

Consolidação e reforço estrutural da igreja matriz de Vimioso: inspeção, diagnóstico e projeto

Consolidation and structural reinforcement of the mother church of Vimioso: inspection, diagnosis and design

Rui Fernandes Póvoas
Aníbal Guimarães Costa

Resumo

No âmbito da intervenção de conservação e restauro definida para a Igreja de São Vicente – Igreja Matriz de Vimioso, os autores desenvolveram um conjunto de ações tendentes a determinar a natureza da intervenção que importava efetuar, tendo em atenção a necessidade de sustentar as causas associadas ao quadro patológico apresentado pela igreja. Os trabalhos de inspeção e diagnóstico efetuados permitiram identificar as deformações do arco cruzeiro e dos arcos torais como sendo os danos mais significativos, estando associados a uma deficiente conceção da estrutura de madeira de suporte da cobertura. A solução que veio a ser adotada consistiu na realização de asnas metálicas, situadas a eixo dos contrafortes, com duas funções fundamentais: servir de apoio às vigas de madeira da nova estrutura de suporte da cobertura e, a mais importante, servir como tirante a ligar as duas paredes longitudinais da Igreja.

Abstract

In the framework of the conservation and restoration intervention established for the Church of St. Vincent – Mother Church of Vimioso, the authors developed a set of actions to determine the nature of the intervention that was required, taking into account the need to sustain the causes associated with the pathological condition presented by the church. The inspection and diagnosis works conducted enabled to identify the roof support wood structure as the structural element to require corrective intervention of greater importance. The solution that has come to be adopted consisted of carrying out self-supporting metal trusses, located at the buttresses axis, and with two main functions: to support the wooden beams of the new roof supporting structure and, the most important, to serve as a rod connecting the two longitudinal walls of the Church.

Palavras-chave: Inspeção / Diagnóstico / Reabilitação / Reforço estrutural

Keywords: Inspection / Diagnosis / Rehabilitation / Structural reinforcement

Rui Fernandes Póvoas

Professor Catedrático
CEAU-FAUP, Universidade do Porto
Porto, Portugal
rpovoas@arq.up.pt

Aníbal Guimarães Costa

Professor Catedrático
RISCO, Universidade de Aveiro
Aveiro, Portugal
agc@ua.pt

Aviso legal

As opiniões manifestadas na Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Legal notice

The views expressed in the Portuguese Journal of Structural Engineering are the sole responsibility of the authors.

PÓVOAS, Rui [et al.] – Consolidação e reforço estrutural da igreja matriz de Vimioso: inspeção, diagnóstico e projeto. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. Ed. LNEC. Série III. n.º 3. ISSN 2183-8488. (março 2017) 95-104.

1 Introdução

Uma adequada intervenção em edifícios antigos deve contemplar um conjunto de fases e procedimentos que implicam: (i) a obtenção de dados, tendo em vista uma criteriosa caracterização do objeto a intervir; (ii) a realização de uma avaliação do respetivo estado de conservação, bem como da segurança da estrutura no seu estado atual; e, por fim, (iii) o desenvolvimento de uma proposta de intervenção.

Estes objetivos apenas são prosseguidos se devidamente ancorados numa metodologia de intervenção rigorosa e exaustiva, cujos aspetos essenciais se resumem na secção seguinte. Importa contudo realçar as dificuldades que estas intervenções encerram, seja na determinação das causas prováveis para os danos observados, seja na obtenção de dados fiáveis para a necessária idealização estrutural, seja, ainda, na definição do nível de segurança adequado, já que a adoção dos formatos de segurança regulamentarmente estabelecidos para as construções novas pode revelar-se, em muitos casos, inadequada.

Para ilustrar estas e outras questões que se colocam em intervenções em edifícios antigos portadores de valor cultural, elegeu-se uma obra de consolidação e reforço estrutural intervencionada pelos autores cuja descrição sumária se apresenta nos parágrafos seguintes.

A Igreja Matriz de Vimioso, cuja construção datará de finais do século XVI, inícios do século XVII, é um edifício religioso de uma só nave, cuja fachada principal apresenta duas torres, unidas por uma balastrada, conforme se ilustra na Figura 1.



Figura 1 Fachada principal da igreja

As fachadas laterais distinguem-se pela presença de cinco contrafortes, a que correspondem, no interior da igreja, pilares salientes que sustentam os arcos torais que dividem a nave em quatro tramos sensivelmente iguais (ver Figura 2). A fachada posterior, de forma cilíndrica, corresponde ao corpo da capela-mor.

No interior, o teto de cantaria em abóbada de berço dá apoio a uma estrutura de madeira, constituída por vigamentos inclinados que apoiam numa viga cumeeira. Esta, por sua vez, apoia-se num prumo vertical na capela-mor e, no corpo da nave, em cavaletes duplos invertidos situados a eixo dos arcos torais (Figura 3).

A planta da nave, de forma retangular, tem aproximadamente 36 metros de comprimento, por 14,5 metros de largura. A capela-mor, com cabeceira circular, tem cerca de 12 por 10 metros, nas direções longitudinal e transversal, respetivamente. Em altura, as paredes medem cerca de 8 metros, atingindo a cumeeira da cobertura aproximadamente os 11,7 metros. A parede da fachada norte tem uma espessura de 0,90 metros, enquanto as paredes da fachada sul e da capela-mor apresentam uma maior espessura, atingindo cerca de 1,20 metros.

O estado de degradação em que se encontrava a igreja, em resultado da ausência de uma manutenção minimamente cuidada, conduziu à necessidade de realização de uma intervenção no edifício, que viria a ser efetuada sob a responsabilidade dos arquitetos Francisco Barata Fernandes e Hélder Casal Ribeiro.

Dos vários danos presentes na igreja ressaltavam, pela sua relevância, os danos de natureza estrutural, cuja correção constitui o tema central do presente trabalho, com ênfase na metodologia de intervenção adotada, bem como na solução de consolidação e reforço estrutural preconizada.



Figura 2 Fachada lateral da igreja



Figura 3 Estrutura da cobertura

2 Metodologia de intervenção

Toda a intervenção em edifícios com valor cultural deve obedecer a alguns princípios fundamentais que, muito simplificada, podem ser assim sumariados [1-2]:

- Necessidade de um conhecimento aprofundado do edifício a interencionar, seja do ponto de vista histórico (análise documental), com ênfase na identificação das intervenções que antecederam a atual; seja arquitetónico, privilegiando a identificação dos elementos de valor a preservar e hierarquizando-os, se possível; seja estrutural e construtivo, através da caracterização geométrica e mecânica dos principais elementos, bem como da identificação dos principais danos presentes e respetivas causas, em resultado de uma inspeção que se deseja tão pouco intrusiva quanto possível e realizada de forma incremental;
- Estabelecido o correspondente diagnóstico, torna-se então necessário proceder ao desenvolvimento do projeto de intervenção, com a devida atenção à preservação dos valores culturais previamente identificados, mas também à necessidade de promover medidas de consolidação e reforço das condições de serviço do edifício, com particular atenção às de natureza estrutural, pela especificidade que as mesmas comportam, no que se refere à salvaguarda última da construção;

- Finalmente, as soluções a adotar devem privilegiar a manutenção dos sistemas construtivos e estruturais originais, complementados, quando absolutamente necessário, por soluções técnicas atuais, desejavelmente de reduzida intrusividade.

Estes foram os princípios que, genericamente, nortearam a intervenção de consolidação e reforço estrutural da igreja, conforme se procurará explicitar nas secções seguintes.

3 Investigação documental

A pesquisa documental deve procurar determinar, fundamentalmente, a data de construção da igreja, o respetivo faseamento construtivo, se relevante, bem como a identificação das principais intervenções a que esta foi sujeita em períodos anteriores ou outros fatores pertinentes para a sua segurança estrutural (ações sísmicas ou outras igualmente significativas).

No presente caso, a investigação realizada, tomando como referência, fundamentalmente, os registos presentes nos arquivos da Direção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais (DGEMN), permitiu apurar o seguinte conjunto de factos:

- A identificação, já em 1947, do empeno dos arcos torais e do arco triunfal da abóbada, atribuído ao sismo de Lisboa de 1755;
- A referência a várias intervenções na cobertura da igreja, a primeira das quais em 1959, contemplando, designadamente, a realização de obras de consolidação dos arcos e abóbadas;
- A demolição, em 1966, e posterior reconstrução do edifício da sacristia, adossado à igreja;
- O colapso do contraforte do arco cruzeiro anexo à sacristia, em resultado das obras acima referenciadas, a que se seguiu a sua reconstrução integral.

Da leitura dos referidos registos pode ainda inferir-se a falta de uma manutenção periódica e programada ao longo do tempo, situação infelizmente comum a muitos dos nossos edifícios históricos e que urge corrigir.

4 Inspeção e diagnóstico

A inspeção realizada à Igreja de Vimioso, que permitiu a execução de um relatório de inspeção e diagnóstico [3], consistiu na observação direta dos materiais e dos sistemas construtivos, tendo-se assegurado o acesso a todos os locais, nomeadamente à cobertura, onde foi possível apurar espessuras de elementos e o sistema construtivo usado, quer para a realização das paredes e das abóbadas quer para a cobertura em madeira existente. Este acesso também permitiu a realização de várias sondagens com a finalidade de determinar a espessura e a constituição das abóbadas e das paredes e assim confirmar e aferir as dimensões dos elementos estruturais (paredes) e as dimensões globais da Igreja, Figura 4. Assim, a Igreja possui planta retangular tendo a nave aproximadamente ($36,0 \times 14,5 \text{ m}^2$) e a capela-mor, com cabeceira circular, cerca de ($12,0 \times 10,0 \text{ m}^2$), Figura 5. É constituída por paredes autoportantes de granito, sendo algumas em cantaria aparente bem aparelhada,

como são os casos da fachada principal, torres e contrafortes, sendo as restantes rebocadas. A fachada lateral norte possui cerca de 0,90 m de espessura e a fachada lateral sul e a capela-mor cerca de 1,20 m.



Figura 4 Sondagens para determinação da espessura das abóbadas e das paredes

A nave divide-se em 5 tramos com vãos de cerca de 6,6 m. Estes tramos são definidos por 4 arcos torais que vencem o vão da nave com cerca de 13,5 m (a eixo das paredes). Já o arco cruzeiro, transição da capela-mor para a nave, vence o vão de 10,7 m. No alinhamento dos arcos existem contrafortes salientes do plano das fachadas. Como foi já referido, a cobertura da nave e da capela-mor é em abóbada de berço, tendo a nave terceletes e a capela-mor caixotões rebocados e pintados.

A cobertura da zona circular da capela-mor é executada em abóbada com nervuras, que apoiando em mísulas ao nível do arranque da abóbada confluem no ponto central do arco que fecha a zona reta da capela-mor.

O telhado é de 2 águas em estrutura de madeira sobre a qual assenta telha aba/canudo.

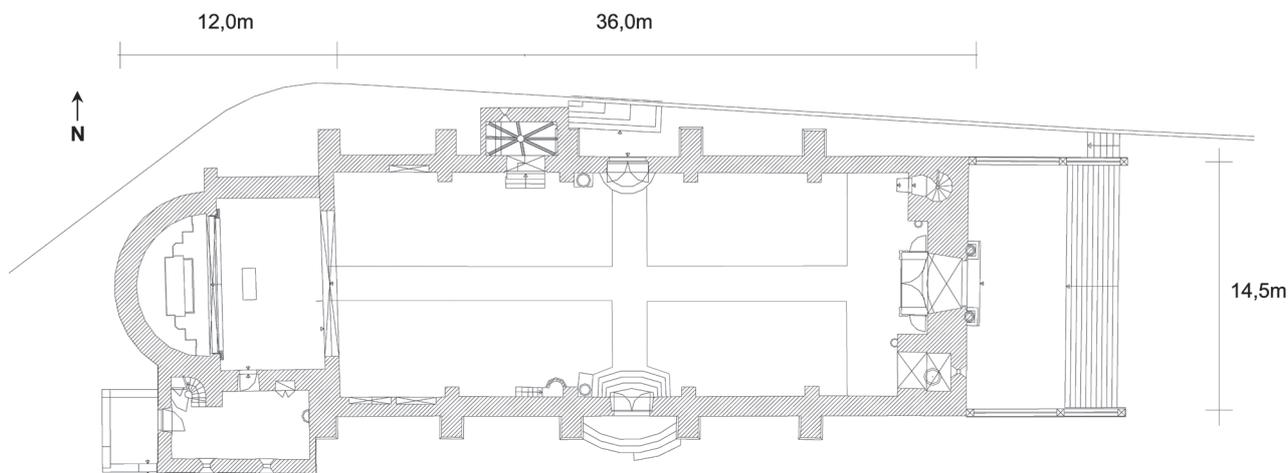


Figura 5 Planta da Igreja

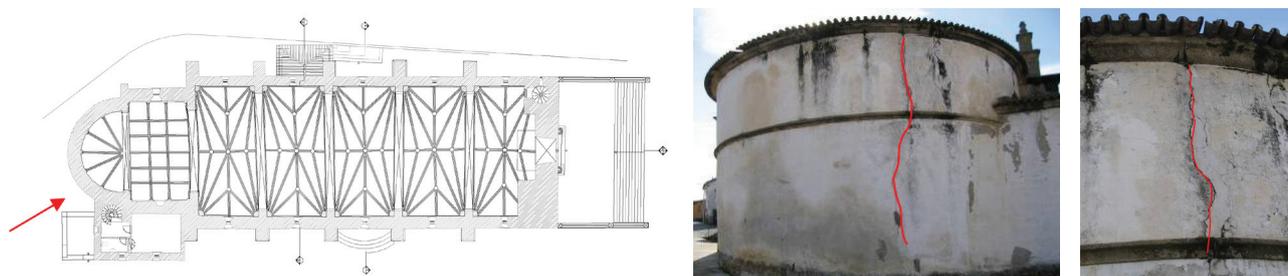


Figura 6 Fissuração na parede cilíndrica da capela-mor

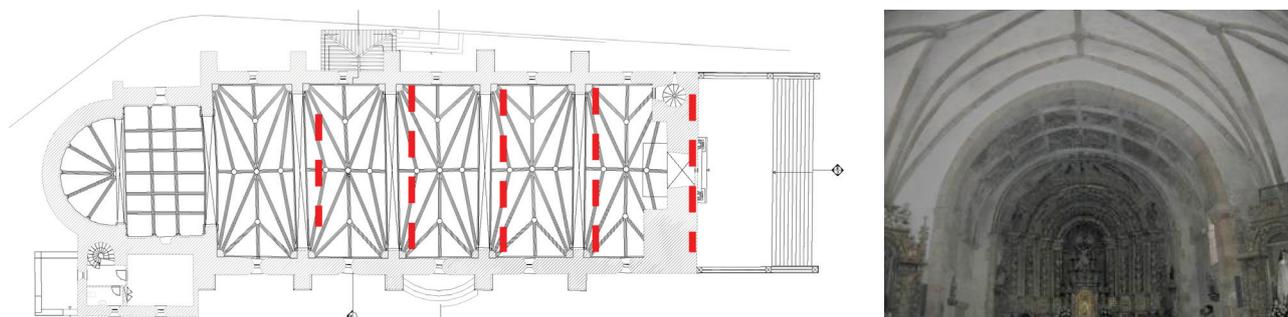


Figura 7 Deformação do arco cruzeiro e dos arcos torais

A inspeção realizada permitiu concluir que os principais danos eram os seguintes.

- D1 – Fissuração na parede cilíndrica da capela-mor;
- D2 – Fissuração em paredes;
- D3 – Deficiente conceção da estrutura de apoio da cobertura;
- D4 – Deformação do arco cruzeiro e dos arcos torais;
- D5 – Arenização/destacamento de placas;
- D6 – Humidade;
- D7 – Perda de argamassa nas juntas;
- D8 – Vegetação;
- D9 – Sais/eflorescências/crostras;
- D10 – Degradação material.

Os danos mais relevantes, e que poderiam pôr em causa a estabilidade da igreja, prendiam-se essencialmente com os danos D1 a D4, com particular incidência nos danos D3 e D4.

Os danos D1 e D2 consistiam em fissuras em várias paredes, identificando-se na Figura 6 a fissuração na parede cilíndrica da capela-mor. Esta fissura não tinha correspondência na face interior da parede e verificou-se que ficava no alinhamento da nervura da

cobertura. A observação dos registos fotográficos da DGEMN até 1967, abarcando já a reconstrução da nova sacristia, evidenciou que na época esta fenda não existia.

O dano D3 já foi referido anteriormente e consistia numa estrutura que descarregava nas abóbadas da igreja, o que, embora seja habitual em muitas igrejas, não é uma solução aconselhável.

O dano D4 era aquele que revelava mais preocupação, já que a deformação do arco cruzeiro e dos arcos torais era evidente mesmo a olho nu (ver Figura 7).

A deformação e fissuração observadas pareciam ser devidas à descompressão ao nível da base do arco. Também o sistema de apoio da cobertura, ao induzir cargas na zona de fecho do arco que, face à deformação, não permitia a degradação dessas cargas para os apoios, contribuiu para este dano. Pela leitura do registo das obras da DGEMN verificou-se que este é um dos assuntos mais abordados desde o primeiro registo em março de 1947. Nestes registos, e em 1958, existe uma alusão à deformação dos arcos atribuindo-a ao terramoto de 1755 e considerando-se por isso a deformação estável e sem oferecer perigo imediato. Apesar deste registo iniciaram-se obras de consolidação das abóbadas em 1959.

A deformação do arco cruzeiro poderá ter sido agravada pela ruína do contraforte do lado da sacristia aquando das obras de demolição e posterior reconstrução da sacristia. Este contraforte foi reconstruído tendo sido completamente refeita a sua fundação. A execução dos trabalhos de reconstrução prolongou-se por cerca de meio ano: registo de ruína em dezembro de 1966 e registo do prosseguimento dos trabalhos de reconstrução do contraforte em maio de 1967; em julho de 1967 ainda há registos da reconstrução do contraforte.

5 Análise estrutural

A simulação do comportamento estrutural da Igreja Matriz de Vimioso foi efetuada utilizando um modelo numérico de elementos finitos recorrendo ao programa de análise estrutural Cast3M [4]. Para tal, foi necessário aceder à caracterização geométrica, física e mecânica de todos os elementos e materiais que constituem a estrutura. A simulação foi efetuada tendo por base uma lei de comportamento linear elástica.

De forma a definir de modo realista a geometria do edifício, foi necessário proceder a um extenso trabalho de pesquisa e recolha de elementos que informassem sobre a forma e dimensões dos elementos que constituem a estrutura. Este trabalho envolveu uma consulta das plantas resultantes do levantamento topográfico mais recente efetuado à Igreja, informação esta que foi complementada com visitas ao local, que permitiram a clarificação de dúvidas suscitadas na consulta das plantas e permitiram ainda a confirmação de algumas medidas não claras nesses elementos.

Após esta análise, procedeu-se à construção do modelo 3D da estrutura utilizando o programa AutoCAD 2004. Este programa permitiu-nos definir de forma bastante realista a geometria dos vários elementos que compõem a Igreja (paredes, arcos, abóbada, contrafortes, etc.), conforme se ilustra na Figura 8. É ainda de salientar que no modelo se considerou as diferentes cotas de implantação da fundação ao longo das fachadas da igreja.

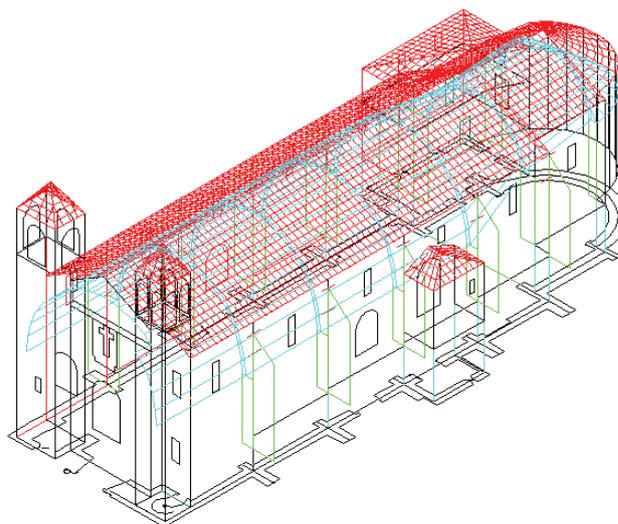


Figura 8 Modelo do edifício em AutoCAD

Após a caracterização geométrica dos vários elementos constituintes da igreja, procedeu-se à discretização espacial da estrutura utilizando uma formulação por elementos finitos de casca e barra. Por se tratar de um edifício de geometria complexa, constituída por elementos estruturais (paredes interiores e exteriores, lajes, arcos, contrafortes, abóbada, etc.) com geometrias bastante variadas (espessura e propriedades mecânicas), tornou-se essencial diferenciar o edifício em diferentes elementos:

- Paredes (Fachadas);
- Contrafortes;
- Abóbada;
- Arcos;
- Laje da sacristia;
- Telhado.

Além destes elementos já existentes na igreja, foram modeladas em Cast3M as asnas e as chapas de confinamento pertencentes à nova estrutura que se pretende lá colocar.

- Asnas
 - Asna do telhado da nave;
 - Asna do telhado da capela-mor;
- Chapas de confinamento.

Na geração da malha para os elementos de casca (arcos, abóbada, contrafortes, paredes e lajes) optou-se pela utilização do elemento finito triangular de superfície de 3 nós, enquanto o telhado, por simplificação, foi simulado numericamente através de elementos de barra colocados nos locais de apoio das asnas e possuindo o peso do telhado na sua área de influência. Relativamente às condições de fronteira, fixaram-se todos os deslocamentos em todas as direções dos nós da base.

Na Figura 9 apresenta-se o modelo tridimensional desenvolvido para a igreja e para os seus vários elementos principais.

Após várias iterações, foi então possível ajustar o valor do

módulo de elasticidade dos diferentes elementos de alvenaria ($E_{ABÓBADA} = 0,6 \text{ MPa}$ e, para os restantes elementos, $E = 1,1 \text{ MPa}$), de forma a conseguir obter o maior número de modos de vibração semelhantes àqueles que foram medidos *in situ*, ver Quadro I.

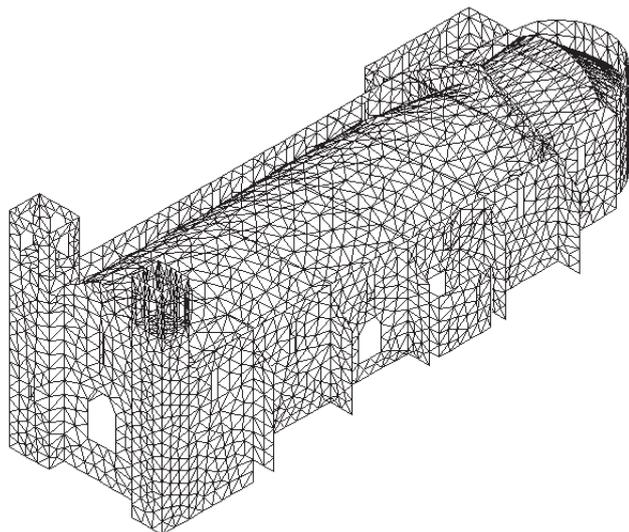


Figura 9 Modelo tridimensional desenvolvido em Cast3M

Neste tipo de modelação devem tomar-se algumas medidas cautelares: a primeira, tentar calibrar o modelo através de uma análise modal e, a segunda, determinar as tensões instaladas na base

das paredes para a ação do peso próprio. Este segundo procedimento associado ao primeiro permite ganhar confiança no modelo.

A estrutura global da igreja foi analisada em regime linear elástico sob a ação do seu peso próprio e de acelerogramas segundo três direções ortogonais (duas horizontais e uma vertical), recorrendo a um cálculo passo a passo, com integração das equações de equilíbrio dinâmico no domínio do tempo. A ação sísmica considerada neste estudo tinha sido já anteriormente utilizada na análise do comportamento da igreja do Mosteiro da Serra do Pilar sob a ação dos sismos [5] e [6], igreja essa que constitui um monumento de grande importância na região Norte do País e que, tal como a Igreja de Vimioso, é uma construção antiga de grande dimensão com estrutura de alvenaria. Assim, a ação sísmica foi caracterizada por acelerogramas, artificialmente gerados a partir de espectros de resposta regulamentares, definidos já de acordo com o Eurocódigo 8 (EC8) [7] e respetivas correções apresentadas no Documento Nacional de Aplicação [8].

Adotou-se apenas a ação sísmica tipo 1 (sismo de magnitude moderada a pequena distância focal e duração de 10 segundos, vulgarmente designado de sismo próximo) em virtude de ser esta a mais desfavorável para estruturas com frequências idênticas às da igreja em estudo. Foi considerada a sismicidade adequada ao local, *i.e.* à região de Vimioso, com uma classe de solo do tipo A (solos rijos) e aceleração máxima do solo de 0,1 g, definida com base nas curvas de risco obtidas por Campos-Costa [9], para um sismo próximo e um período de retorno de 10.000 anos. Este valor tão elevado do período de retorno justifica-se por corresponder ao valor necessário para garantir uma probabilidade de 5% de excedência daquela

Quadro I Calibração do modelo numérico

Frequências reais (Hz)			Frequências numéricas (Hz)			
Capela-mor	Transversal (y)	2,60	Capela-mor	Transversal (y)	2,72	
	Longitudinal (x)	2,11		Nave	Transversal (y)	2,15
	Vertical (z)	3,56			Longitudinal (x)	4,03
Torre sineira	Transversal (y)	2,14	Torre sineira		Transversal (y)	3,55
	Longitudinal (x)	3,89		Longitudinal (x)	4,90	
	Vertical (z)	4,49		Torre do relógio	Transversal (y)	4,15
Transversal (y)	5,00	Longitudinal (x)	4,95			
Longitudinal (x)	2,30	Frequências da estrutura obtidas em Cast3M				
Vertical (z)	3,81					
Transversal (y)	4,54					
Torre do relógio	Longitudinal (x)	5,15				
	Vertical (z)	3,52				
	Frequências da estrutura medidas <i>in situ</i>					

Na Figura 12 apresenta-se um pormenor do apoio da asna na parede de alvenaria, que assegura, simultaneamente, uma ligação de continuidade com a chapa de confinamento perimetral já referida.

No topo correspondente à fachada principal da Igreja, o apoio das madres de madeira da cobertura faz-se diretamente em cantoneiras chumbadas na parede da fachada, conforme se indica no desenho representado na Figura 13. Os cabos do tipo Macalloy (ver Figura 10) permitem desviar as forças horizontais do painel central, sobre a porta de entrada, para as torres laterais, mais rígidas e resistentes.

7 Observações finais

O presente trabalho permitiu ilustrar o papel fundamental desempenhado por uma série de procedimentos, decorrentes da adoção de uma metodologia de intervenção criteriosa, na prossecução dos objetivos da intervenção, que, neste caso, visava o reforço estrutural da Igreja Matriz de Vimioso. Esses procedimentos passaram pela elaboração de um Relatório de Inspeção e Diagnóstico, que permitiu a recolha de informação sobre o objeto em estudo e, a partir daí, melhorar o conhecimento sobre este tipo de construções. Para tal, e no cumprimento da metodologia de intervenção previamente estabelecida, procedeu-se inicialmente à investigação documental (identificando com o detalhe possível todas as intervenções anteriormente realizadas), bem como à realização de observações *in situ*, complementadas pela execução de uma série de ensaios não destrutivos, que permitiram, numa primeira fase, a caracterização geométrica da igreja e, numa segunda fase, a calibração do modelo numérico entretanto desenvolvido. Com o modelo numérico devidamente calibrado e testado, foram então analisadas várias soluções, em que se procurou perceber o papel fundamental que poderiam desempenhar as asnas no travamento das paredes longitudinais exteriores da nave. As asnas, com linha superior para evitar o contacto com as abóbadas, teriam como função principal, enquanto elementos de travamento, desempenhar o papel dos tirantes tradicionais que, neste caso, não eram esteticamente aceitáveis. Com o modelo desenvolvido foi possível demonstrar que as asnas, associadas às chapas que foram colocadas superiormente ao longo do perímetro das paredes, desempenhavam eficazmente a função dos tirantes tradicionais, verificando-se assim a segurança estrutural das paredes para a ação sísmica regulamentar. Finalmente, o modelo numérico possibilitou ainda o dimensionamento de todos os elementos estruturais.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) às unidades de I&D a que estão associados, respetivamente, Centro de Estudos de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Porto (CEAU-UP) e Riscos e Sustentabilidade na Construção (RISCO-UA).

Referências

- [1] ICOMOS – *Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage*. ICOMOS –International Scientific Committee on the Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage, 2003.
- [2] CIB – *Guide for the Structural Rehabilitation of Heritage Buildings*. CIB Publication 335. 2010. ISBN 978-90-6363-066-9.
- [3] Costa, A.; Guedes, J.; Paupério, E.; Quelhas, B. e Miranda, L. – *Relatório sobre as patologias observadas na Igreja Matriz de Vimioso*. Relatório Técnico IC45-RVT74-A NG95, Instituto da Construção, 2006.
- [4] Manuel D ' Utilisation de Cast3m –Www.Cast3m.Cea.Fr. Commissariat à l'Énergie Atomique, Saclay.
- [5] Almeida, C.; Arêde, A. e Costa, A. – *Caracterização Dinâmica e Análise Sísmica da Igreja do Mosteiro da Serra do Pilar*. 5.º Encontro Nacional sobre Sismologia e Engenharia Sísmica. Açores, 2001.
- [6] Almeida, Celeste – *Análise do Comportamento da Igreja do Mosteiro da Serra do Pilar à Acção dos Sismos* – Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – FEUP, 2000.
- [7] Eurocode N.º 8 – Design of Provisions for Earthquake Resistant Structures, Part 1-1, 1-2, 1-3, pr ENV 1998-1-1, 1-2, 1-3 – CEN/TC250/ /SC8, 1994.
- [8] Documento Nacional de Aplicação-DNA – Versão provisória para aprovação pela CT115, LNEC, 1998.
- [9] Campos Costa, A. P. N. – *A Acção dos Sismos e o Comportamento das Estruturas* – Tese de Doutoramento em Engenharia Civil – FEUP, 1993.

