

# ABSTRACT

Masonry buildings are one of the most representative constructive systems since the early ages of civilization. Through time, they have exhibited worldwide structural deficiencies, severe damage and collapse during strong earthquake events. It is known that their brittle behavior together with its low frictional resistance, which is mainly due to the combination of low tensile strength, large mass and insufficient connection between structural elements, are the main limitations for its structural implementation in residential buildings. Nevertheless, masonry also offers several advantages like thermal and acoustic efficiency, excellent fire behavior, economy, durability and a simple construction technology. Then, if the deficiencies are overcome, it can be effectively considered as an alternative low cost structural solution.

Following past researches dealing with the proposal of an innovative solution in structural masonry for low to medium rise residential buildings, based on concrete block masonry units and truss type reinforcement, the main objective of the present work is to study the seismic behavior of masonry buildings built with this system. For this, an enlarged experimental campaign and numerical analysis were planned. It is commonly found that research on masonry under seismic loading has been mostly focused on experimental and numerical analyses of structural masonry elements, namely masonry walls. Lesser research has been developed in relation to the global seismic behavior of masonry buildings, particularly in case of new masonry buildings, to which special laboratory facilities like shaking tables are needed. Therefore, this work is an attempt to fill this research gap. The experimental study of the dynamic behavior of masonry buildings is based on shaking table tests of four masonry buildings, to which incremental seismic inputs are imposed. From the tests, the main seismic performance features are derived. It is intended that the tested experimental models be representative of low to medium rise prototype residential buildings with distinct levels of geometrical complexity and different reinforcement solutions.

Complementary, a numerical simulation, which encompasses a full nonlinear dynamic time history analysis by phases, is performed. The numerical model considers masonry as homogeneous material and it is calibrated on experimental results. With this methodology, the damage from a previous input is the initial condition for a new input, being possible to describe the accumulation of damage also seen in the experimental dynamic tests. Accelerations, displacements and damage are obtained and compared with the experimental results. From them, accurate and satisfactory results were obtained.

Finally, typical seismic design considerations for masonry buildings are discussed. Here, linear elastic and nonlinear static analyses are discussed, namely regarding the behavior factor “ $q$ ” to be used in a linear elastic analysis and the nonlinear “pushover” analysis as a simplification of the complete nonlinear dynamic analysis. Comparison and discussion of the principal differences found from the two analyses are presented.



# RESUMO

Os edifícios de alvenaria são um dos sistemas construtivos mais utilizados desde os primeiros tempos da civilização. A ocorrência de sismos em diferentes regiões do mundo evidenciaram as deficiências estruturais, traduzindo-se em danos consideráveis e mesmo colapso. O comportamento frágil, juntamente com a sua baixa resistência ao corte e flexão, devida à baixa resistência à tração, grande massa e insuficiente ligação entre os elementos estruturais, são as principais factores de vulnerabilidade que têm limitado a sua aplicação. No entanto, a alvenaria também oferece várias vantagens como a eficiência térmica e acústica, o comportamento excelente ao fogo, economia, durabilidade e uma tecnologia de construção simples. Então, se as deficiências forem ultrapassadas, considera-se que a alvenaria estrutural pode ser efetivamente uma solução construtiva alternativa de baixo custo.

Na sequência de estudos anteriores, que tiveram como objectivo central o desenvolvimento de uma solução em alvenaria estrutural para edifícios residenciais de baixa a média altura, com base em unidades de bloco de betão e armaduras pré-fabricadas, o principal objetivo do presente trabalho é estudar o comportamento sísmico de edifícios de alvenaria construídos com o sistema de alvenaria estrutural proposto. Para isso, foi planeada uma alargada campanha experimental e consequente análise numérica. Encontram-se na literatura vários trabalhos onde é feito o estudo experimental e numérico de elementos estruturais de alvenaria, nomeadamente paredes de alvenaria. Menos trabalhos se encontram relativos à avaliação do comportamento global à acção sísmica de edifícios de alvenaria, em particular de novos edifícios de alvenaria, que pressupõe a existência de instalações de laboratório especiais, como mesas sísmicas. Assim, pretende-se com este trabalho contribuir para o estudo global da alvenaria à acção sísmica com base em edifícios. O estudo experimental do comportamento dinâmico de edifícios de alvenaria é baseado em testes de mesa sísmica de quatro edifícios de alvenaria, aos quais se impõem carregamentos sísmicos incrementais. A partir destes ensaios, pretende-se obter as principais características do desempenho sísmico. Pretende-se que os modelos experimentais sejam representativos de edifícios residenciais de baixa a média altura com distintos níveis de complexidade geométrica e soluções de reforço diferentes.

Complementarmente, efectua-se a uma simulação numérica do comportamento dinâmico não linear com integração no tempo por fases. O modelo numérico considera a alvenaria como material homogéneo e é calibrado em base aos resultados experimentais. Com esta metodologia, os danos resultantes dos vários carregamentos sísmicos são tidos em conta, sendo possível descrever a acumulação de danos. Acelerações, deslocamentos e os danos são obtidos e comparados com os resultados experimentais.

Finalmente, são discutidas algumas considerações de dimensionamento sísmico para edifícios de alvenaria, nomeadamente dimensionamento elástico lineares e não lineares. A este respeito é discutida a obtenção do coeficiente comportamento "q" para ser usado numa análise elástica linear e feita uma análise não-linear "pushover" como uma simplificação da análise não linear dinâmica.

Faz-se uma comparação entre a análise linear estática e dinâmica e apresenta-se uma discussão sobre as principais diferenças encontradas.