

INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO SISTEMATIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO CASOS PRÁTICOS

Aníbal Costa *

Correio electrónico: agc@fe.up.pt

João Miranda Guedes ^Å

Correio electrónico: jguedese@fe.up.pt

António Arêde ^Æ

Correio electrónico: aarede@fe.up.pt

Nuno Neves [§]

Correio electrónico: nneves@fe.up.pt

Esmeralda Paupério ^{**}

Correio electrónico: pauperio@fe.up.pt

Xavier Romão ^{ÅÅ}

Correio electrónico: xnr@fe.up.pt

Resumo

No âmbito da aplicação de novas tecnologias ao tratamento da informação obtida nas diversas inspecções técnicas que o Núcleo de Conservação e Reabilitação de Edifícios e Património (NCREP) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) tem efectuado, este núcleo tem vindo a desenvolver CDs multimédia como meios adicionais para a sistematização e divulgação da informação. Estas aplicações têm como objectivo disponibilizar a informação de uma forma simples e elucidativa, abrangendo descrições da estrutura, das patologias e dos materiais que constituem os imóveis em causa, e também de técnicas de construção e do enquadramento urbano do imóvel.

No parque edificado dos centros das cidades que usualmente se agrupa em quarteirões, as construções integrantes de um mesmo quarteirão tendem a interactuar umas com as outras, dado que se encontram ligadas entre si através das paredes meias que são comuns a cada par de casas. Este aspecto condiciona o comportamento individual de cada uma de per si e o do conjunto, originando que qualquer intervenção realizada numa das construções tenha de ter em consideração os efeitos favoráveis ou desfavoráveis que poderá originar nas outras. Por outro lado, a forma em planta e em alçado do quarteirão introduz problemas estruturais de comportamento que interessa analisar no caso de centros históricos situados em zonas sísmicas.

Palavras-chave: informação, multimédia, base de dados.

1 Introdução

Os centros das nossas cidades enfrentam profundas alterações sociais, funcionais, económicas, culturais e turísticas, configurando-se realidades urbanas conflituosas entre o fluir das velhas para novas funções. Este caminho obriga a intervenções importantes nestes centros, que muitas vezes são desadequadas e realizadas ão sabor de pressões imobiliárias, que quase sempre actuam numa lógica de demolição/destruição, ou construção completamente desenquadrada do sítio, promovendo o abandono de edifícios antigos e áreas sem ocupação [1]. Este tipo de actuação

* Prof. Associado com Agregação, FEUP.

^Å Prof. Auxiliar, FEUP.

^Æ Prof. Auxiliar, FEUP.

[§] Eng. Civil, Mestre FEUP.

^{**} Eng. Civil, IC-FEUP.

^{ÅÅ} Assistente, FEUP.

tão habitual no nosso País, contribui de uma forma acelerada para o desbaratar de um Património, que poderia ser um dos motores de revitalização desses centros históricos. Por outro lado, na generalidade das intervenções a aplicação de técnicas e materiais de construção completamente inadequados contribuem para uma rápida degradação dos edifícios e uma descaracterização e desvalorização desse Património.

A recuperação do Património Edificado existente nos centros urbanos deve ter um enquadramento estratégico que equacione os diversos interesses em jogo, procurando sempre revitalizar esse centro de modo a que a ocupação dos imóveis seja efectiva e rentável e a manutenção das construções possa ser assegurada. Nesta recuperação deverá ser dada especial atenção ao rigor técnico que as intervenções exigem, utilizando-se os processos tradicionais de construção e implementando-se procedimentos de análise que tenham como resultado a escolha de metodologias compatíveis com as características construtivas dos edifícios [2]. Para além disso, estas metodologias, no caso de centros históricos situados em zonas sísmicas, terão de prever que qualquer intervenção, estrutural ou não, preveja o reforço estrutural das construções já que a ocorrência de um sismo poderá originar o desaparecimento, em segundos, de um Património de valor insubstituível, veja-se o exemplo da cidade de Bam no Irão.

Estas metodologias passam essencialmente pela adopção dos seguintes procedimentos:

Para cada uma das construções existentes nesse centro urbano é fundamental a compreensão das características dos materiais e dos elementos estruturais existentes, a recolha de informação sobre o seu estado original, sobre as técnicas e métodos utilizados na sua construção, sobre as alterações posteriores e os fenómenos que ocorreram e o seu estado presente, nomeadamente a observação dos danos estruturais e a degradação dos materiais. Esta abordagem pode requerer ensaios às estruturas e aos materiais e a monitorização da construção.

O parque edificado dos centros históricos agrupa-se em quarteirões, as construções existentes nesse quarteirão interactivam umas com as outras, dado que se encontram ligadas entre si através das paredes meeiras que são comuns a cada par de casas. Este aspecto condiciona o comportamento individual de cada um de per si e o do conjunto, originando que qualquer intervenção que se faça numa das construções tenha de ter em consideração os efeitos favoráveis ou desfavoráveis que poderá originar nos outros. Por outro lado, a forma em planta e em alçado do quarteirão introduz problemas estruturais de comportamento que interessa analisar.

O presente trabalho tem, assim, como objectivo a apresentação destes procedimentos, que têm sido utilizados pelo Núcleo de Conservação e Reabilitação de Edifícios e Património (NCREP) [3] da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) na área da intervenção em centros históricos, (ver <http://ncrep.fe.up.pt/>) apresentando em primeiro lugar o tratamento, sistematização e apresentação de informação recolhida para a caracterização individual de cada construção, tomando como exemplo um projecto desenvolvido em torno duma habitação em alvenaria de pedra situada em Vila do Conde [4] e em segundo lugar a análise global de um quarteirão, que permite compreender o comportamento estrutural do conjunto a partir da caracterização individual de cada uma das construções que compõem esse conjunto, usando-se, como exemplo, um trabalho desenvolvido no âmbito de uma tese de mestrado [5], relativo ao estudo do comportamento de um quarteirão situado na freguesia da Matriz, junto à Câmara Municipal da Horta, quando sujeito à acção de um sismo.

2 Primeiro Procedimento

O primeiro procedimento, como já foi referido, consiste na recolha da máxima de informação sobre as construções existentes no quarteirão. Este procedimento terá de ser individualizado para cada uma das construções e a informação recolhida deverá ser organizada e sistematizada em relatórios. A partir da aplicação de novas tecnologias ao tratamento da informação é possível desenvolver CDs multimédia como meios adicionais para a sistematização e divulgação dessa informação. Estas aplicações têm como objectivo disponibilizar a informação de uma forma simples e elucidativa, abrangendo descrições da estrutura, das patologias e dos materiais que constituem os imóveis em causa, e também de técnicas de construção e do enquadramento urbano do imóvel.

A comunicação multimédia é uma inovação tecnológica recente. A multimédia pode ser vista como uma tecnologia importante que facilita o trabalho na apresentação de informação e de dados, no trabalho cooperativo e treino, no ensino e na comunicação em geral. A sua aplicação muda a forma como as pessoas apreendem a informação e, em termos latos, a forma como comunicam entre si.

O conceito de multimédia interactiva surge claramente como a tecnologia do século XXI. Os benefícios da multimédia interactiva são de tal forma intuitivos e interessantes que começam a alcançar todas as áreas de negócio. Trabalhar na área multimédia é reconhecer que o conhecimento não reside unicamente nas mentes de um indivíduo, em livros, em jornais, em bibliotecas, em laboratórios, em bases de dados ou em experiências da vida. O conhecimento reside num espaço que cobre e envolve todos estes. Neste sentido, é importante entender que a informação não é estática, mas sim dinâmica e móvel, e que a tecnologia multimédia abre as portas para o desenvolvimento de novos tipos de veículo para o acesso e distribuição dessa informação.

2.1 Ferramentas utilizadas

Um dos aspectos mais importantes no desenvolvimento desta aplicação multimédia consistiu na escolha de aplicativos adequados que permitissem definir os conteúdos da forma pretendida, uma vez que o desenvolvimento de ferramentas de criação de conteúdos multimédia não se encontra nos objectivos deste trabalho. Assim a escolha foi efectuada de forma a atender a dois factores fundamentais:

- Manter a complexidade do desenvolvimento da aplicação multimédia num nível razoável.
- Possibilitar a transferência das diversas fontes de informação, em formatos diferentes, entre os diversos aplicativos. Desta forma, a informação pré-existente não necessitaria ser reformatada ou mesmo reproduzida num outro formato.

No que respeita ao primeiro factor, a escolha recaiu no software de autoria Macromedia Director [6]. Sistemas de autoria como o Macromedia Director permitem desenvolver aplicações multimédia completas, desde simples ou complexas apresentações, até aplicações de treino e formação interactiva. O software de autoria consiste em programas de computador de alto nível que permitem que designers ou programadores trabalhem com palavras e conceitos do dia-a-dia para criar apresentações interactivas. A principal função destes aplicativos é permitir que qualquer utilizador realize a combinação de texto, gráficos, animações, som e vídeo numa aplicação interactiva integrada e bem definida. O desenvolvimento de aplicações multimédia com o Ma-

romedia Director baseia-se no conceito de realização dum filme. O utilizador é o realizador (director) que está a criar uma aplicação (o *movie*), trabalhando com um conjunto de elementos que pretende incluir na aplicação (o *cast*) e que são colocados em determinados locais escolhidos (o *stage*). De forma a oferecer uma maior flexibilidade na gestão dos diversos conteúdos multimédia, o Macromedia Director possui uma linguagem de programação associada, o Lingo, que permite realizar todo o tipo de operações e manipulações necessárias de forma poderem ser criados aplicativos com um maior ou menor grau de interactividade.

Uma das grandes vantagens do Macromedia Director está associada ao segundo factor previamente enunciado. O Macromedia Director é compatível com um grande número de formatos de imagem, vídeo e áudio, geralmente suficientes para a maioria das aplicações. No entanto, uma das ferramentas de desenho assistido por computador mais utilizadas em engenharia civil, o AutoCAD® [7], não produz desenhos 2D ou 3D em formato compatível com o Macromedia Director. Assim, houve necessidade de recorrer a dois outros aplicativos para efectuar essa transferência de formatos. No que respeita a desenhos 2D produzidos em AutoCAD®, recorreu-se ao programa Macromedia Flash [8] para efectuar a conversão directa dos mesmos. Relativamente aos modelos 3D produzidos em AutoCAD®, estes foram convertidos num outro formato 3D através do aplicativo ModelPress Publisher [9], formato esse que é interpretado pelo programa ModelPress Reader [10] que pode ser executado a partir da aplicação multimédia. A vantagem da utilização do ModelPress Reader prende-se, por um lado, com a grande flexibilidade deste programa em manipular em tempo real modelos 3D de objectos complexos, e por outro na possibilidade de manter referências directas à forma como a informação foi definida no modelo de AutoCAD®. Nomeadamente, o ModelPress Reader permite tornar visíveis ou invisíveis determinadas partes do modelo usando como referência as layers definidas em AutoCAD®, permite efectuar diversos tipos de cortes bem como medições dos elementos visualizados.

2.2 Estrutura da aplicação desenvolvida ãHabitação Familiar em Vila do Condeö

Apresenta-se em seguida a estrutura geral da aplicação multimédia desenvolvida, sendo salientados os aspectos mais importantes bem como alguns dos conteúdos que mais beneficiam com a sua inclusão num formato multimédia.

Após uma breve animação de introdução, a aplicação multimédia imobiliza-se no ecrã principal representado na Figura 1 que permite aceder ao menu dos conteúdos do CD. A escolha dos conteúdos a visualizar num determinado momento é feita a partir dum menu semelhante ao apresentado na Figura 2. Os diversos conteúdos encontram-se organizados por 6 temas: Localização, Habitação, Revestimentos, Estrutura, Mapa de Danos e Intervenção Sugerida. Cada um destes temas dá acesso a diversos sub-temas que, em seguida, são descritos de forma sucinta.

- **Localização:** os sub-temas Localização Geográfica, Envolvente Urbana e História de Vila do Conde complementam-se na definição do enquadramento geográfico da habitação em estudo, nomeadamente, através da apresentação de textos, fotografias da envolvente urbana e possibilitando a ligação a páginas da Internet com informação acerca de Vila do Conde. A Figura 3 e a Figura 4 apresentam dois ecrãs da Envolvente Urbana, onde se podem observar fotografias da zona envolvente da habitação referenciadas numa planta da zona urbana que circunda a habitação. Adicionalmente, é ainda possível aceder a registos cartográficos da envolvente urbana

e a registos fotográficos de material gráfico desta envolvente que mostram a sua evolução longo dos tempos.

- **Habitação:** os sub-temas Descrição e Alterações Observadas apresentam uma descrição da arquitectura da habitação através de textos e fotografias, incluindo um levantamento fotográfico das zonas onde foram identificadas alterações ao projecto inicial da habitação, referenciado em plantas dos diferentes pisos.
- **Revestimentos:** os sub-temas Revestimentos Exteriores, Revestimentos e Pormenores Interiores apresentam, com recurso a diferentes estratégias de visualização, descrições detalhadas dos diferentes tipos de revestimentos presentes na habitação em estudo. Os revestimentos exteriores são apresentados por alçado através de desenhos 2D de AutoCAD®, Figura 5. Em termos de revestimentos interiores, são abordadas as diferentes técnicas de revestimento existentes, sendo apresentadas descrições dessas técnicas e registos fotográficos da habitação que as exemplificam, Figura 6. Em termos de pormenores interiores, é apresentado um registo fotográfico de diferentes aspectos da habitação que, do ponto de vista arquitectónico, foram considerados de interesse.
- **Estrutura:** os sub-temas Caracterização Material e Modelo Tridimensional complementam-se na apresentação e descrição da estrutura resistente da habitação. Na caracterização material são descritas, separadamente, a estrutura das paredes resistentes, dos pavimentos e da cobertura. Por seu lado, o modelo tridimensional apresenta uma representação 3D da habitação, Figura 7, que permite interagir em tempo real com o modelo através da interface do programa ModelPress Reader. Entre outras opções, esta interface permite tornar visíveis ou invisíveis diferentes elementos do modelo (por exemplo, tornando invisíveis as paredes exteriores é possível observar o interior da habitação), permite efectuar cortes que possibilitam observar apenas certas secções do modelo e permite efectuar medições dos diversos elementos do modelo.
- **Mapa de Danos:** os sub-temas Levantamento de Patologias e Registo de Danos apresentam duas estratégias diferentes para a descrição das patologias identificadas na inspecção técnica da habitação [4]. São apresentados desenhos 2D dos alçados da habitação onde estão assinaladas as diferentes patologias observadas. Estes desenhos incluem conteúdos interactivos, na medida em que, ao passar com o cursor do rato sobre as representações das patologias, são exibidas fotografias das mesmas, Figura 8. Adicionalmente, são disponibilizadas as fichas de registo de patologias em formato pdf que constam do referido relatório de inspecção.
- **Intervenção Sugerida:** os sub-temas Ensaios/Sondagens, Reforço Provisório e Registo de Obra são constituídos por registos fotográficos de alguns dos ensaios de caracterização estrutural adicional realizados na habitação e da solução de reforço estrutural preconizada no relatório de inspecção, sendo que esta última se encontra igualmente descrita.



Figura 1: Ecrã principal de acesso ao menu dos conteúdos



Figura 2: Menu de escolha dos diferentes tipos de conteúdos



Figura 3: Envolvente urbana

Figura 4: Envolvente urbana

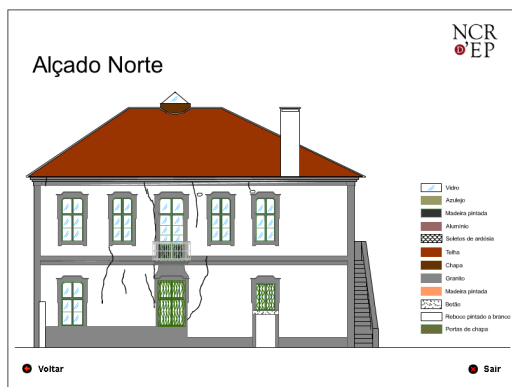


Figura 5: Revestimentos exteriores

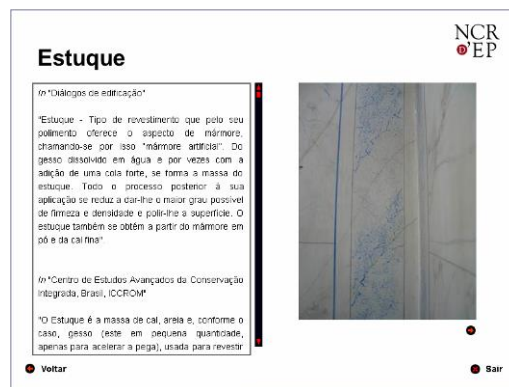


Figura 6: Técnicas de revestimento

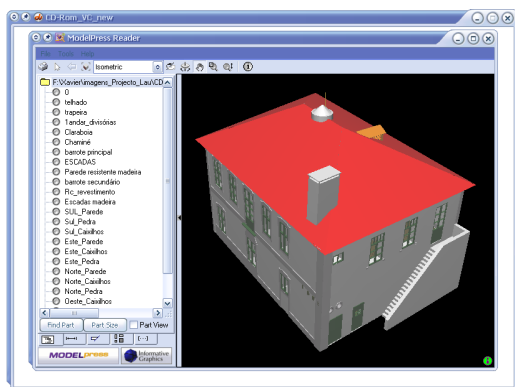


Figura 7: Modelo tridimensional

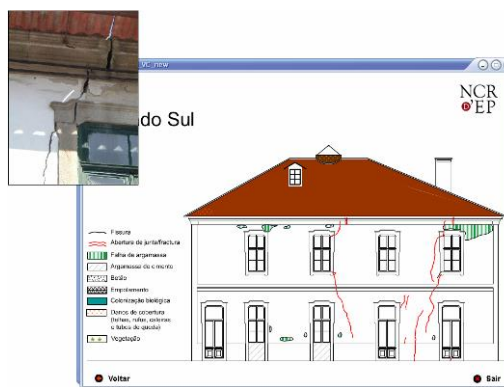


Figura 8: Levantamento de patologias

3 Segundo Procedimento

A disponibilização de poderosos meios de cálculo, baseados quer no método dos elementos finitos, quer no método dos elementos discretos, possibilita modelações estruturais capazes de traduzir, com apreciável aproximação, o comportamento estrutural de quarteirões situados em centros históricos. De facto, mais do que a adopção dum modelo computacional adequado, as principais dificuldades acabam por surgir ao nível da caracterização dos materiais constituintes, nomeadamente no que se refere à resistência e rigidez, devido à heterogeneidade dos materiais e às técnicas de construção usadas nas estruturas antigas (em particular nas de alvenaria de pedra). Assim, para além das análises numéricas propriamente ditas, é importante que a informação obtida com a utilização do primeiro procedimento seja a mais fidedigna e o mais exaustiva possível.

A avaliação das características dos materiais com recurso a ensaios òin-situò e de laboratório sobre amostras colhidas no local constitui uma preciosa, e mesmo indispensável, contribuição para o sucesso da análise.

O quarteirão em estudo situa-se na freguesia da Matriz, junto à Câmara Municipal da Horta, tendo a Sul o edifício dos correios, a Norte a Travessa da Misericórdia, a Este a Rua Serpa Pinto e a Oeste a Rua Comendador Ernesto Rebelo (Figura 9). Apresenta dois tipos diferentes de edifícios com comportamentos dinâmicos distintos, nomeadamente construções tradicionais de alvenaria de pedra na generalidade do quarteirão e uma estrutura porticada de betão armado no edifício dos correios (Figura 10). Tem um desenvolvimento ao longo da Rua Comendador Ernesto Rebelo de cerca de 141m e uma largura média de cerca de 62m.

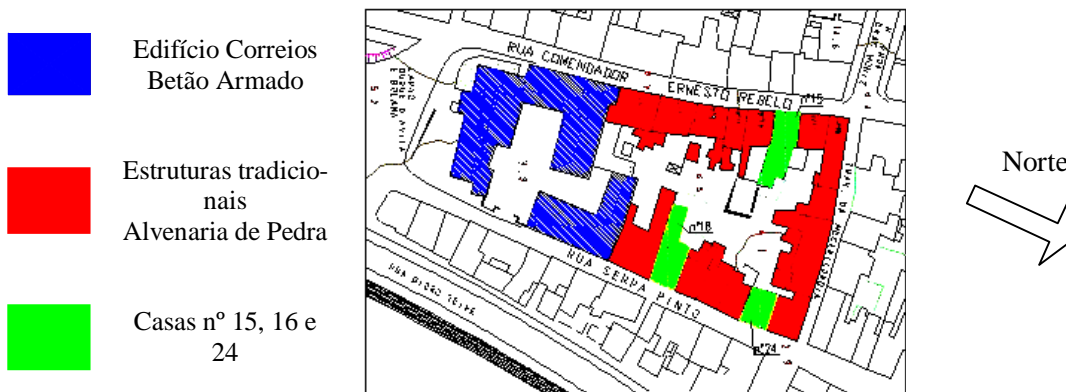


Figura 9: Planta de Implantação do Quarteirão

Observa-se também a existência de cantos, gavetos e de corpos mais estreitos e compridos nas traseiras dos edifícios, introduzindo descontinuidades estruturais em planta, responsáveis por excentricidades locais e globais no quarteirão, e que constituem zonas extremamente vulneráveis, como tem sido evidenciado na sequência de diversos sismos, como por exemplo o dos Açores (1980). Por sua vez, as Figura 10-a) e Figura 10-b) realçam alguns dos desníveis existentes no quarteirão, devidos à topografia do terreno ou às diferentes cérceas dos prédios contíguos ou ainda à diferença de pés direitos; tais desníveis materializam descontinuidades verticais importantes que originam também uma acrescida vulnerabilidade sísmica das estruturas envolvidas.



a) Rua Comendador Ernesto Rebelo



b) Rua Serpa Pinto



c) Edifício dos Correios

Figura 10: Quarteirão

No decorrer do trabalho foram estudadas, com mais pormenor, a casa nº15 da Rua Comendador Ernesto Rebelo e as casas nº 16 e nº 24 da Rua Serpa Pinto. Estas foram seleccionadas com base na sua localização e tipologia, sendo a casa nº 16 representativa dos problemas de heterogeneidades em altura e a casa nº 24 representativa dos problemas dos cantos e gaveto. A casa nº 15 foi seleccionada porque havia sido previamente realizado o seu levantamento geométrico completo e localizava-se perto de um gaveto (Figura 11).



a) Casa nº 15

b) Casas nºs 16 e 24

c) Casa nº 24

Figura 11: Construções estudadas com mais pormenor

3.1 Ensaios dinâmicos e calibração dos modelos numéricos

Nas medições dinâmicas *in-situ* foi possível efectuar medições nas casas referenciadas, através do uso de cinco sismógrafos em cada estação de medida, dois dos quais funcionando como sismógrafos de referência. A sua localização em cada uma das casas foi adequadamente estudada, por um lado com base nos resultados de modelações numéricas preliminares já efectuadas, e por outro adequando as condições existentes às acessibilidades no local para o que foi determinante a disponibilidade demonstrada pelas populações que se mostraram receptivas à execução dos ensaios. Foram assim obtidos registos dinâmicos nas casas nº 15, 16 e 24, a partir dos quais foi possível aferir e calibrar os modelos numéricos entretanto desenvolvidos, conforme se mostra na Figura 12.

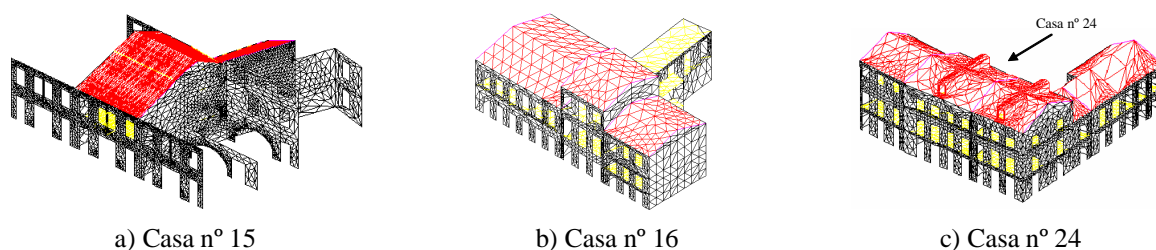


Figura 12: Modelos numéricos

Em qualquer uma das casas, os modelos utilizados para calibração têm em conta o efeito conjunto materializado pelas casas vizinhas mais próximas. Relembre-se que o estudo destas casas está inserido na análise global do quarteirão [5], no qual foram estudadas as influências do comportamento global do quarteirão no comportamento individual de cada casa.

No processo de calibração avaliaram-se as características mecânicas das paredes, associadas à sua qualidade e ao seu grau de conservação, e as características mecânicas dos pavimentos, nomeadamente o seu funcionamento no seu plano. Uma das principais dificuldades existentes neste tipo de problemas e estudos é avaliar convenientemente o comportamento dos pavimentos quando a estrutura em que se encontram é submetida a esforços horizontais, nomeadamente o sismo. A rigidez dos pavimentos no seu plano condiciona o comportamento da estrutura global, nomeadamente na sua rigidez e na distribuição de tensões nos elementos verticais (paredes). Para cada uma das casas foram calibrados estes dois parâmetros, cujos resultados se apresentam na Figura 13 a Figura 15 [5]. Atente-se que a rigidez dos pavimentos é traduzida na espessura dos elementos de casca utilizados nos modelos numéricos. Uma espessura de 0.15 cm está associada à inexistência de qualquer funcionamento de diafragma dos pavimentos, tendo sido calibrada por comparação com o modelo da mesma casa mas em que os pavimentos são modelados apenas com os barrotes primários e secundários. O soalho das casas tem na realidade aproximadamente 2cm de espessura pelo que a consideração deste valor para a espessura dos elementos de casca conduz ao eventual funcionamento do soalho como uma *ôlaje* uniforme, contínua e rígida no seu plano. Os valores intermédios traduzem uma diminuição da rigidez do soalho associado à sua constituição e à interligação dos elementos (tábuas) que o constituem. A calibração com os resultados experimentais permitiu concluir que o valor de 1,5cm seria o adequado. Estes valores intermédios

são naturalmente artifícios de cálculo mas que permitem avaliar de uma forma qualitativa o grau de eficiência dos elementos constituintes dos pavimentos.

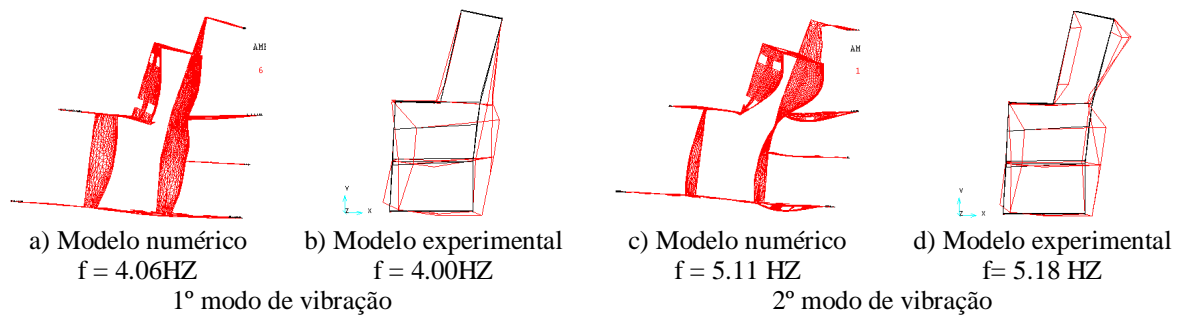


Figura 13: Casa nº 15 - Modelo numérico final ($E_{par} = 650 \text{ MPa}$; $esp_{pav}=1.5\text{cm}$) e sua comparação com o modelo experimental

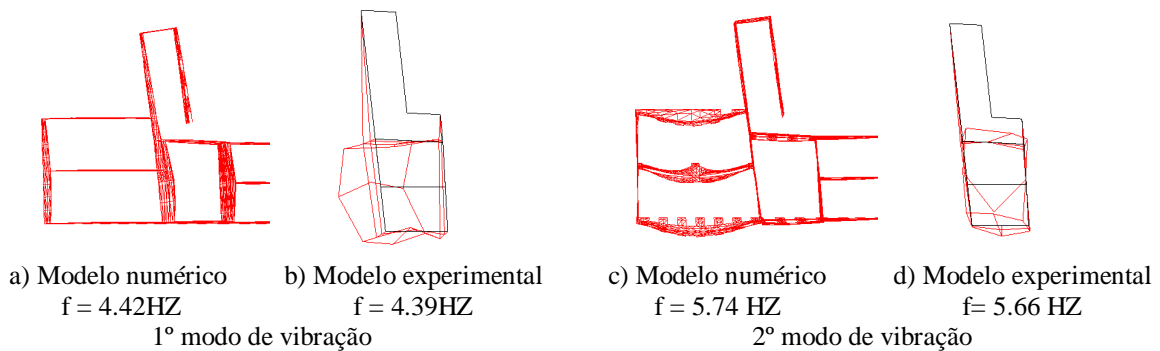


Figura 14: Casa nº 16 - Modelo numérico final ($E_{par} = 800 \text{ MPa}$; $esp_{pav}=1.5\text{cm}$) e sua comparação com o modelo experimental

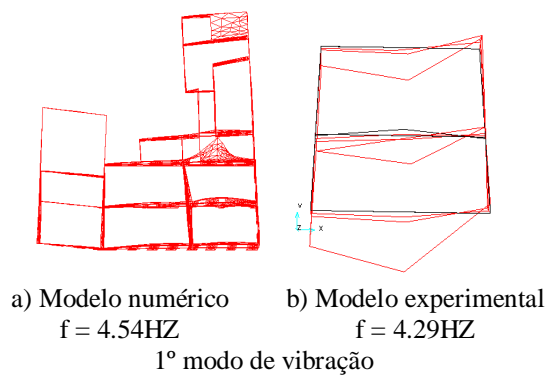


Figura 15: Casa nº 24 - Modelo numérico final ($E_{par} = 800 \text{ MPa}$; $esp_{pav}=1.5\text{cm}$) e sua comparação com o modelo experimental

3.2 Acções consideradas no estudo

3.2.1 Acções Verticais

As acções verticais consideradas foram quantificadas de acordo com os valores descritos no Quadro I.

Quadro I - Acções consideradas

Peso das paredes	Peso da madeira	Cargas Permanentes	Sobrecarga
18 kN/m ³	2,7 kN/m ³	0,5 kN/m ²	2,0 kN/m ²

Neste trabalho foram analisados os efeitos da acção sísmica no quarteirão, tendo sido adoptadas na análise numérica as cargas verticais e a acção do sismo. Em concordância com os preceitos regulamentares habituais, a massa mobilizada para a acção do sismo corresponde às combinações quase permanentes de acções, isto é a $G+\Psi_2 \times Q$, onde G e Q representam as acções permanentes e a sobrecarga e Ψ_2 o coeficiente de combinação que foi tomado com o valor de 0,4.

3.2.2 Acção Sísmica

Atendendo a que se tratam de construções que foram afectadas por um sismo, assume particular interesse a realização da análise sísmica com base naquela acção específica uma vez que permite fazer um confronto dos resultados numéricos com os efeitos reais daquele sismo sobre os edifícios do quarteirão e assim, conseguir uma forma adicional de validação das condições adoptadas na modela ou que poderão ocorrer no futuro. Para analisar e simular a resposta das casas e do quarteirão à acção de acelerogramas registados *in-situ* aquando da ocorrência do sismo, recorreu-se ao programa de análise estrutural CAST3M [11].

Neste contexto, a acção sísmica considerada caracteriza-se pelos acelerogramas registados a 9 de Julho de 1998 ao nível das fundações do Observatório Príncipe de Mónaco, situado na cidade da Horta, ilha do Faial, com distância epicentral da ordem dos 10 a 15 km [12].

Analisando a localização do quarteirão na carta dos solos para a ilha do Faial [13] verifica-se que se trata de uma zona de solos tipo 1 cuja aceleração máxima pode atingir 177 cm/s². Para a cidade da Horta este valor corresponde a um sismo com um período de retorno de cerca de 200 anos [14]. Deste modo, e atendendo à localização do observatório a uma altitude mais elevada com consequente amplificação dos valores da aceleração registados, para a generalidade das análises sísmicas efectuadas neste trabalho, os registos obtidos foram escalados por forma a que a aceleração máxima global fosse igual a cerca de 180 cm/s².

3.3 Análise Sísmica das casas com base nos modelos calibrados

Nesta comunicação apenas se apresentam os resultados em uma das casas (casa nº 15) uma vez que nas restantes as conclusões são qualitativamente semelhantes.

3.3.1 Casa nº 15

Numa primeira análise calcularam-se as tensões resultantes das acções estáticas verticais (cargas permanentes + sobrecargas). Estes valores são importantes para comparar com os resultados dos efeitos da acção do sismo acima referida, permitindo avaliar um factor de amplificação. Os valores e distribuições das tensões representadas referem-se a duas paredes da casa nº 15,

nomeadamente a parede frontal e a parede meeira direita (Figura 16). Com estes dois elementos procurou-se identificar os pontos mais críticos e vulneráveis da estrutura, que evidenciam alguns dos problemas aí existentes.

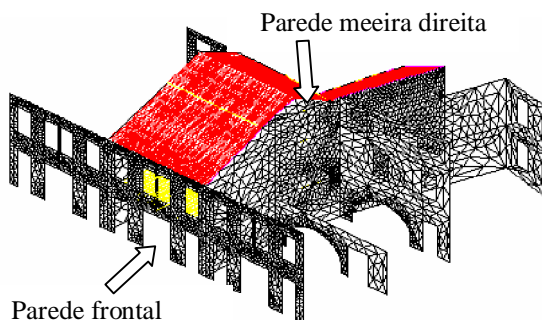


Figura 16: Casa nº 15 ó Paredes analisadas

Os resultados das acções estáticas verticais (Figura 17) mostram valores das tensões principais instaladas nas duas paredes e respectivas direcções.

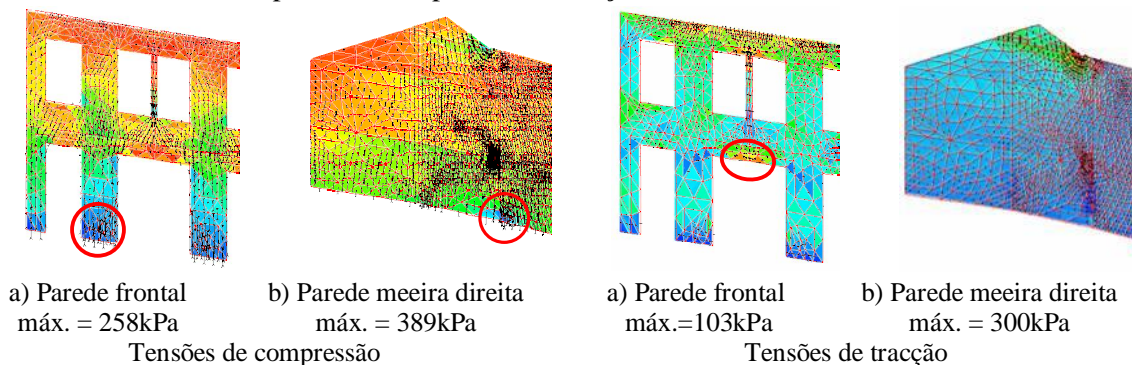


Figura 17: Casa nº 15 - Mapas de tensões principais e respectivas direcções para cargas estáticas

A avaliação das tensões principais e a sua direcção assumem especial interesse uma vez que permitem, por um lado quantificar as tensões máximas instaladas e, por outro, compreender o caminho das forças que permite identificar a direcção das fendas em cada local.

Os resultados da acção sísmica estão representados na Figura 18 e correspondem à envolvente de tensões para todos os pontos e não a um nível de tensões correspondentes a um determinado instante.

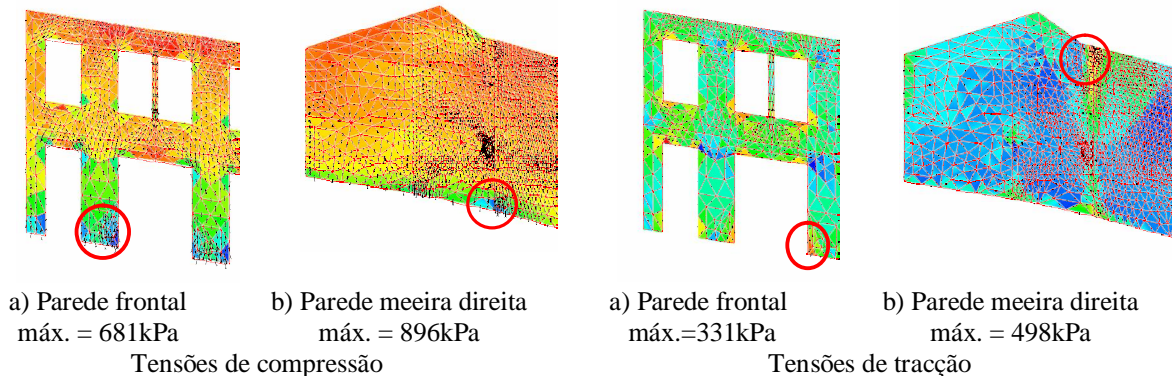


Figura 18: Casa nº 15 - Mapas de tensões principais e respectivas direcções para cargas sísmicas

Os resultados mostram um aumento significativo do valor das compressões, com um factor de amplificação de cerca de 2,50. Relembre-se que os valores das tensões sísmicas podem ser reduzidos para ter em conta o comportamento não linear das estruturas, passando o factor de amplificação para a ordem de 1,70 admitindo um coeficiente de comportamento de 1,5.

Apesar do aumento sofrido, os valores das compressões não comprometem a segurança da estrutura, permanecendo abaixo da resistência estimada das paredes.

A acção sísmica induz um aumento significativo nas tracções, principalmente na parede frontal com um factor de amplificação de cerca de 3; no entanto, atendendo a que se trata de uma análise no domínio elástico e considerando um coeficiente de comportamento η de 1,5, resulta um valor de 2 para o referido factor de amplificação. Estes esforços localizam-se essencialmente junto às aberturas das janelas ou portas, e junto às intersecções com outros elementos em zonas de descontinuidade estrutural. Na parede meeira direita, em particular, pode-se verificar a concentração de tensões de tracção nas zonas de intersecção com as paredes da habitação vizinha que, sendo muito rígidas no seu plano, originam uma concentração de esforços. A parede assinalada na Figura 19 funciona como apoio à parede meeira ao longo da sua altura obrigando aquela a flectir em torno de um eixo vertical desenvolvendo-se tracções horizontais significativas. Recorde-se que quando solicitadas por acções horizontais, estas paredes estão apoiadas nas paredes perpendiculares, na base e ao nível dos pisos, dependendo a eficácia destes últimos da sua rigidez no seu plano.

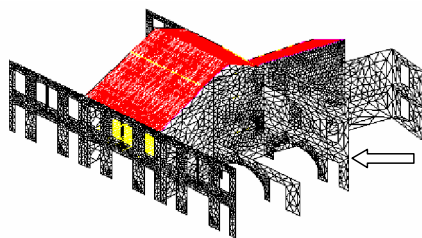
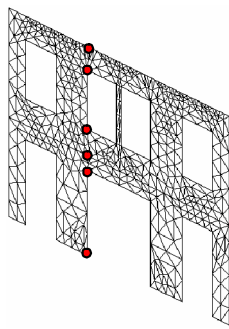
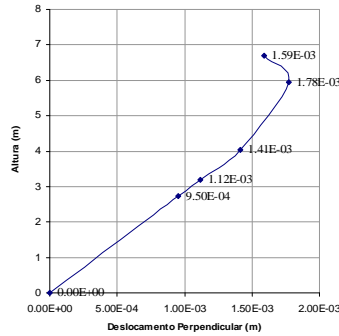


Figura 19: Casa nº 15 ó Parede meeira direita / Parede da habitação vizinha

Outro factor que importa analisar é o deslocamento perpendicular às paredes ao longo da sua altura. Em particular, a quantificação do valor do δ entre pisos tem especial interesse uma vez que este está fortemente relacionado com potenciais patologias que podem ocorrer nas estruturas e em especial nas de alvenaria de pedra que têm limitadas capacidades de deformação relativa. Ao contrário do que acontece em estruturas metálicas, e mesmo de betão armado, onde se podem explorar valores de ductilidade mais elevados, este tipo de estruturas, pela sua constituição e processo construtivo, não é capaz de absorver grandes deformações podendo mesmo conduzir ao colapso se não forem controladas. Deste modo, para as paredes referidas na análise de tensões e para a mesma carga sísmica aplicada (acelerogramas registados e escalados) fez-se uma análise de deslocamentos que conduziu aos resultados representados na Figura 20 e Figura 21. Estes resultados representam, para cada alinhamento, os deslocamentos para o instante em que o deslocamento do ponto com cota superior é máximo.



a) Pontos de cálculo

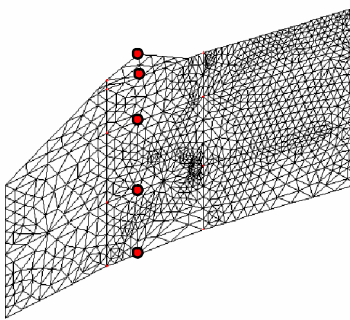


b) Deslocamento perpendicular

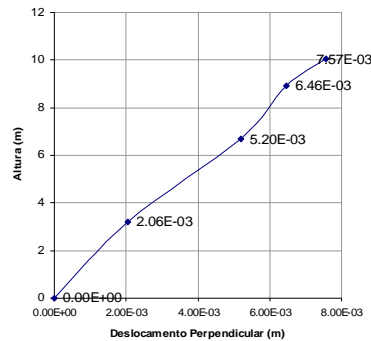
DRIFT = $(d_a - d_b) / (h_a - h_b)$	
Piso 1 - Piso 2	0.01%
Piso 0 - Piso 1	0.03%

c) Drift

Figura 20: Casa nº 15 ó Parede Frontal ó Deslocamentos e òdriftõ



a) Pontos medidos



b) Deslocamento perpendicular

DRIFT = $(d_a - d_b) / (h_a - h_b)$	
Piso 3 - cumeeira	0.09%
Piso 2 - Piso 3	0.06%
Piso 1 - Piso 2	0.09%
Piso 0 - Piso 1	0.06%

c) Drift

Figura 21: Casa nº 15 ó Parede meeira direita ó Deslocamentos e òdriftõ

Os resultados mostram que os valores do òdriftõ são maiores na parede lateral do que na parede frontal. De facto, os resultados dinâmicos desta casa (modelo calibrado) mostram os modos de vibração fundamentais na direcção longitudinal do quarteirão, sendo por isso a direcção mais òflexívelõ. Deve ser realçado que para as paredes laterais os valores do òdriftõ obtidos estão próximos (ultrapassando em alguns casos) do valor de 0.1% tido como limite na norma FEMA 356/357 [15] para a ocorrência de fissurações nos elementos estruturais sem comprometer a sua segurança global.

Enquanto que nas tensões é admissível ter em conta os efeitos não lineares do comportamento da estrutura através do coeficiente de comportamento, os valores dos deslocamentos não devem ser minorados, sendo mesmo expectável neste caso que possam ser superiores aos obtidos na análise numérica, [16].

3.4 Análise dos Resultados

Neste trabalho foram descritos, numa primeira fase, os resultados de calibração dos modelos numéricos das estruturas estudadas òin-situõ. Posteriormente, para além da análise dinâmica procedeu-se à análise do comportamento sísmico de cada uma delas. Assumindo-se como correctas as propriedades mecânicas das paredes resultantes dos ensaios experimentais, fez-se o estudo sísmico recorrendo aos modelos numéricos calibrados e a outros que, com base naqueles, poderiam simular de uma forma mais correcta o comportamento das estruturas quando sujeitas a grandes acelerações, tendo em conta a variabilidade e heterogeneidade dos materiais constituintes, parametrizando algumas variáveis como a rigidez dos pisos, o efeito conjunto do quarteirão e as

próprias características mecânicas das paredes mestras. Estas análises comparativas comprovam a necessidade de garantir o bom comportamento estrutural dos pavimentos, conferindo-lhes rigidez no seu plano. A influência do efeito de grupo é igualmente notória podendo a sua não consideração nas análises estruturais deturpar o comportamento real da estrutura e mesmo localmente subestimar os esforços instalados. Verifica-se igualmente, como era de esperar, que a importância relativa das características mecânicas das paredes é consideravelmente superior no caso dos pavimentos não funcionarem como diafragmas rígidos no seu plano, devendo nestes casos existir um particular cuidado nas zonas dos cunhais.

Relativamente aos valores de deslocamentos obtidos, verifica-se um agravamento global e relativo (ôdriftô entre pisos) no caso em que as paredes funcionam sem os pavimentos rígidos no seu plano. Se no caso das características calibradas, os deslocamentos máximos obtidos correspondem a valores de ôdriftô dentro dos limites de garantia de segurança sem patologias significativas (0,1%), no caso em que os pavimentos não tenham rigidez, ou no caso limite sem pavimentos, os deslocamentos aumentam consideravelmente comprometendo a própria segurança estrutural. A influência do efeito de grupo nos deslocamentos máximos é em geral positiva, no entanto deve ser avaliada caso a caso, dependendo da localização da parede, quer na casa em que se insere, quer relativamente às casas anexas. Se o local em causa pertencer a uma zona com heterogeneidades em planta, o contributo do efeito de grupo é mais reduzido, se por outro lado estiver localizada numa zona da parede meeira com paredes perpendiculares em habitações vizinhas os deslocamentos são evidentemente mais reduzidos. Saliente-se ainda que as diferenças de deslocamentos entre as várias hipóteses de modelação são mais significativas nos pisos superiores, nos quais, conforme foi dito anteriormente, existem maiores diferenças de tensões. Nos pisos superiores a rigidez dos pavimentos tem maior relevância devido à maior deformabilidade das paredes, ao contrário do que acontece nos pisos inferiores nos quais a proximidade da fundação conferem maior rigidez relativa.

Estas análises permitiram em cada uma das casas localizar os pontos mais frágeis que potencialmente necessitam de cuidados de reforço e manutenção. No entanto, estão enquadradas no estudo global de um quarteirão que funciona como um corpo único condicionando e sendo condicionado por cada uma das casas que o constituem. Os resultados obtidos, principalmente na fase de calibração permitem efectuar o estudo global do quarteirão [5].

3.5 Análises numéricas globais do quarteirão

As análises globais do quarteirão foram baseadas em modelos numéricos com o objectivo de simular o melhor possível o comportamento dos edifícios. No processo de calibração foram aferidas as propriedades das paredes (Quadro II) e dos soalhos que melhor representavam a resposta obtida nos ensaios dinâmicos efectuados.

Quadro II ó Casas nos 15, 16 e 24. Propriedades da alvenaria de pedra

Paredes	Material	(ton/m ³)	<i>E</i> (GPa)
Casa nº 15	Alvenaria de pedra	1.8	0.65
Casa nº 16	Alvenaria de Pedra	1.8	0.8
Casa nº 24	Alvenaria de Pedra	1.8	0.8

No modelo calibrado foram consideradas estas características dos materiais e, conforme se referiu anteriormente, os pavimentos foram modelados com elementos de casca de 1.5cm de espessura, conferindo-lhes uma razoável rigidez no seu plano, com densidade equivalente ao peso

dos pavimentos com madeira criptoméria. Esta estratégia foi igualmente adoptada nos modelos numéricos globais do quarteirão, conforme se descreve nos pontos seguintes.

3.5.1 Modelo global do quarteirão calibrado

Com base em levantamentos efectuados *in-situ*, quer durante a execução dos trabalhos dinâmicos, quer previamente (logo após o sismo de 1998), foi possível caracterizar geometricamente o quarteirão e, conseqüentemente, elaborar modelos numéricos adequados para representarem a estrutura real, Figura 22. Para além da definição geométrica, foi necessário caracterizar mecanicamente os materiais que compõem cada um dos edifícios do quarteirão, para o que foram utilizadas as características mecânicas dos materiais calibradas e já descritas.

As paredes das casas estudadas foram agora modeladas com as características referidas no Quadro II. Para as restantes foi necessário extrapolar as características das casas n^{os} 15, 16 e 24, tendo por base a visualização das fachadas principais e alguns levantamentos efectuados numa fase anterior a este trabalho. Relativamente ao edifício dos correios foram utilizadas as propriedades do betão B25 ($\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ e $E = 29\text{GPa}$) com as paredes modeladas com elementos de casca de 15cm de espessura para atender à existência de aberturas e as lajes com 15cm de acordo com observação *in-situ*.

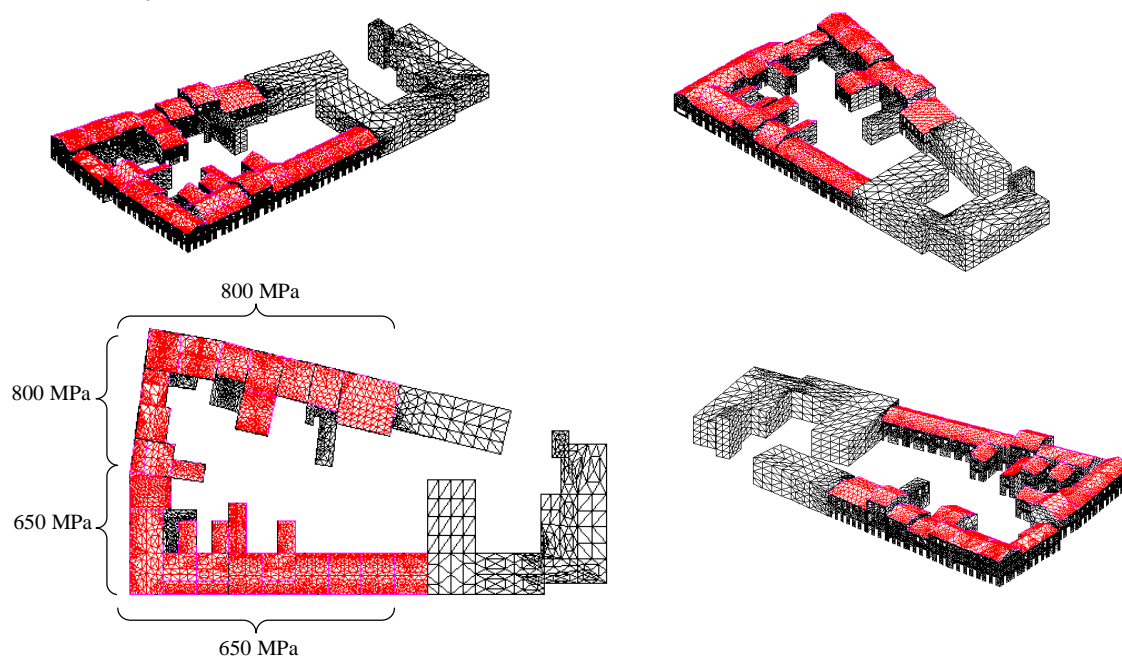


Figura 22: Quarteirão: Modelo global - Módulo de deformabilidade adoptado para as paredes dos edifícios de alvenaria

A discretização dos elementos estruturais do edifício dos correios foi feita de uma forma simplificada, tendo-se procurado apenas garantir uma rigidez da mesma ordem de grandeza da estimada através dos resultados experimentais dinâmicos. A verificação da sua estabilidade está fora do âmbito deste trabalho, tendo-se apenas considerado importante analisar a sua influência no comportamento global.

Importa referir que, na modelação, foi considerado o desnível existente entre a Rua Comendador Ernesto Rebelo e a Rua Serpa Pinto, materializado pela apreciável inclinação da Travessa da Misericórdia (Figura 23).



Figura 23: Quarteirão - Inclinação da Travessa da Misericórdia.

3.5.1.1 Análise dinâmica modal

A análise dinâmica permitiu obter as frequências e os modos de vibração representados na Figura 24 onde se incluem também as referências aos modos locais das casas que têm correspondência com os modos globais do quarteirão. Chama-se particular atenção ao modo nº 3, que apesar de mobilizar de uma forma mais notória uma das casas da Travessa da Misericórdia, envolve também as casas do canto entre a mesma Travessa e a Rua Serpa Pinto, activando assim a casa nº 24.

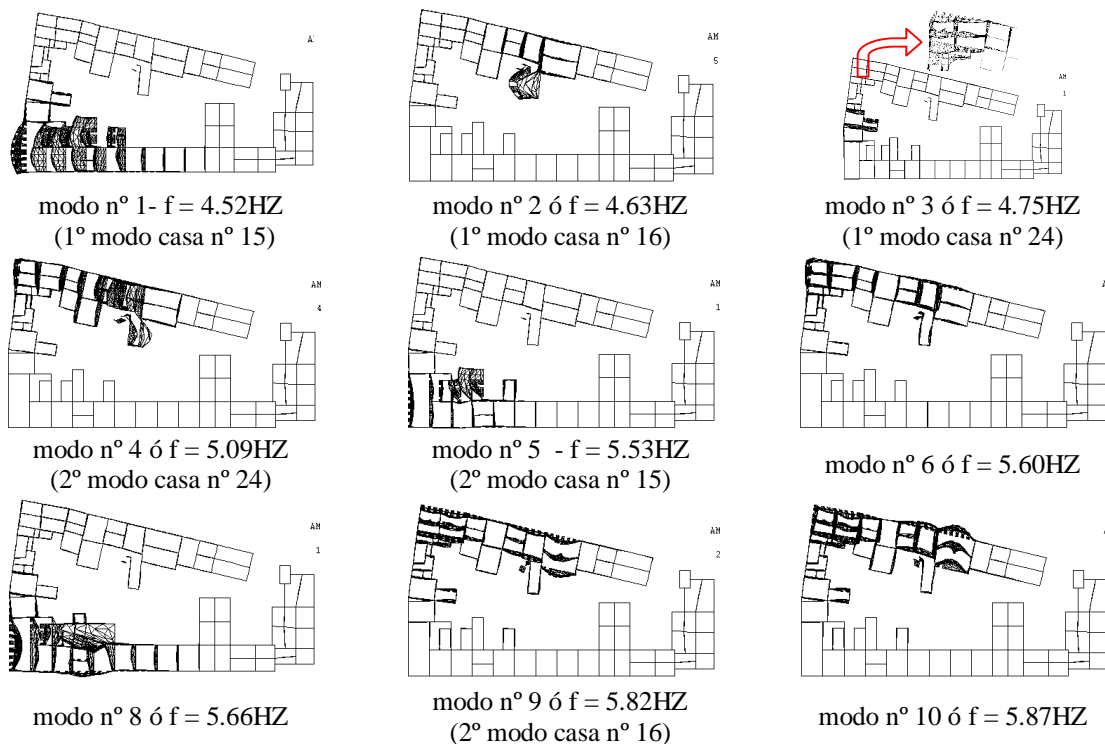
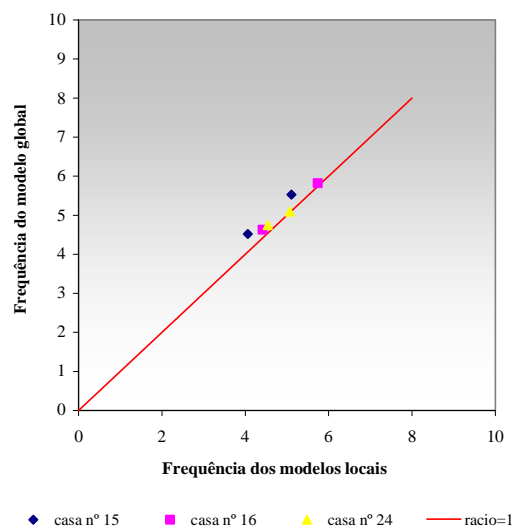
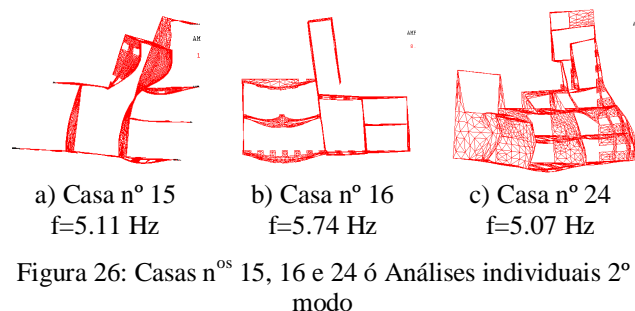
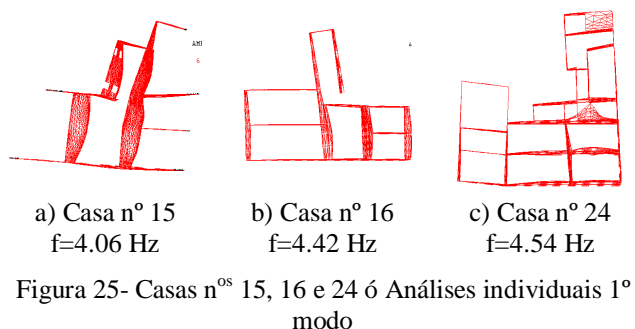


Figura 24: Quarteirão ó Modos e frequências de vibração para o modelo global com pavimentos com efeito de diafragma.

Por análise dos resultados representados na Figura 25 pode-se observar que as zonas mais vulneráveis à acção dos sismos são os cantos (modos nº 1, 4, 5, 6, 8, 9 e 10), assim como os lo-

cais com heterogeneidades em planta (modo nº 2) e os locais com heterogeneidades em altura (modos nº 4, 6, 9 e 10).

Para além da localização destes pontos, importa comparar estes resultados com os obtidos nos estudos locais das casas nº 15, 16 e 24 apresentados anteriormente. Assim, na Figura 26 e na Figura 27 representam-se as frequências e configurações dos dois primeiros modos de vibração das casas no estudo individual e na Figura 27 comparam-se os valores das frequências desses modos de cada uma das casas com os que lhe correspondem no modelo global.



Analisando a Figura 27 e comparando as configurações modais associadas a cada valor de frequência é possível verificar a semelhança entre os valores das frequências em cada casa obtidos nos modelos numéricos individuais e os obtidos no modelo global do quarteirão. A maior diferença, de cerca de 10%, verifica-se na casa nº 15 e pode ser explicada pela maior simplificação do efeito de grupo no cálculo individual e à maior influência dos edifícios vizinhos que estão mais afastados da casa. Repare-se que este modo mobiliza várias casas da Rua Comendador Ernesto Rebelo, existindo por isso um comportamento conjunto mais visível e preponderante.

3.5.1.2 Análise sísmica

Na sequência da análise dinâmica global descrita efectuou-se a análise sísmica do modelo global, considerando como acção o mesmo acelerograma adoptado nas análises sísmicas anteriores, tendo-se igualmente escalado o acelerograma observado, por forma a obter o valor máximo de acelerações idêntico ao regulamentar. A partir desta análise localizaram-se os pontos mais solicitados e com maiores deslocamentos no conjunto das construções de alvenaria do quarteirão.

3.5.1.3 Análise de tensões

No âmbito da análise sísmica foram quantificadas as distribuições de tensões na fachada principal das casas de alvenaria de pedra. Optou-se por analisar as tensões principais máximas e mínimas das paredes das fachadas principais das casas de alvenaria de pedra, das quais se apresentam o valor e respectiva direcção associada, Figura 28 a Figura 31, respectivamente, para as tensões de tracção e compressão). Nestas figuras assinalam-se com um círculo vermelho os locais mais solicitados no que se refere a cada um dos tipos de tensões. Nos pontos seguintes todas as representações de tensões serão equivalentes às da Figura 28.

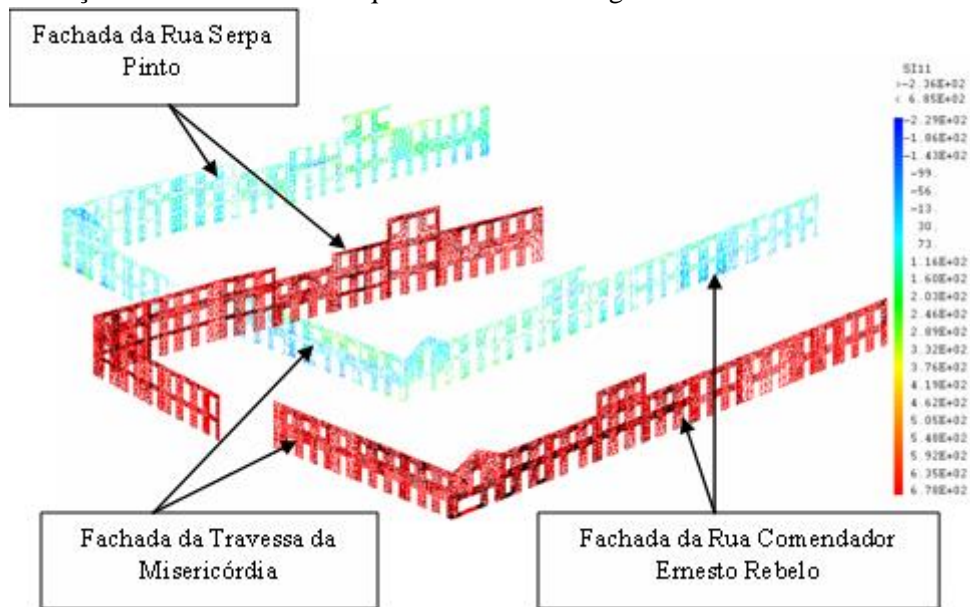


Figura 28: Distribuição e direcção das tensões principais de tracção (máximo 678kPa) - Vista do modelo global.

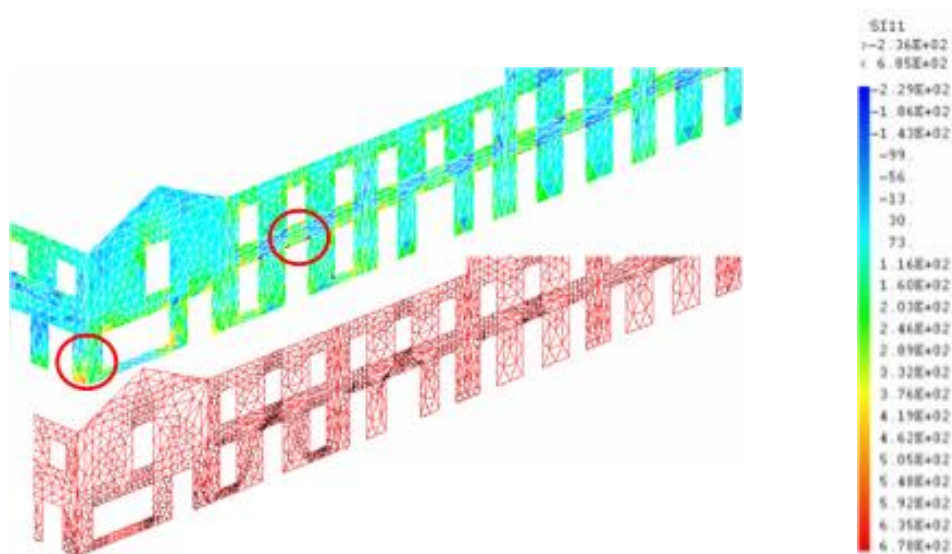


Figura 29: Distribuição e direcção das tensões principais de tracção (máximo 678kPa) - Vista detalhada da fachada da Rua Comendador Ernesto Rebelo.

zona de valores máximos (canto entre a Rua Comendador Ernesto Rebelo e a Travessa da Misericórdia).

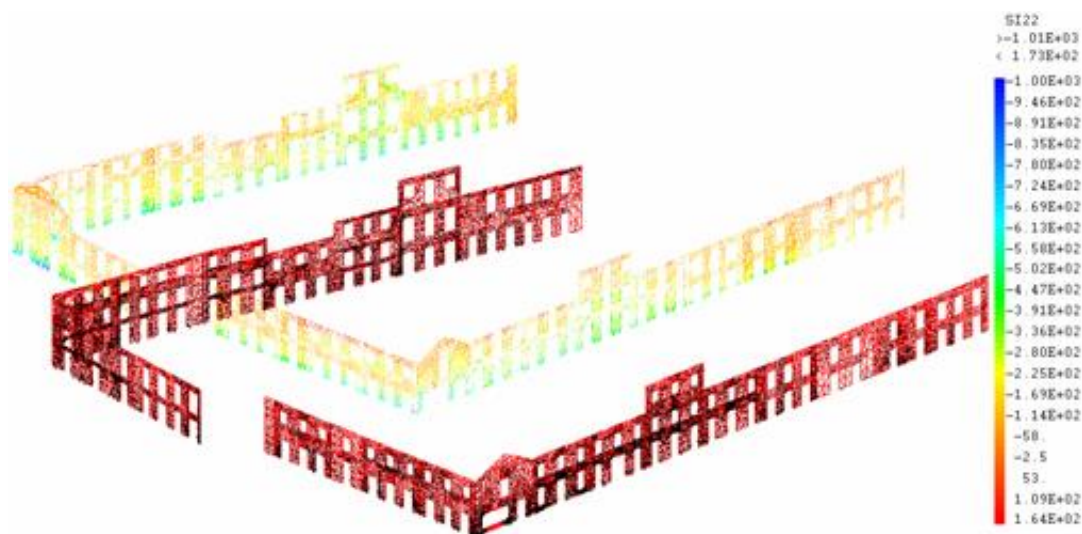


Figura 30: Distribuição e direcção das tensões principais de compressão (máximo 1010kPa) - Vista do modelo global.

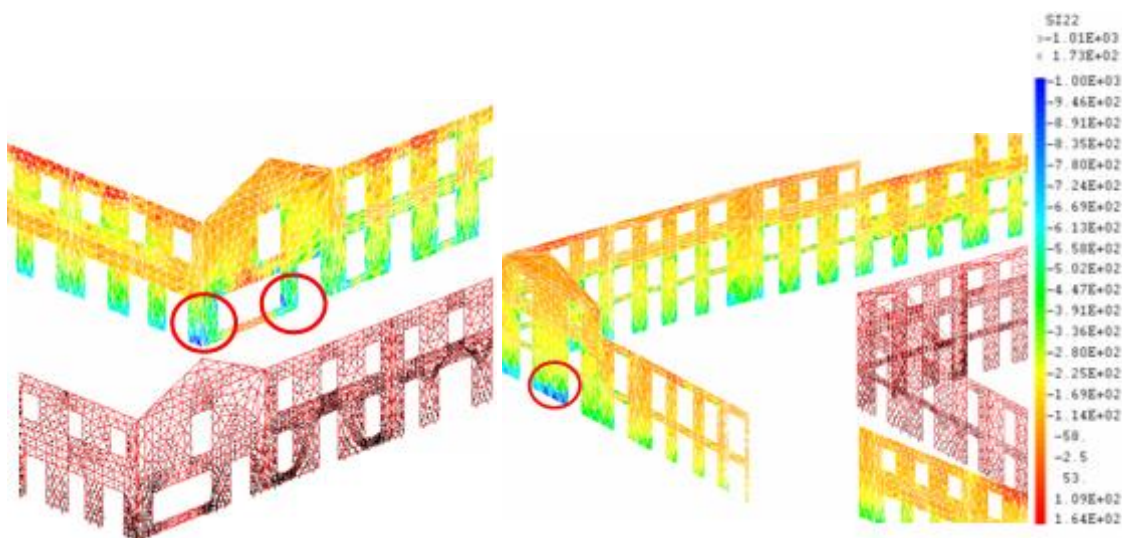


Figura 31: Distribuição e direcção das tensões principais de compressão (máximo 1010kPa) - Vista detalhada da zona de valores máximos (cantos entre a Travessa da Misericórdia e as Ruas Comendador Ernesto Rebelo e Serpa Pinto)

Os valores máximos das tensões de compressão e tracção são, respectivamente, de 1010kPa e 678kPa localizados essencialmente junto ao canto entre a Rua Serpa Pinto e a Travessa da Misericórdia (compressões, Figura 30) e no canto oposto entre as Travessa da Misericórdia e a Rua Comendador Ernesto Rebelo (tracções, Figura 28). Existem igualmente tracções elevadas na casa nº 16 (Figura 28) , na ligação às casas vizinhas e junto às aberturas. O valor de compressão está

enquadrado nos limites de resistência das alvenarias enquanto que as tracções podem originar algumas fendilhações que, no entanto, não comprometem a estabilidade estrutural.

De um modo geral, verifica-se mais uma vez que os cantos e as descontinuidades nas cêrceas dos edifícios (casa nº 16) são os locais mais vulneráveis neste tipo de aglomerado de casas. Para além dos locais referidos, onde é visível alguma concentração de tensões, verifica-se que o quarteirão tem uma boa distribuição de tensões fruto da razoável homogeneidade das casas que o compõem.

3.5.1.4 Análise de deslocamentos

A reduzida capacidade de deformação das paredes de alvenaria de pedra é um dos factores que condiciona este tipo de estruturas quando sujeitas a acções sísmicas. Por essa razão calcularam-se os deslocamentos máximos em seis zonas das paredes das fachadas principais dos edifícios do quarteirão (Figura 32). Em cada um dos casos avaliaram-se os deslocamentos nas direcções longitudinal (x) e transversal (y), cujas distribuições em altura se ilustram nas Figura 33 a Figura 38 onde se representam os valores dos deslocamentos absolutos, do òdriftõ (deslocamento relativo entre pisos) e os pontos dos quais se calcularam os deslocamentos.

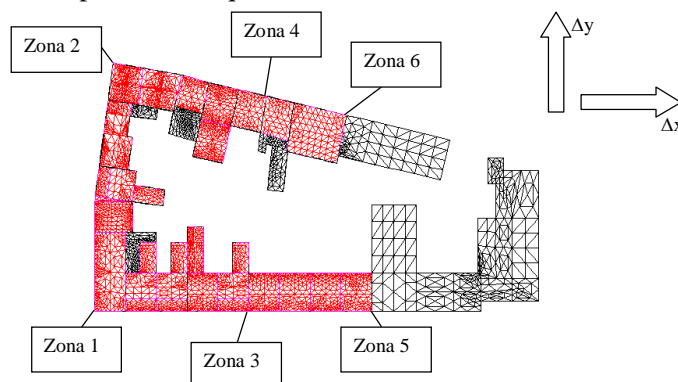


Figura 32: Alinhamentos com deslocamentos medidos

Na zona 1 (Figura 33) verificam-se maiores deformações na direcção longitudinal do quarteirão em correspondência com as configurações modais obtidas. A estes deslocamentos estão associados valores do òdriftõ de 0.04% a 0.12% (Figura 33), que não devem comprometer a estabilidade estrutural. É importante salientar que os deslocamentos são medidos em zonas de intersecção de alinhamentos de paredes, pelo que, as deformações obtidas resultam de deformações no plano das paredes estruturais. Assim, apesar dos valores analisados neste alinhamento serem relativamente baixos, podem estar associados a outros, localizados a meio de paredes sem travamento numa das direcções, cuja deformação dependa da rigidez das mesmas òfora do plano e que, conforme observado na análise individual das casas podem ser bastante mais elevados.

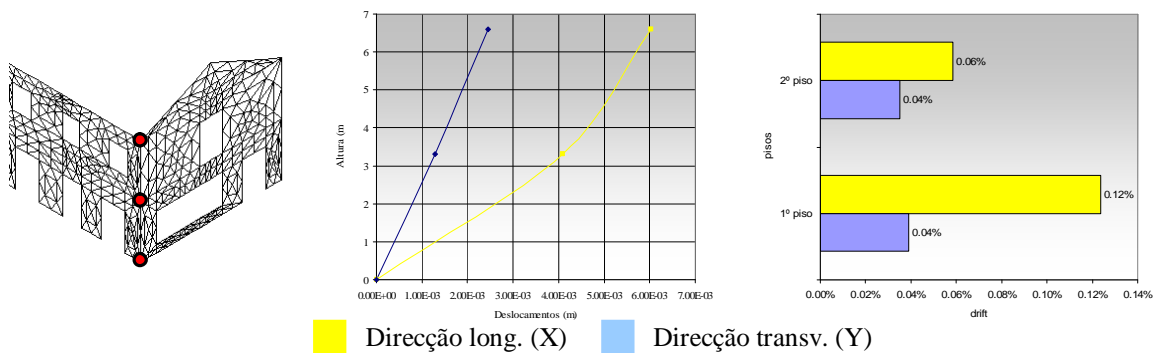


Figura 33: Zona 1 - Deslocamentos

Na zona 2 (Figura 34) os resultados são semelhantes mas um pouco inferiores, resultantes da maior rigidez desta zona. A zona 3 (Figura 35) apresenta deslocamentos baixos, uma vez que está localizada a meio de um alinhamento relativamente homogêneo cujo comportamento depende do conjunto. Confrontando os deslocamentos obtidos na zona 3 com os resultados dinâmicos modais, verifica-se que a casa aí situada é pouco mobilizada nos modos apresentados, estando o seu comportamento condicionado pela existência do elemento rígido de betão apresentando por isso menores deslocamentos.

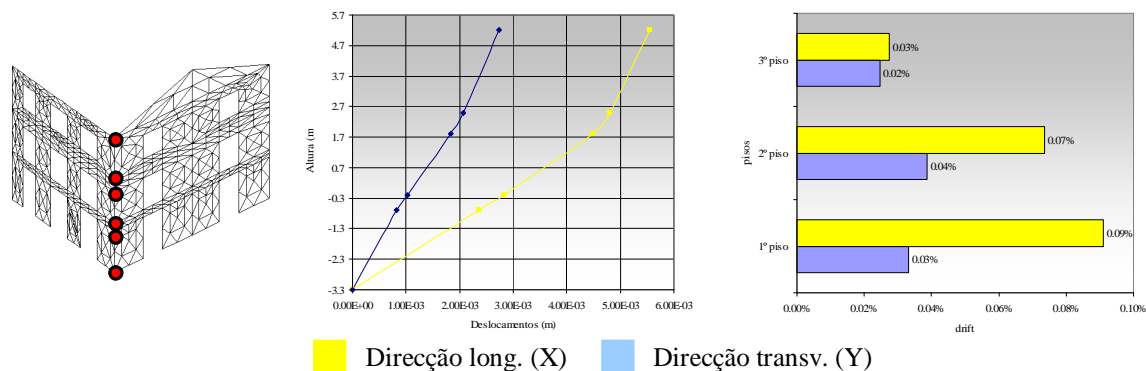


Figura 34: Zona 2 - Deslocamentos

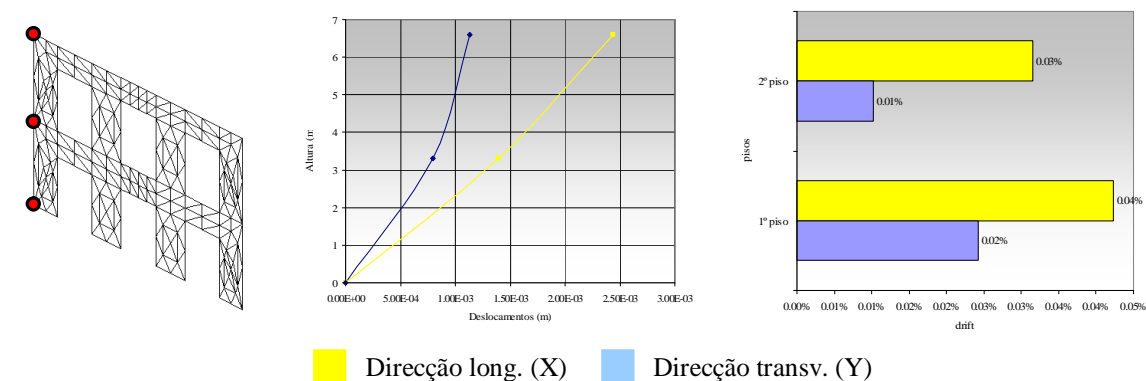


Figura 35: Zona 3 - Deslocamentos

A zona 4 (Figura 36) está localizada numa das empenas da casa nº 16 que, sendo mais alta do que as vizinhas, sofre maiores efeitos da acção sísmica provocando maiores deslocamentos, prin-

principalmente na direção longitudinal do quarteirão. Recorde-se ainda que o modo associado a este movimento é um dos que apresenta frequências de vibração mais baixas (Figura 14).

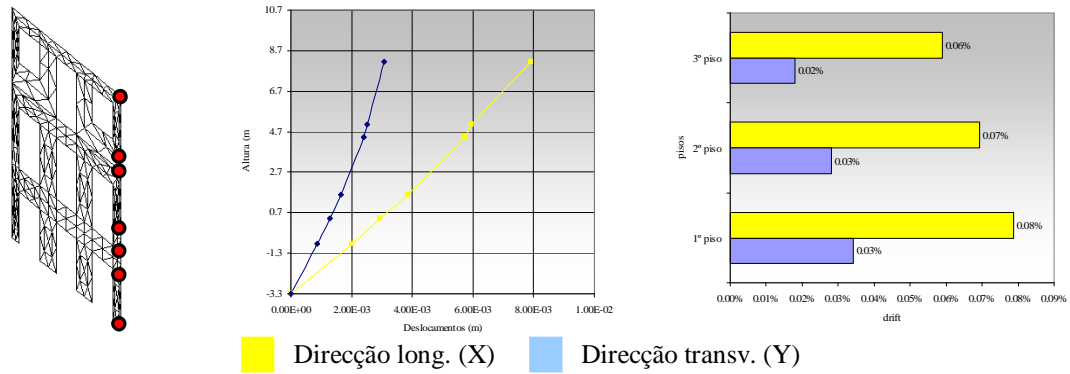


Figura 36: Zona 4 - Deslocamentos

As zonas 5 e 6 (Figura 37 e Figura 38) têm deslocamentos quase nulos devido à existência naquela zona do edifício de betão mais rígido.

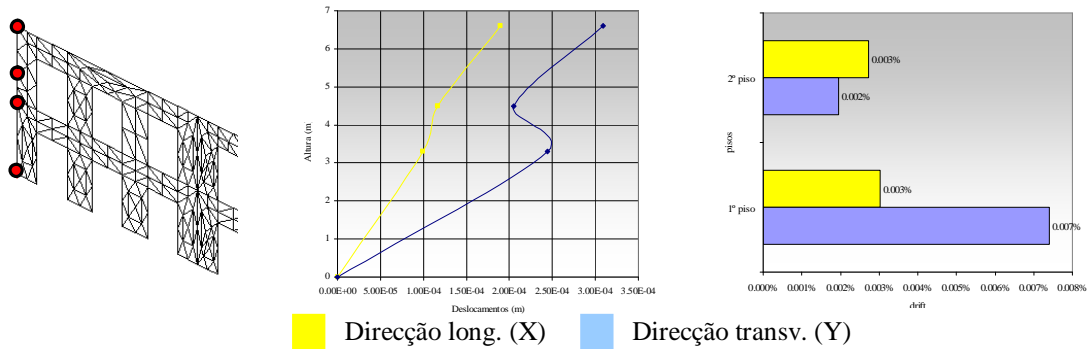


Figura 37: Zona 5 - Deslocamentos

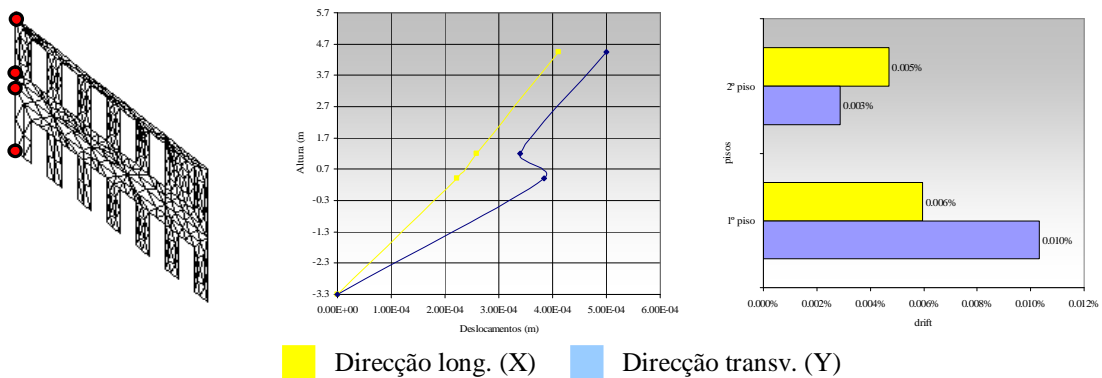


Figura 38: Zona 6 - Deslocamentos

Os deslocamentos resultantes da análise sísmica têm valores moderados, devendo ser complementados com análises dos deslocamentos em cada casa. De uma maneira geral e estando garantidas na realidade as características dos materiais consideradas neste modelo, não se prevêem grandes deslocamentos que possam por em risco a estabilidade global do quarteirão.

4 Conclusões

Apresentaram-se neste trabalho duas ferramentas utilizadas pelo NCREP/FEUP na área do tratamento, sistematização e apresentação de informação. Os aspectos constituintes mais importantes destas ferramentas foram abordados e descritos, salientando-se as potencialidades da sua utilização.

A primeira ferramenta apresentada consiste numa aplicação multimédia desenvolvida para suporte em CD-ROM. Esta aplicação foi desenvolvida em torno duma habitação situada em Vila do Conde, tendo sido sumariamente descritos neste trabalho os seus conteúdos. Após o contacto com o desenvolvimento duma aplicação deste tipo é importante salientar as suas vantagens em termos de apresentação de informação em diversos formatos. No entanto, certos aspectos ainda estão por explorar, nomeadamente a definição de modelos tridimensionais dos imóveis que permitam diversos níveis de interacção.

A segunda ferramenta pretendeu mostrar a importância da análise de quarteirões em centros históricos para se tentar compreender o comportamento conjunto destes elementos. As análises numéricas efectuadas aos modelos que simularam o quarteirão, permitiram localizar os locais mais vulneráveis da estrutura global, nomeadamente aqueles com valores mais elevados de tensões. Estes locais situam-se essencialmente nos cantos e nas zonas com heterogeneidades em altura, locais estes mobilizados nos modos de vibração com menores frequências próprias e, conseqüentemente, menos rígidos. Para além da existência de elevados esforços associados ao comportamento global do quarteirão, identificaram-se outros, resultantes de fenómenos locais, como por exemplo nos casos de panos de parede com elevados comprimentos e sem travamentos perpendiculares.

Observa-se que de uma maneira geral, a base das paredes sofre elevadas compressões na direcção vertical, enquanto que as zonas das padieiras, dos cunhais, das interrupções bruscas de rigidez (variação de altura das fachadas) e das descontinuidades nas cotas dos pavimentos são muito vulneráveis à concentração quer de compressões, quer de tracções nas direcções verticais ou horizontais, sendo estas últimas mais gravosas devido ao material estrutural existente ter baixa resistência à tracção. O valor das tensões de tracção instaladas naquelas zonas é geralmente crescente em altura, principalmente na direcção horizontal.

O estudo dos resultados permitiu igualmente verificar a reduzida influência do edifício dos correios no comportamento global.

Os deslocamentos obtidos nesta análise não têm valores muito elevados, no entanto os alinhamentos agora estudados coincidem com cunhais de paredes de canto ou de paredes intermédias não estando por isso contempladas nos resultados apresentados as deformações associadas a efeitos locais. Deve-se por isso minimizar o mais possível os deslocamentos associados ao comportamento global, por forma a reduzir também os deslocamentos máximos nas paredes.

5 Bibliografia

- [1] Cochado Silva, A., *õA gestão ó Factor de Sustentabilidade dos Centros Históricoss*, II Fórum Ibérico sobre Centros Históricos. Centro Cultural de Cascais. 3 a 5 de Março de 2005.
- [2] Mendes Paula, F., *õCentro Histórico de Lagos. Uma Estratégia de Intervençãoõ*, II Fórum Ibérico sobre Centros Históricos. Centro Cultural de Cascais. 3 a 5 de Março de 2005.
- [3] NCREP, Núcleo de conservação e Reabilitação de Edifícios e Património, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005. <http://ncrep.fe.up.pt/>

- [4] Costa, A., Miranda Guedes, J., Paupério, E., Miranda, L. *Relatório de inspeção a habitação em Vila do Conde*, FEUP, 2004.
- [5] Neves, N., *Identificação dinâmica e análise do comportamento sísmico de um quarteirão localizado na cidade da Horta ó Ilha do Faial*, Tese de Mestrado, FEUP, 2004.
- [6] Macromedia Director MX 2004, Macromedia, 2005.
- [7] AutoCAD® 2005, Autodesk®, 2005.
- [8] Macromedia Flash MX 2004, Macromedia, 2005.
- [9] ModelPress Publisher, Informative Graphics Corporation, 2005.
- [10] ModelPress Reader, Informative Graphics Corporation, 2005.
- [11] CEA, Commissariat à l'Énergie Atomique, Pasquet, <http://www.cast3m.cea.fr>, 2003.
- [12] Oliveira, C. S., Sousa, M. L., Guedes, J. H. C.; Martins, A.; Campos-Costa, A. *A Crise Sísmica do Faial/Pico/São Jorge Iniciada a 9 de Julho de 1998 Vista na Rede Acelerográfica dos Açores*, 1º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG, Lagos, Nov. pp 75-79, 1998.
- [13] Forjaz, V.H.; Nunes, J.C.; Guedes, J.H.C.; Oliveira, C.S. (2000) *Classificação Geotécnica de Solos das Ilhas dos Açores: Uma proposta*, Actas do II Simpósio da Associação Portuguesa de Meteorologia e Geofísica - Évora, 2001.
- [14] Carvalho, A.; Sousa, M.L.; Oliveira, C.; Nunes, J.C.; Costa, C.S.; Forjaz, V.H. *Casualidade Sísmica do Grupo Central do Arquipélago dos Açores*, Sísmica 2001, 5º Encontro Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica ó LREC, Açores, 2001.
- [15] FEMA 356/357, *Prestandard and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, 2000.
- [16] Priestley, M.J.N.; Paulay, T. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, Wiley Interscience, 1992.