

## Resumo

A vulnerabilidade sísmica de edifícios de betão armado preenchidos com paredes de alvenaria tem vindo a ser constatada durante sismos recentes no sul da Europa, causando um número elevado de mortos e elevados custos de reabilitação ou reconstrução, e justifica a necessidade de estudos detalhados acerca do comportamento sísmico de pórticos de betão armado preenchidos com alvenaria construídos em países do sul da Europa desde 1960. Apesar de existirem vários trabalhos em paredes de enchimento, não existe muita investigação em paredes de enchimento tradicionais do sul da Europa.

Assim, os principais objetivos desta tese consistem em: (1) conseguir uma compreensão do comportamento cíclico no plano e fora do plano de paredes de enchimento tradicionais construídas nas últimas décadas em Portugal; (2) analisar o desempenho de diferentes técnicas de reforço com o objetivo de melhorar o comportamento sísmico das paredes de enchimento; (3) analisar os principais parâmetros que influenciam o comportamento de pórticos de betão armado preenchidos com paredes de enchimento a ações no plano. No sentido de atingir os objetivos propostos, foi definido um plano de trabalhos baseado em análise experimental e numérico. O programa experimental foi composto por três fases, nomeadamente: (1) ensaios estáticos cíclicos no plano; (2) ensaios cíclicos para fora do plano; (3) validação experimental de diferentes técnicas de reforço (argamassa de reboco reforçada e conectores metálicos). Para este efeito foram dimensionados pórticos de betão armados com paredes de enchimento à escala reduzida com base num protótipo seleccionado, considerado representativo da construção tradicional nas últimas décadas.

Foram ensaiados cinco pórticos sujeitos a ações no plano, nomeadamente um pórtico simples, um pórtico com parede de enchimento até à rotura, e três pórticos preenchidos sujeitos a diferentes níveis de deformação lateral (drift de 0.3%, 0.5% e 1%) com o objetivo de impor diferentes níveis de dano e avaliar o seu efeito no comportamento das paredes de alvenaria sujeitas a ações fora do plano. Seis pórticos preenchidos foram ensaiados a ações para fora do plano para caracterizar a influência da qualidade da mão-de-obra, a presença de aberturas e o dano no plano induzido previamente. Os ensaios para fora do plano foram realizados em controlo de deslocamento e a força foi aplicada através de um airbag. O desempenho do reforço através de argamassa reforçada e a ligação dos panos das paredes duplas através de ligadores metálicos também foi avaliado experimentalmente. Para o reboco armado foram seleccionadas duas malhas de reforço à base de fibras de vidro, sendo uma comercial e outra desenvolvida no departamento de Engenharia Têxtil da Universidade do Minho. Com base nos resultados experimentais foi possível concluir que a presença das paredes de enchimento altera significativamente a rigidez e a resistência quando se compara o comportamento do pórtico simples e preenchido. A mão-de-obra tem um papel importante no comportamento das paredes a ações no plano e fora do plano. Verifica-se também que as paredes de enchimento com mais dano prévio apresentam uma resistência e rigidez mais baixa. O reboco armado melhora consideravelmente o comportamento no plano mas a sua eficiência para ações para fora do plano é muito moderada.

O trabalho numérico incluiu a modelação de pórticos preenchidos para ações no plano através de elementos finitos e com base num programa de cálculo comercial. Após a calibração com base em resultados experimentais disponíveis na literatura, foi efetuada uma análise paramétrica com

enfoque na avaliação da influência da distribuição aleatória de aberturas no comportamento no plano. Concluiu-se que as paredes de enchimento com uma distribuição de aberturas aleatória podem ser representadas por bielas equivalentes com uma espessura que tenha em consideração a presença de aberturas. Foi feita ainda a calibração de um modelo numérico para a análise de paredes de enchimento a ações para fora do plano.

## Abstract

Seismic vulnerability of masonry infilled frames observed during past earthquakes in south Europe, caused death of thousands of people and left huge repair or reconstruction costs, justifies the need of deep study of the seismic behavior of masonry infilled frames constructed in South European Countries since 1960s. In spite of several works have been carried out on masonry infills, there is no much investigation on south European traditional infills.

Therefore, the main goals of this thesis are related to (1) better understanding of the cyclic in-plane and out-of-plane behavior of traditional brick infills built in the past decades as enclosures in reinforced concrete (rc) buildings; (2) analysis of different strengthening solutions aiming at enhancing their in-plane and out-of-plane behavior; (3) systematic analysis of the main parameters influencing the in-plane behavior of rc frames with brick infills. To accomplish the defined objectives, extensive experimental and numerical analysis were carried out. The experimental campaign was composed of three phases, namely; (1) static cyclic in-plane testing; (2) out-of plane testing; (3) experimental validation of different strengthening solutions (textile reinforced mortar technique and steel ties). Reduced scale rc frames with brick infills were designed based on a selected prototype representative of construction tradition of rc buildings in the last decades.

Five reduced scale specimens were tested under in-plane loading, namely one bare frame, one rc frame with brick infill tested until failure and more three specimens subjected to different lateral drifts (0.3%, 0.5% and 1%) to impose distinct levels of damage and to investigate the effect of this damage in their out-of-plane response. Six specimens were tested in the out-of-plane direction to characterize the influence of workmanship, presence of central opening and of existence of prior in-plane damage on the out-of-plane response. The out-of-plane testing was performed under displacement control method by using an airbag. The performance of the textile reinforced mortar applied on the surfaces of the brick infills and of the connection of the leaves of the traditional double leaf walls were also evaluated experimentally. For the textile reinforced mortar technique two different types of meshes were used, namely a commercial textile mesh and a textile mesh that was developed at the university in collaboration with the textile department. It was concluded that presence of infill inside the bare frame could significantly enhance the in-plane stiffness and resistance of bare frame. The workmanship played an important role in the in-plane and out-of-plane behaviour of rc frames with brick infills. It is also found that specimens with higher in-plane damage presented lower out-of-plane stiffness and resistance. It was also concluded that TRM technique could enhance the in-plane behaviour of infilled frames but its efficiency on the out-of-plane was very moderate.

Numerical modelling of one-bay and one-storey masonry-infilled reinforced concrete frames was performed using commercial software. After the calibration based on experimental results available in literature, a parametric study was carried out focusing on the evaluation of the influence of random distribution of openings in the in-plane behaviour of the infilled frames. It was also concluded that infill panels with any type of opening can be replaced by an equivalent diagonal strut, whose width can be calculated according to the proposed formula, taking into account different types of openings and relative positioning within the masonry infill. Additionally, the calibration of a numerical model for describing the out-of-plane behaviour was also carried out.