

Resumo

Este trabalho foi desenvolvido com o objectivo de estudar o comportamento sísmico da Igreja do Mosteiro da Serra do Pilar que, pela sua importância histórica e cultural, constitui um bom exemplo para a aplicação de modelos de análise sísmica em edifícios antigos.

Este objectivo foi alcançado através da modelação numérica tridimensional da estrutura no programa de cálculo CASTEM 2000, que permite realizar análises estáticas e dinâmicas pelo método dos elementos finitos. Assim, a partir do levantamento das características geométricas da igreja, procedeu-se à definição de um modelo estrutural em que os blocos de pedra (visíveis em determinadas zonas da estrutura) e as zonas de enchimentos foram simulados por elementos volumétricos devidamente individualizados, enquanto que as interfaces entre alguns blocos foram discretizadas com elementos de junta.

A caracterização das propriedades mecânicas dos materiais e a quantificação de parâmetros dinâmicos da estrutura (frequências e modos de vibração) passou pela realização de ensaios in situ e ensaios de laboratório sobre carotes extraídas no local. A calibração do modelo foi realizada a partir dos resultados obtidos em estudos experimentais, nomeadamente pela comparação das frequências e modos de vibração (determinados numericamente) com os obtidos no ensaio de caracterização dinâmica in situ e, ainda, a partir da avaliação da deformabilidade interna do material com base em ensaios de dilatómetro. No contexto da caracterização das propriedades das juntas foram realizados diversos ensaios de laboratório sobre carotes extraídas do local.

Devido à dimensão apreciável da estrutura em estudo, houve a necessidade de adoptar uma metodologia de análise sísmica simplificada que permitisse, por um lado, avaliar o comportamento global da estrutura e, por outro, analisar o comportamento local de partes da estrutura. Assim, numa primeira fase, a estrutura da igreja foi analisada sob a acção de sismos, caracterizados por acelerogramas artificialmente gerados a partir de espectros de resposta regulamentares, tendo-se considerado comportamento linear elástico para os materiais alvenaria de pedra, enchimentos e juntas. Na segunda fase, e tendo em vista uma análise mais detalhada, foi seleccionada uma zona da estrutura (arcos e respectivos elementos de apoio) onde foi activado o comportamento não-linear das juntas entre blocos e analisado o efeito resultante da aplicação de intensidades sísmicas crescentes.

Foram apresentados e comentados os resultados de cada análise, nomeadamente sob a forma de deslocamentos, deformações e tensões máximas ao nível dos blocos de pedra e das respectivas juntas. Procedeu-se ainda a um estudo comparativo entre a solução linear total e a solução não-linear parcial referente à subestrutura dos arcos e respectivos elementos de apoio, tendo-se concluído que para a acção sísmica considerada a análise linear seria suficiente.

Abstract

This study aims at analysing the seismic behaviour of the Church of the Serra do Pilar Monastery, since its historical and cultural value makes it a good example for the use of seismic analysis models in ancient buildings.

This purpose was achieved through the three-dimensional numerical modelling of the structure using the structural analysis computer code, CASTEM 2000, which allows for static and dynamic analysis by means of the finite element method. Thus, starting from the survey of the church geometrical characteristics, a structural model was defined, where stone blocks (visible in some parts of the whole structure) and fillings were simulated by duly individualized solid elements, whilst interfaces between some blocks were separated with joints.

The characterization of material mechanical properties, as well as the quantification of structural dynamic parameters (frequencies and vibration modes), were performed by means of in situ tests and laboratory tests on locally extracted samples. The model calibration was achieved considering the results of experimental analysis, mainly through the comparison of numerically determined frequencies and vibration modes with those obtained from the in situ dynamic tests, and the evaluation of internal material deformability measured by Bore Hole dilatometer tests. With regard to the joint properties characterization, several laboratory tests were carried out on locally extracted samples.

Considering the large extension of the structure under analysis, it was necessary to adopt a simplified seismic analysis methodology, allowing for both the evaluation of the global structure behaviour and the analysis of the local behavior of several structure parts. The first stage consisted of analysis of the church structure under seismic action characterized by accelerograms artificially generated to fit the response spectrum prescribed by National Standards, and considering linear elastic behaviour for the materials (stone masonry, fillings and joints). Aiming at a more detailed analysis, in the second stage, a structure part was selected (arches and respective supporting parts), considering non-linear behaviour for the joints between blocks, and an analysis was carried out on the effect considering increasing seismic intensities.

The results of each analysis were presented and discussed in terms of displacement, deformation and stress peak values both in the stone blocks and the corresponding joints. Regarding the substructure of arches and supporting parts, a comparative analysis was also carried out between the global linear solution and the partial non-linear solution, and it was concluded that, for the basic seismic action prescribed, the linear analysis would be sufficient.