

METODOLOGIA PARA O DIMENSIONAMENTO DO REFORÇO SÍSMICO DE EDIFÍCIOS

Resumo

Neste artigo apresenta-se uma metodologia para o dimensionamento do reforço de edifícios existentes com estrutura em betão armado, sujeitos à acção sísmica. O método de análise é constituído por três fases: avaliação estrutural; avaliação da segurança estrutural e dimensionamento do reforço.

Introdução

A regulamentação Portuguesa no domínio das estruturas tem vindo a evoluir no sentido de agravar o valor das acções sísmicas a considerar no projecto e na introdução de novas regras de pormenorização dos elementos estruturais. Verifica-se constantemente que as estruturas dos edifícios existentes apresentam grandes deficiências ao nível da cintagem dos elementos estruturais e da amarração dos estribos e dos varões longitudinais nos nós. Perante estas situações justifica-se verificar se as estruturas existentes resistem às acções definidas nos regulamentos actuais, e se cumprem as disposições construtivas e caso seja necessário proceder ao reforço das mesmas.

Avaliação Estrutural do Edifício Existente

A elaboração de um projecto de reforço deverá ser sempre precedida da avaliação da estrutura existente, envolvendo:

- a) Recolha de informações gerais e históricas relativas à obra e projecto, como data da construção, regulamento aplicado no projecto inicial, estimativa do valor residual do edifício, estudo dos documentos de projecto e informações sobre as condições do edifício incluindo anteriores trabalhos de reparação ou reforço.
- b) Realização de uma inspecção que inclua a identificação do sistema estrutural, identificação de erros relacionados com o projecto, a construção e a manutenção, investigação das condições dos elementos não estruturais e sua possível contribuição estrutural e, nível e extensão da possível degradação dos materiais.
- c) Realização de ensaios “in situ” para avaliar as características da estrutura (como a geometria, distribuição de armaduras, tensões de rotura dos materiais e estado de conservação). Este procedimento é, muitas vezes, necessário devido à escassez de elementos de projecto para avaliar a estrutura. Para além disso os materiais podem apresentar-se degradados e a estrutura construída nem sempre corresponder exactamente ao projecto.

A inspecção dos aspectos geométricos é fundamental, evitando-se que suposições quanto às dimensões e disposições das peças conduzam a modelos estruturais erróneos, não compatíveis com o comportamento estrutural efectivo. Por outro lado, a inspecção geométrica pode ser mesmo imprescindível nos casos em que o projecto estrutural não nos é facultado.

Entre as várias propriedades mecânicas dos materiais empregues nas estruturas de betão armado, a resistência do betão à compressão e a resistência do aço à tracção, são os parâmetros básicos fundamentais para o estabelecimento da capacidade resistente da estrutura e, por conseguinte, do nível de segurança. A caracterização do betão passa essencialmente pela determinação das suas características mecânicas, isto é tensão de rotura à compressão e módulo de elasticidade. Na caracterização das armaduras de aço para a inspecção de estruturas existentes vários aspectos devem ser observados:

- as propriedades mecânicas à tracção, expressas pela classe e categoria dos aços;
- o aspecto superficial das armaduras, identificando-se a existência e o tipo das saliências responsáveis pelas condições de aderência entre o betão e o aço;
- a existência ou não de corrosão generalizada ou pontual nas armaduras;
- o conhecimento da distribuição das armaduras, diâmetros dos varões e os recobrimentos existentes.

d) análise das condições de segurança.

Sendo a verificação da segurança estrutural o objectivo final da avaliação de estruturas existentes, o conhecimento das acções que actuam a estrutura ou poderão actuar nesta é fundamental. Pode também ser indispensável a definição de acções que já solicitaram a estrutura, muitas vezes causa de anomalias.

Avaliação da Segurança Estrutural do Edifício Existente

Nesta fase pretende-se verificar se a estrutura existente resiste às acções previstas no seu período de vida residual, evitando-se assim a hipótese de uma intervenção de reforço que está geralmente associada a custos elevados (devido aos materiais, mão de obra, tecnologia e à necessidade de interromper a funcionalidade da estrutura). Para tal procura-se, dentro de certos limites que não ponham em causa a fiabilidade estrutural, ainda que a níveis inferiores aos da construção de raiz, maximizar resistências e minimizar os efeitos das acções em termos de cálculo.

No processo de avaliação da segurança de um edifício à acção sísmica efectua-se a comparação entre a capacidade resistente disponível pela estrutura e a capacidade resistente exigida pelas acções regulamentares. Dada a complexidade das estruturas de edifícios a solução possível para esta análise é através da força de corte total em cada piso.

A avaliação da segurança das estruturas existentes à acção sísmica é então realizada pela expressão 1, expressa em termos percentuais:

$$R_{sismo} = 100 \times \frac{\sum_i V_{Rdi}}{\sum_i V_{Sdi}} \quad (1)$$

Na expressão 1,

- R_{sismo} representa a resistência, em percentagem, da estrutura existente ao sismo de projecto regulamentar;
- V_{Rdi} é a força de corte basal, ao nível das fundações, que o elemento vertical “i” tem capacidade para resistir. A quantificação das capacidades resistentes dos elementos é baseada nas secções existentes (geometria das secções e pormenorização das armaduras) e nos valores característicos dos materiais, obtidos na fase anterior da metodologia. Os valores de V_{Rdi} são determinados pela expressão 2.

$$V_{Rdi} = \frac{M_{Rdi}^{inferior} + M_{Rdi}^{superior}}{h} \quad (2)$$

em que: $M_{Rd}^{inferior}$ e $M_{Rd}^{superior}$ são os momentos resistentes nas extremidades do elemento vertical correspondentes a um andar e h é a altura do elemento.

- V_{Sdi} é a força de corte basal, ao nível do piso térreo, que a combinação de acções que considera como acção de base o sismo exige ao elemento vertical “i”. Para a determinação desta grandeza, optou-se por realizar uma análise elástica tridimensional baseada em espectros de resposta, cujos resultados dos esforços são obtidos dividindo os resultados desta análise pelo coeficiente de comportamento.

Em certas estruturas, nomeadamente as que possuem elementos resistentes verticais de paredes, os esforços máximos podem não surgir ao nível do piso térreo, pelo que a avaliação da segurança deverá ser realizada ao nível de todos os pisos dos edifícios. Para tal propõe-se a aplicação da expressão 3 a todos os níveis do edifício em análise.

$$R_{sismo}(n) = 100 \times \frac{\sum_i V_{Rdi_n}}{\sum_i V_{Sdi_n}} \quad (3)$$

onde $R_{sismo}(n)$ é a resistência da estrutura existente à acção sísmica ao nível do piso n ; V_{Rdin} é a força de corte, ao nível do piso “ n ”, que o elemento vertical “ i ” tem capacidade para resistir e V_{Sdin} é a força de corte, ao nível do piso “ n ”, que a combinação de acções que considera como acção de base o sismo exige ao elemento vertical “ i ”.

Por aplicação das expressões 1 e 3 independentemente em duas direcções ortogonais é possível definir o nível de resistência, em termos globais, do edifício existente em cada uma das direcções e tomar a decisão se é necessário ou não proceder ao reforço da mesma.

Concepção e Dimensionamento do Reforço

No reforço de um edifício o mais relevante é o facto dos trabalhos de reforço poderem tornar impeditiva a utilização da estrutura, acarretando custos funcionais muito elevados. Sendo o aspecto funcional tão importante, por vezes a melhor solução de reforço não é a que minimiza os custos, mas a que torna menos impeditiva a utilização da estrutura. No entanto não devem ser ultrapassados determinados limites no acréscimo da resistência, pois tornariam a solução economicamente inviável.

O projecto de reforço de um edifício para a acção sísmica deve ser encarado como um reforço global de toda a estrutura, pois só assim é possível garantir um melhor comportamento sísmico da mesma. Com o reforço isolado de alguns elementos numa determinada zona do edifício, surgem concentrações de esforços nas zonas de transição provocando um agravamento no comportamento sísmico global do edifício.

O reforço de edifícios existentes para a acção sísmica consiste em introduzir, na estrutura, novos elementos resistentes ou reforçar os já existentes, de forma que globalmente esta passe a ter capacidade suficiente para resistir à totalidade das acções sísmicas regulamentares. As técnicas de reforço de edifícios para aumentar a capacidade resistente à acção sísmica agrupam-se em dois tipos:

- *reforço dos elementos resistentes existentes*: esta técnica é adequada quando a estrutura apresenta uma boa concepção sísmica tanto em planta como em alçado;
- *introdução de novos elementos resistentes*: esta técnica é adequada quando a distribuição em planta

dos elementos resistentes não cumpre as regras de uma boa concepção sísmica ou, quando existe insuficiência no número de elementos verticais. Os elementos resistentes de reforço podem ser pórticos de betão armado, paredes de betão armado e contraventamentos metálicos.

A metodologia adoptada para a concepção e dimensionamento do projecto de reforço de um edifício existente envolve um processo iterativo que consiste no estudo de um conjunto de soluções, com distintos níveis de reforço, até que se atinja a resistência desejada. A avaliação da segurança da estrutura reforçada à acção sísmica é feita através da força de corte basal ao nível do piso térreo, por aplicação da expressão 1 e da força de corte ao nível de todos os pisos do edifício pela expressão 3. É de referir que nestas expressões os valores a considerar para V_{Rdi} e V_{Sdi} incluem os esforços dos elementos de reforço.

Considerações Finais

Os procedimentos para estabelecer o diagnóstico e sugerir uma intervenção de reforço para um dado tipo de edifícios é complexo e heterogéneo. Na selecção do tipo de reforço a aplicar numa estrutura tem de ser tomado em consideração não só o factor económico, mas também o interesse de minimizar o número de zonas de intervenção, de forma a tornar o menos impeditiva possível a utilização do edifício.

Referências

- Carreira, A.; “Concepção do Reforço Sísmico em Edifícios com Estrutura de Betão Armado”, Tese de Mestrado, IST Julho 2000.
- Gomes, A.; “Comportamento e Reforço de elementos de Betão Armado sujeitos a Acções Cíclicas”, Tese de Doutoramento, IST Julho 1992.