capacidades resistentes, para uma determinada parede. Embora seja necessária uma verificação analítica para determinar qual o modo de rotura da parede, verifica-se que são usualmente válidos os seguintes indicadores:

- rotura por flexo-compressão: ocorre normalmente em painéis esbeltos e com compressões verticais pequenas;
- rotura por cisalhamento-escorregamento: ocorre geralmente em painéis abatidos e com compressões verticais pequenas;



2 | Representação esquemática dos modos de rotura de paredes de alvenaria (em modelos experimentais planos isolados): cisalhamento-escorregamento (a), cisalhamento com fissuração diagonal (b) e flexão-compressão (c) [8].

• rotura por cisalhamento com fissuração diagonal: ocorre em painéis não muito esbeltos nem muito abatidos (ou seja, aproximadamente quadrados), e para compressões verticais médias a elevadas.

A estabilidade das paredes de alvenaria de pedra à compressão é ainda uma matéria em franco desenvolvimento. Embora na generalidade dos casos as cargas quase estáticas verticais não sejam condicionantes no desempenho estrutural de uma estrutura antiga, algumas anomalias associadas a deficiências construtivas e falta de manutenção podem diminuir grandemente a resistência e estabilidade das paredes a acções verticais e horizontais, mesmo de pequena grandeza.

Embora não sejam explicitamente aplicáveis a paredes antigas de alvenaria de pedra (dada a exigência de regularidade dos seus elementos constituintes, e da existência de juntas preenchidas com argamassa cimentícia), as expressões propostas pelo Eurocódigo 6 são indicadoras da estabilidade das paredes de alvenaria de edifícios antigos. A resistência deve ser verificada quer nas extremidades quer a meia altura das paredes [9], podendo a parede verificar a segurança numa das secções e falhar noutra. Os esforços necessários à verificação da segurança podem ser, por vezes, de difícil determinação, pelo que é necessário sensibilidade na avaliação dos resultados obtidos.

Aplicação de métodos simplificados de avaliação estrutural a edifícios antigos

Quando colocado perante um edifício a reabilitar, o projectista adopta técnicas que lhe permitam verificar a segurança estrutural com a maior fiabilidade e rapidez possíveis. Este binómio é por vezes de difícil gestão, pelo que as técnicas brevemente enunciadas atrás constituem boas soluções para a avaliação de edifícios de pequeno porte, dada a sua fácil e rápida aplicação, aliada a resultados seguros quando calculados cautelosamente. É fundamental um conhecimento alargado e

transversal do comportamento estrutural das estruturas em alvenaria, de modo a não incorrer em generalizações e erros por analogia com outras tipologias estruturais (nomeadamente o betão e alvenaria armados).

A determinação teórica da resistência à compressão das alvenarias antigas de pedra não deverá ser utilizada como único indicador dos valores a utilizar no cálculo [10]. A dispersão de resultados obtida por aplicação das fórmulas mais utilizadas é um factor fortemente impeditivo da utilização destes métodos. Estes podem ser utilizados como complemento a uma campanha de ensaios pouco extensa.

Já na determinação teórica da resistência ao corte, os métodos existentes permitem obter valores bastante próximos dos obtidos por ensaios experimentais [3]. Uma vantagem significativa do método de Mohr-Coulomb consiste em depender apenas de dois factores intrínsecos ao material a avaliar: a coesão e o coeficiente de atrito. A consideração de valores nulos para a coesão da alvenaria, embora muitas vezes conservativa, é uma hipótese aceitável e que eleva a segurança da avaliação a realizar. Já no caso do coeficiente de atrito, encontram-se na bibliografia da especialidade valores típicos para a alvenarias mais comuns, pelo que à falta de valores provenientes de ensaios da alvenaria a analisar poder-se-ão usar com cautela valores usuais para estes dois parâmetros (usualmente 0,1-0,2 MPa para a coesão, e 30°-36° para o ângulo de atrito).

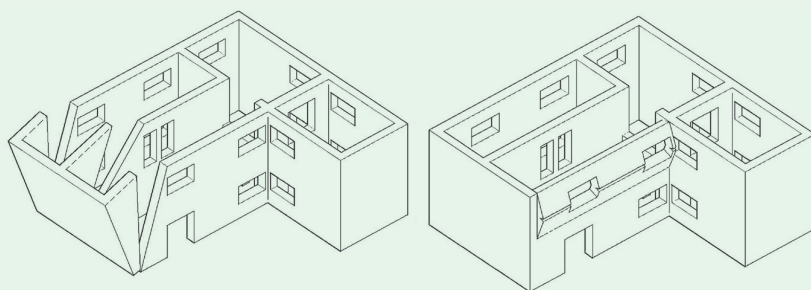
Anteriormente à verificação da estabilidade cinemática de uma estrutura em alvenaria de pedra, devem ser verificados todos os painéis de alvenaria resistente, por forma a garantir que estes possuem resistência mecânica suficiente para resistir às acções regulamentares. No território nacional, o EC8 indica que as paredes devem ser consideradas como resistentes caso cumpram os seguintes requisitos [11]: espessura efectiva de 240 mm, esbelteza efectiva igual ou inferior a 10, e uma razão largura/altura do painel de alvenaria maior ou igual a 0,4. Estes valores admitem que as paredes encontram-se em condições ideais

de conservação, e possuem juntas preenchidas por uma argamassa cimentícia de boa qualidade, o que muitas vezes não corresponde às paredes resistentes dos edifícios antigos nacionais. Poderá ser então necessário considerar valores mais restritivos para o edifício em estudo, de modo a garantir que o comportamento real da estrutura é traduzido fielmente na verificação da segurança.

Modelando as paredes resistentes que compõem o edifício, é então necessário distribuir as acções regulamentares pela estrutura. É usual considerar-se uma distribuição em planta das forças sísmicas que entre em linha de conta com as diferenças de rigidez das painéis de alvenaria, da mesma forma que num vulgar edifício de betão armado. Embora tal não considere as características reais de flexibilidade da estrutura de alvenaria, a posição do centro de rigidez da estrutura pode ser calculada da mesma forma que num edifício de betão armado. Conhecida a posição do centro de rigidez nos vários pisos do edifício, procede-se à distribuição das acções em altura, quer proporcionalmente às massas presentes em cada piso, quer tendo em conta as características dinâmicas da estrutura, devendo as forças actuantes ser calculadas considerando a sua aplicação no topo dos painéis de parede.

Relativamente ao esforço de corte, é necessário calcular o valor da força máxima resistente, actuante no topo de cada parede, para os três mecanismos de rotura atrás citados. Dado que é impossível prever *a priori* qual o método de rotura que irá ocorrer numa determinada parede, é necessário calcular a força que leva a parede à rotura para cada um dos modos de rotura. As expressões possíveis de serem utilizadas são variadas, e usualmente conduzem a resultados semelhantes entre si para cada um dos métodos [3].

Para a verificação ao esforço axial, a maior dificuldade consiste na determinação da distribuição de momentos ao longo das paredes. Além das cargas permanentes e sobrecargas, é necessário ter em conta as acções impostas por coberturas e pavimentos, pelo



3 | Representação esquemática de possíveis mecanismos de colapso num edifício de pequena dimensão em alvenaria de pedra, sujeito a acções verticais e horizontais (cobertura e pavimentos omitidos para clareza de visualização) [3].

que as condições de apoio destes elementos devem ser perfeitamente conhecidas. A transmissão de cargas axiais à parede é usualmente simples, consistindo numa única força (calculada como distribuída ao longo da parede, e não como uma carga pontual) aplicada com excentricidade relativamente ao eixo da parede. Esta situação de apoio simples é rara, e usualmente apenas existente nos apoios da estrutura das coberturas. A situação mais comum consiste num encastramento total ou parcial das estruturas de suporte dos pavimentos e coberturas nas paredes de alvenaria. O embebimento relativo destas estruturas de suporte na secção das paredes condiciona a transmissão dos esforços e afecta grandemente a distribuição de momento ao longo da secção da parede. O projectista deve adoptar uma posição cautelosa relativamente a este aspecto, dado que os modelos usuais (entre os quais o preconizado no EC6) são bastante sensíveis a pequenas variações nos momentos flectores nas extremidades das paredes.

Caso as verificações ao esforço axial e de corte sejam garantidas, procede-se por fim à verificação da estabilidade cinemática dos vários troços de parede, por meio da verificação individual de cada parede e de conjuntos de paredes para uma bateria de mecanismos pré-definidos. Existe um número elevado de mecanismos de colapso compilados na bibliografia da especialidade [12], cuja formulação decorre da observação de danos reais causados por sismos a edifícios. A metodologia de avaliação da segurança baseia-se no cálculo da mínima aceleração sísmica que origina a perda de estabilidade cinemática das paredes, que deverá ser inferior à aceleração de projecto considerada. Uma das maiores dificuldades da aplicação desta metodologia prende-se com a definição dos modelos cinemáticos passíveis de ocorrência, devendo ser analisadas paredes individuais, bem como a totalidade dos conjuntos de paredes (complanares ou não) passíveis de interacção estrutural entre si.

Uma abordagem passível de ser aplicada consiste no cálculo dos coeficientes de colapso

de todos os mecanismos em todas as paredes, originando uma grande quantidade de resultados, alguns deles de valor bastante elevado, como esperado. Este tipo de abordagem exaustiva fornece os melhores resultados, pois inclui todas as possibilidades de instabilidade das paredes, mas tem como inconveniente a sua morosidade e volume de resultados, já que inclui mecanismos considerados como altamente improváveis pela experiência de casos reais. A outra abordagem lógica consiste no cálculo apenas dos mecanismos usualmente passíveis de ocorrer para cada parede ou conjunto de paredes. Embora bastante mais rápida e menos consumidora de recursos, esta metodologia é desaconselhável pois poderá deixar de fora da avaliação de alguns mecanismos que, embora à primeira vista com pouca probabilidade de ocorrência, poderão ser os que mais facilmente levarão a estrutura ao colapso em detrimento dos considerados mais comuns e plausíveis.

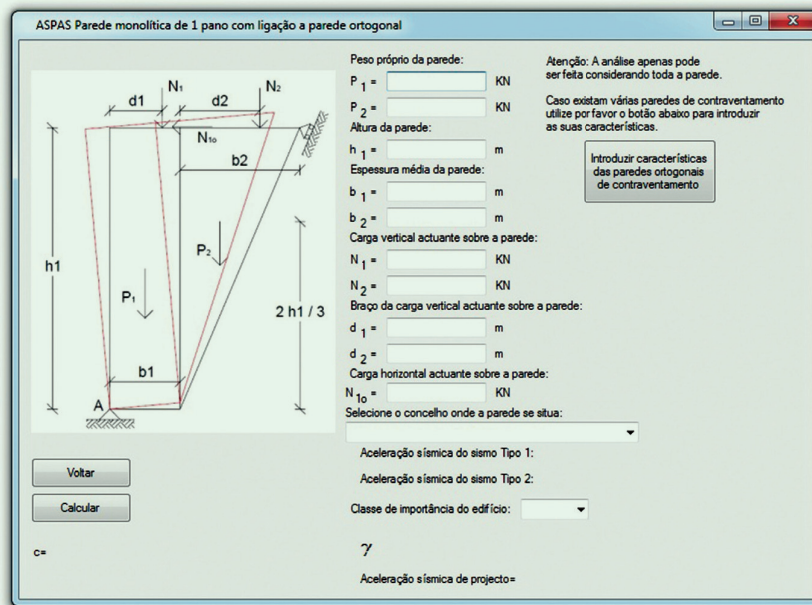
Alguns mecanismos consideram que é possível mobilizar alguma resistência extra ao derube de uma parede, através da consideração que parte das paredes ortogonais contribuem para a estabilidade da parede em análise, chamadas de paredes de contraventamento. Esta hipótese, que é comprovada por observação de fenómenos de colapso em edifícios danificados por sismos e em ensaios de laboratório, deve no entanto ser analisada com prudência, já que é necessário garantir uma ligação eficaz entre as várias paredes intervenientes. A existência de fendas nas proximidades dos cunhais, assim como juntas construtivas verticais sem embricamento, ou ainda cunhais que não permitam fornecer uma ligação entre as paredes ortogonais, são fortes indicadores de que não poderá ser considerado o incremento de estabilidade fornecido pelas paredes de contraventamento.

Caso existam aberturas nos painéis de alvenaria, a avaliação estrutural deve atender à distribuição de esforços nas suas envolventes, devendo ser feita uma análise de todos os painéis entre as aberturas, de modo a permitir a identificação de zonas sensíveis que

necessitem de acções de reforço estrutural. Também quando se considera a contribuição das paredes de contraventamento para a estabilidade da estrutura devem ser ajuizadas com cuidado quais as dimensões das cunhas que irão proporcionar um aumento da estabilidade, dado que as dimensões relativas das aberturas, bem como o seu posicionamento relativamente aos cunhais são importantes para não incorrer na inclusão no cálculo de fracções das paredes de contraventamento que na realidade não contribuirão para a segurança do edifício.

Dado o elevado número de verificações a efectuar, e a grande quantidade de cálculos a elas associadas, é útil ao projectista a existência de *software* que facilite e automatize estes procedimentos. As verificações regulamentares para o esforço de corte e esforço axial, bem como a previsão da resistência à compressão e corte, podem ser facilmente implementados em folhas de cálculo optimizadas a cada projectista. Já no que se refere à estabilidade cinemática, e a uma análise global dos edifícios (bem como a inclusão do efeito de agregado), existem alguns *software* comerciais com boas capacidades de aplicação rápida e simples.

O c-Sisma, desenvolvido em Itália, e de acesso gratuito (www.reluis.it), permite calcular os coeficientes de colapso de paredes isoladas, e pequenos conjuntos padronizados de painéis de alvenaria [13]. Este *software*, de uso bastante simples, permite avaliar rapidamente a estabilidade cinemática das várias paredes individuais de um edifício, cabendo ao projectista a tarefa de discriminar todos os painéis de alvenaria a analisar. O ASPAS (figura 4), projecto desenvolvido no âmbito de uma tese de mestrado [3], permite calcular os mecanismos de colapso presentes no c-Sisma, bem como realizar todas as verificações ao corte e esforço axial atrás referidas (incluindo as presentes no EC6), e ainda a determinação teórica da resistência ao corte e à compressão de alvenarias. Estes *software* possuem um âmbito de aplicação bem definido, para uma verificação ao nível do



elemento estrutural, e não consideram a globalidade do edifício ou agregado de edifícios (os esforços e deslocamento obtidos numa análise global de um conjunto de edifícios estruturalmente conectados não são iguais à soma dos obtidos nas análises individuais dos vários edifícios).

O 3Muri, também desenvolvido em Itália, permite já uma análise tridimensional global a um edifício ou conjunto de edifícios, realizando também algumas verificações de estabilidade cinemática e mecânica dos painéis de alvenaria. Algumas ferramentas, como a importação de um ficheiro CAD da geometria a analisar, bem como a fácil definição dos elementos estruturais, facilitam e agilizam o processo de análise. A visualização gráfica 3D dos resultados, assim como a criação automática de relatórios, são também vantagens para o projectista.

Outros software mais avançados [14], nomeadamente utilizando o método dos elementos finitos (como o ANSYS, SAP2000 ou ABAQUS) permitem também fazer análises completas a edifícios, mas não serão abordados dada a sua complexidade de utilização e grande quantidade de dados necessários ao cálculo (nomeadamente no que confere às características mecânicas dos materiais).

Conclusões

Os métodos brevemente apresentados (modelos cinemáticos, verificações ao corte e esforço axial no plano e fora-do-plano, determinação teórica de propriedades mecânicas) fornecem ao projectista métodos de verificação estrutural interessantes dadas as suas versatilidade e espectro de aplicação. Embora ainda de

forma deficiente, a determinação teórica da resistência ao corte e à compressão uniaxial da alvenaria poderá ser uma boa ferramenta de confirmação dos resultados obtidos em ensaios. As verificações ao esforço de corte e esforço axial permitem já avaliar com fiabilidade a segurança de painéis de alvenaria, embora seja necessária precaução para não simplificar em demasia os esquemas estruturais utilizados na determinação das acções sobre as paredes em análise. Os modelos cinemáticos começam a afirmar-se como uma ferramenta *standard* na avaliação de edifícios de pequeno porte, dado permitirem análises simples e eficientes quando o projectista identifica correctamente os mecanismos que poderão ocorrer no edifício. A capacidade de software já existentes aglutinarem estas verificações, bem como outras que as complementam, permite a realização de projectos de reabilitação de pequena envergadura em curtos espaços de tempo, pelo que deverão ser uma opção a considerar no auxílio à tomada de decisões por parte do projectista. ■

* Artigo redigido ao abrigo do antigo acordo ortográfico.

NOTA DOS EDITORES

Por lapso dos editores do Anuário do Património, o presente artigo, aprovado pela comissão científica da revista, não foi publicado na edição n.º 2, publicada em 2014. Por tal falha, apresentamos as nossas desculpas aos autores e leitores lesados.

BIBLIOGRAFIA

[1] Vicente, R. S. 2009. *Estratégias e metodologias para intervenções de reabilitação urbana – Avaliação da vulnerabilidade e do risco sísmico do edificado da Baixa de Coimbra*. Aveiro : Universidade de Aveiro, Tese de Doutoramento.
 [2] Proske, D.; Gelder, P. van. 2009. *Safety of Historical Stone Arch Bridges*. Berlin : Springer.

4 | Exemplo de janela de cálculo do software ASPAS.

[3] Martins, L. 2011. *Desenvolvimento de ferramenta de cálculo para uma avaliação expedita de estruturas de alvenaria antiga de pedra*. Instituto Politécnico de Viseu, Viseu : s.n., 2011. Tese de mestrado.
 [4] Vasconcelos, G.; Lourenço, P. B. 2006. *Assessment of the in-plane shear strength of stone masonry walls by simplified models*. [ed.] P. B. Lourenço, et al. Structural analysis of historical constructions.
 [5] Vasconcelos, G. 2005. *Experimental investigations on the mechanics of stone masonry: Characterization of granites and behavior of ancient masonry shear walls*. Universidade do Minho, Braga : s.n., 2005. Tese de doutoramento.
 [6] Córias, V. 2007. *Reabilitação estrutural de edifícios antigos*. 2ª ed. Lisboa: Argumentum / GECO RPA.
 [7] Valluzzi, M. R., et al. 2001. *Modellazione del comportamento di edifici in muratura sotto azioni sismiche: l'esperienza Umbria-Marche*. X Congresso Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia".
 [8] Tomažević, M. 1999. *Earthquake-resistant design of masonry buildings*. London: Imperial College Press.
 [9] CEN – Comité Européen de Normalisation. 2008. *Eurocódigo 6: Projecto de estruturas de alvenaria - Parte 1-1: Regras gerais para alvenaria armada e não armada (NP EN 1996-1-1:2008)*.
 [10] Lourenço, P. B.; Pina-Henriques, J. 2006. *Validation of analytical and continuum numerical methods for estimating the compressive strength of masonry*. Computers and Structures 84 (2006) 1977–1989.
 [11] CEN – Comité Européen de Normalisation. 2010. *Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos – Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios (NP EN 1998-1:2010)*.
 [12] Munari, M. 2010. *Sviluppo di procedure per valutazioni sistematiche di vulnerabilità sismica di edifici esistenti in muratura*. Università degli Studi di Padova, Pádua, 2010. Tese de doutoramento.
 [13] Modena, C., Valluzzi, M. R. e Zenere, M. 2009. *Manuale d'uso del Programma c-Sisma 3.0 PRO*. Padova, Italia : s.n..
 [14] Marques, R.; Lourenço, P.B. 2008. *Benchmarking of commercial software for the seismic assessment of masonry buildings*. International Seminar on Seismic Risk and Rehabilitation of Stone Masonry Housing, Horta, Portugal.
 [15] S.T.A. DATA. 2007. *3Muri – General description, Version 4*, Torino.