

Modelos de cálculo para edifícios pombalinos: O mais sofisticado não é necessariamente o mais adequado

Numa intervenção de reabilitação, a análise estrutural e a verificação da segurança têm por objecto a confirmação da bondade das medidas correctivas seleccionadas face às insuficiências estruturais detetadas, tendo em conta a estratégia que preside à intervenção.

A análise estrutural e a verificação da segurança dos edifícios antigos de alvenaria e madeira atinge o máximo de complexidade e exigência quando é dominada pela necessidade de considerar a acção sísmica. A escolha dos procedimentos de análise mais adequados é essencial para a fiabilidade da modelação e, por conseguinte, da verificação da segurança.

No caso mais geral, a verificação da eficácia das medidas idealizadas é feita recorrendo a modelos de análise construídos com base nas informações obtidas através da documentação existente e da avaliação das propriedades do protótipo -- a construção real. Após validação do modelo, é o mesmo utilizado, de início, para a caracterização do desempenho estrutural da construção tal como se encontra. São, então, introduzidas no modelo as alterações correspondentes às medidas correctivas, e aplica-se a mesma formulação até se obterem resultados que permitam induzir para o protótipo um comportamento suficientemente próximo do desejado.

Actualmente, os modelos geralmente utilizados são numéricos, isto é, construídos utilizando *softwares* informáticos (programas de cálculo automático). As medidas correctivas são introduzidas no modelo – concebido, desde início, de modo a facilitar tal introdução – e testadas fazendo-se correr

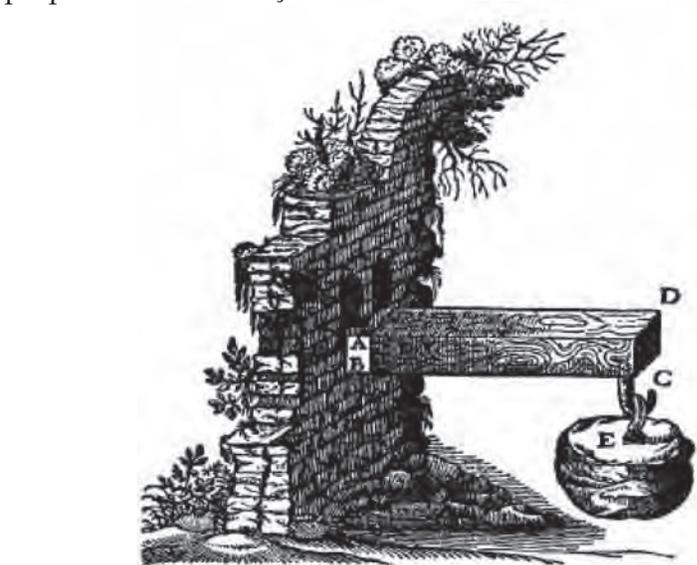


Fig. 1 – A viga em consola, segundo Galileu. Em “Diálogo acerca de duas novas ciências” (século XVII)

vezes sucessivas o programa.

Habitualmente, a verificação da segurança é feita a partir da análise estrutural de modelos em regime elástico, utilizando softwares estandardizados como o SAP (*Structural Analysis Program*), baseados no método dos elementos finitos. Procura-se confirmar que em todos os componentes as deformações e os esforços máximos não excedem os correspondentes valores admissíveis. Esta abordagem é uma extensão da usada em construção nova, na análise de estruturas correntes de betão armado ou de aço. Ao pretender-se aplicá-la a construções a reabilitar, mormente se forem antigas, en-

contram-se várias dificuldades:

- Não é fácil a idealização da estrutura em termos dos elementos correntemente utilizados;
- Mesmo que se consiga reduzir a construção a tais elementos, desconhecem-se, geralmente, as alterações neles introduzidas e nas suas ligações (*anamnese* ou historial da construção);
- O estado de tensão resultante desse historial é difícil de avaliar;
- O comportamento da alvenaria é significativamente não-linear, apresentando uma resistência praticamente nula à tração.

Segundo o âmbito de aplicação, os modelos de análise estrutural podem envolver a estrutura no seu conjunto, uma parte dela (um ou mais elementos, por exemplo, um pano de parede ou um cunhal), ou apenas um ou mais pontos singulares (uma ancoragem de um tirante, por exemplo). Podem, portanto, classificar-se como **globais**, no primeiro caso, **locais**, no segundo e **pontuais** no terceiro.

Segundo o grau de sofisticação, os modelos podem considerar-se **simplificados**, se visam permitir efectuar as avaliações ou verificações de forma rápida e expedita, ou **avanzados**, se têm em vista a busca de resultados mais rigorosos através da utilização de modelos envolvendo grande número de elementos e entrando com um maior número de parâmetros quanto às características do protótipo e dos materiais que o constituem.

Os modelos expeditos permitem avaliar as tendências do comportamento estrutural, sobretudo nos âmbitos global e local e, com base nisso, elaborar pré-dimensionamentos das medidas correctivas, tendo em vista estudos prévios ou anteprojectos, envolvendo a comparação de diversas opções, ou verificar a coerência de resultados de estudos mais aprofundados, designadamente os obtidos com programas de cálculo avançados. Estes últimos permitem refinar os resultados obtidos com os estudos expeditos e otimizar as soluções de reabilitação encontradas. A utilização de *softwares* de análise muito sofisticados, como o *Diana*, para além de exigir um conhecimento mais detalhado das propriedades da estrutura e dos materiais que a constituem, pressupõe que a equipa projectista tenha a experiência e a sensibilidade necessária para se aperceber de incongruências que os resultados possam apresentar. Daí que tal equipa deva ser, em paralelo, proficiente em métodos mais expeditos mas mais fáceis de aplicar, que permitam estimar os resultados ou a sua ordem de grandeza. No projecto de construções correntes de betão armado ou de aço, a análise

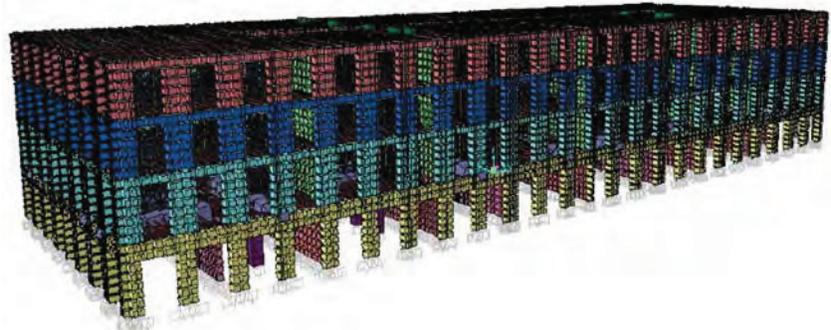


Fig. 2 – Modelação de um quarto pombalino utilizando o SAP



Fig. 3 – Mecanismo de colapso por derrubamento de uma parede de fachada de um edifício pombalino por acções fora do seu plano

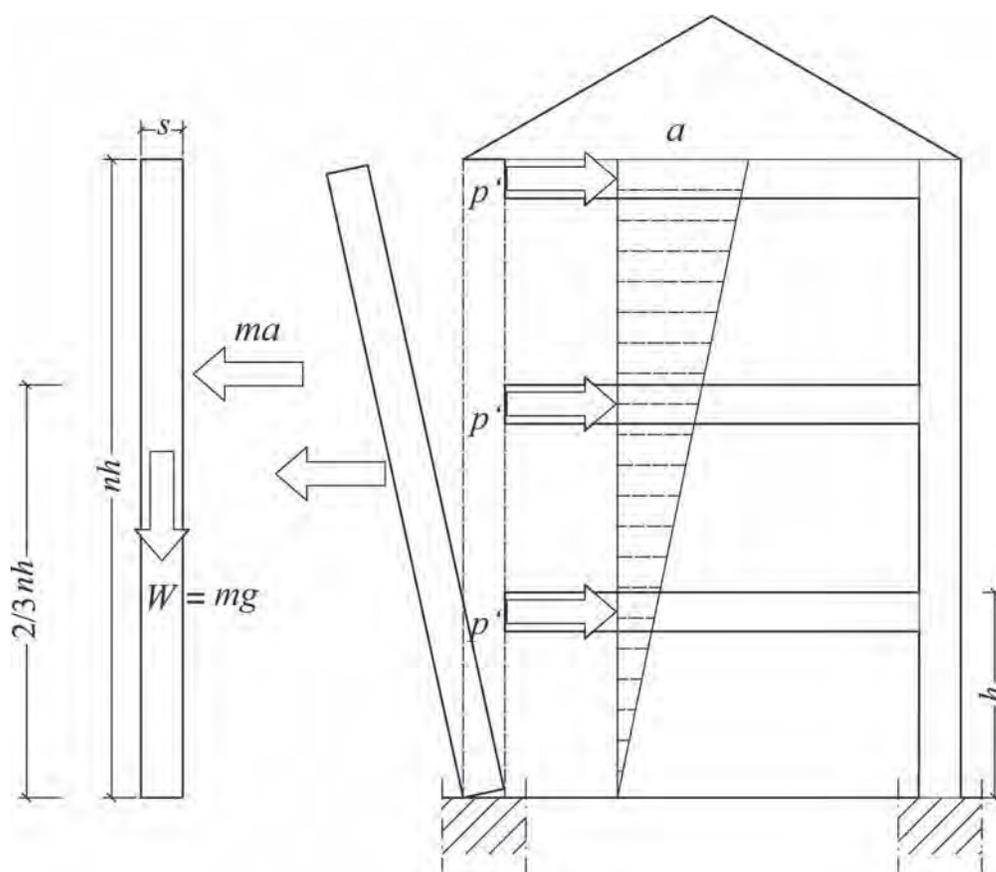
estrutural pode ser feita utilizando quatro métodos, tendo em conta o comportamento atribuído aos materiais que constituem a estrutura (linear ou não linear) e o regime em que são aplicadas as acções (estático ou dinâmico):

- Linear estático;
- Não linear estático;
- Linear dinâmico;
- Não linear dinâmico.

No caso das construções antigas de alvenaria e madeira tem-se revelado interessante um método que se pode considerar “cinemático”, dado que se baseia na decomposição da construção em “macro-elementos” a partir dos quais é possível analisar determinados mecanismos de danificação ou colapso.

Os modelos globais deverão ser dota-

dos, desde o início, de elementos adequadamente seleccionados e localizados nos pontos ou zonas da estrutura onde poderão vir a verificar-se as cedências que originam os mecanismos de danificação ou colapso e/ou onde poderão vir a ser aplicadas as medidas de reforço estrutural (tirantes, pregagens, dispositivos de ligação piso/parede e parede/parede), incluindo os efeitos locais (por exemplo, zonas de ancoragem dos tirantes e tipo de ancoragem). Deste modo, o modelo permitirá: 1 - detectar quais os mecanismos de danificação ou colapso são mais prováveis, determinando os esforços nas várias ligações (piso de madeira/parede de alvenaria, parede de frontal/parede de alvenaria, parede de alvenaria/parede de alvenaria) e comparando-as com as resistências previsíveis



$$c = 0,75 \frac{s}{h} \times \frac{1}{n} + \frac{P'}{W} n$$

Fig. 3a - Mecanismo de colapso por derrubamento de uma parede de fachada de um edifício pombalino por ações fora do seu plano

dessas ligações no edifício real, e 2 - ter em conta a introdução das medidas de reforço, nos locais ou zonas onde, num primeiro processamento, forem detectadas as cedências atrás referidas.

Pode, então, fazer-se a verificação da estabilidade local daqueles mecanismos, e dimensionar os dispositivos de reforço, através da análise dos macro-elementos correspondentes (modelos cinemáticos), completados ou não com modelos estáticos lineares correntes.

O método de análise dinâmica não linear é o mais potente. Dada a complexidade estrutural dos quarteirões da baixa pombalina - existência de alterações por vezes profundas, irregularidades na rigidez torcional e irregularidade de massa e rigidez do rés-do-chão para o primeiro andar (para não falar do faseamento da construção desconhecido, das deformações impostas e da variabilidade das caracte-

rísticas dos materiais), os modelos de análise não linear são os que oferecem as melhores possibilidades de se obterem resultados credíveis. Estes modelos podem encontrar, no entanto, uma dificuldade importante: é necessária informação muito completa e fidedigna sobre a construção e sobre as propriedades constitutivas dos materiais em presença. Os métodos de análise dinâmica linear podem ser igualmente úteis, se aplicados de forma iterativa utilizando modelos particularmente bem concebidos. Os softwares mais avançados actualmente disponíveis no mercado, baseados no métodos dos elementos finitos (Diana, CASTEM, SAP, etc.), permitem estes dois tipos de abordagem.

Num e noutro caso, requiere-se da equipa encarregada da análise sensibilidade, competência e bom-senso na concepção do modelo, no seu manu-

seamento e na interpretação dos resultados. Nesta fase final, as ferramentas de análise estrutural mais simples (modelos estáticos lineares e não-lineares), podem voltar a ser úteis.

Em conclusão: existe hoje à disposição do projectista de estruturas que se ocupa de intervenções de reabilitação um variado conjunto de ferramentas de análise que permite elaborar cálculos justificativos das soluções propostas para lidar com as insuficiências estruturais dos edifícios antigos. No entanto, também aqui se deve procurar aplicar o princípio KISS: "Keep It Simple, Stupid" ou, para quem preferir, "Keep It Simple and Straightforward".

VÍTOR CÓIAS,
Engenheiro Civil, Presidente do GECORPA