



ANÁLISE SÍSMICA DA IGREJA DE KUÑO TAMBO

NUNO MENDES

Pós-Doc
ISISE/UMinho
Guimarães-
Portugal

SARA ZANOTTI

Msc
ISISE/UMinho
Guimarães-
Portugal

PAULO B. LOURENÇO

Prof. Catedrático
ISISE/UMinho
Guimarães-
Portugal

JOSÉ V. LEMOS

Investigador-
Coordenador
LNEC
Lisboa-Portugal

SUMÁRIO

Esta comunicação apresenta um estudo sobre a vulnerabilidade sísmica da igreja de Kuño Tambo (Peru) com recurso ao Método dos Elementos Discretos. A avaliação do comportamento sísmico da igreja foi efetuada através de dois modelos numéricos, nomeadamente: (a) Modelo da secção transversal da parede da nave considerando a morfologia do aparelho da alvenaria, tendo por objetivo avaliar o seu comportamento para fora do plano; (b) Modelo 3D da fachada com parte das paredes ortogonais da nave, tendo por objetivo avaliar a sua resposta para fora do plano. Os resultados da análise permitiram concluir que a ligação entre paredes ortogonais têm influência significativa no comportamento da fachada.

ABSTRACT

This paper presents a study on the seismic vulnerability of the Kuño Tambo church (Peru) based on the Discrete Element Method. The seismic assessment of the church was carried out through two numerical models, namely: (a) Model of the cross section of the nave wall, taking into account the masonry morphology, aiming at evaluating its out-of-plane behaviour; (b) 3D model of the façade, including part of the orthogonal walls of the nave, aiming at evaluating its out-of-plane response. The results of the analyses allowed to conclude that the connection between orthogonal walls has significant influence on the behaviour of the façade.

PALAVRAS-CHAVE: Igreja, adobe, sismo, comportamento para fora do plano, MED.

1. A IGREJA DE KUÑO TAMBO

1.1. Contexto histórico

A igreja de Kuño Tambo, também conhecida como *Iglesia de Santiago Apóstol*, é uma igreja de uma vila com cerca de 500 habitantes localizada na província de Acomayo a sudeste da cidade de Cusco (Peru). A igreja foi continuamente utilizada desde a sua construção no século XVII e é um local religioso e de encontro importante para os membros da comunidade. Deste modo, o interesse demonstrado pela comunidade no restauro da igreja fez com que Gabinete Regional de Cusco do Ministério de Cultura do Perú inicia-se o processo para classificação de toda a vila como Monumento Nacional, incluindo a igreja, tendo em consideração a sua originalidade, autenticidade, e a preservação das estruturas de terras e suas técnicas construtivas [1].

A igreja de Kuño Tambo foi construída com unidades adobe, tal como como os restantes edifícios da vila. A primeira referência à vila de Kuño Tambo surge num documento de 1577, onde refere as quatro regiões de Cusco. O nome mais antigo da vila de Kuño Tambo (Cocno) encontra-se referenciado na região de Condesuyo [1]. Kuño Tambo é uma típica vila construída durante o Vice-Reinado do Peru (colónia espanhola) com o objetivo de organizar os povos indígenas. A vila de Kuño Tambo foi construída durante a governação do Vice-Rei Francisco de Toledo, que definiu reformas que tiveram como objetivos estabelecer o controlo direto sobre as vilas dos povos indígenas e promover a igreja cristã. A reorganização das vilas permitiu impor trabalho, impostos e a religião sobre a população [3]. Durante o Vice-Reinado de Toledo mais de 1000 vilas indígenas chamadas *reducciones* foram construídas. Este termo tem origem na palavra reduzir, uma vez que o objetivo da reforma era reduzir a dispersão das pequenas vilas. Desta foram, em 1552 o primeiro Conselho Provincial de Lima definiu a construção de uma igreja em cada *reducción* com dimensão tal que acolhesse toda a comunidade e decorada, por forma a conferir-lhe a dignidade exigida por um edifício eclesiástico.

Juan de Matienzo, que em 1567 escreveu o “Governo do Perú”, concentrou-se na definição da configuração das *reducciones* e apresentou a planta modelo. A planta modelo foi preparada para uma vila com cerca 500 famílias, organizada em blocos que rodeavam uma praça, tal como na vila de Kuño Tambo (Figura 1). Nos restantes blocos quadrados que rodeavam a praça eram construídos sobretudo o hospital, o edifício do corregedor, a prisão e uma pensão para visitantes espanhóis. Os povos nativos viviam em blocos mais afastados nas praças [4]. De acordo com os arquivos paroquiais de Acomayo, a igreja de Kuño Tambo, definida como *Templo de Santiago Apóstol de Cunotambo*, foi construída em 1681. Em geral, as igrejas eram construídas com a fachada principal voltada para a praça. No entanto, a igreja de Kuño Tambo apresenta uma orientação diferente. Esta diferente orientação pode estar relacionado com a sua construção no local de um templo antigo que não tinha qualquer relação com a praça construída após a reforma do Vice-Rei Francisco de Toledo [1].



Figura 1: Localização da igreja de Kuño Tambo na vila [1] [2].

1.2. Descrição geral

A igreja de Kuño Tambo tem um piso e é constituída sobretudo pela nave, cabeceira, batistério e sacristia (Figura 2a). Além disso, tem ainda uma torre sineira, que se encontra totalmente separada dos restantes elementos (Figura 1b), e um coro alto com estrutura em madeira. As foram construídas com unidades de adobe e junta à base de terra (Figura 2b). A igreja apresenta coberturas de duas águas com estrutura em madeira (Figura 2c). O topo da nave tem ainda seis vigas de madeira com aproximadamente cerca de 0.20 m de diâmetro orientadas na direção de menor vão. A nave tem ainda uma viga transversal ao nível do batistério e outra no exterior da fachada [5]. A fundação está assente em rocha natural e em argila compacta.

As paredes apresentam ainda uma base com altura variável em unidades de pedra irregular e argamassa à base de terra. As paredes construídas com unidades de adobe apresentam um aparelho do tipo Inglês, no qual as dimensões médias das unidades são 0.70x0.35x0.20 m. As juntas apresentam uma espessura média de cerca de 15 mm. A espessura das paredes longitudinais varia entre 1.60 m e 1.90 m e altura máxima é igual a 6.60 m. A fachada principal apresenta uma configuração simétrica, com a exceção da presença de uma abertura junto do cunhal este de acesso à varanda (Figura 2b). As paredes apresentam extensões nas extremidades que cumprem a função de contraforte. Atualmente, a parede longitudinal este da nave tem dois contrafortes. A parede longitudinal oeste da nave apresentava também dois contrafortes que provavelmente colapsaram.

Em geral, as paredes apresentam-se bem ligadas entre si, através do imbricamento da alvenaria, com exceção das ligações das paredes do batistério à parede longitudinal da nave. Além disso, as paredes sul e norte da igreja não se encontram perfeitamente ligadas às paredes laterais na nave. Os contrafortes da nave estão bem ligados à parede longitudinal, apresentando imbricamento da alvenaria, com exceção dos contrafortes que foram posteriormente adicionados (ver Secção 1.3).

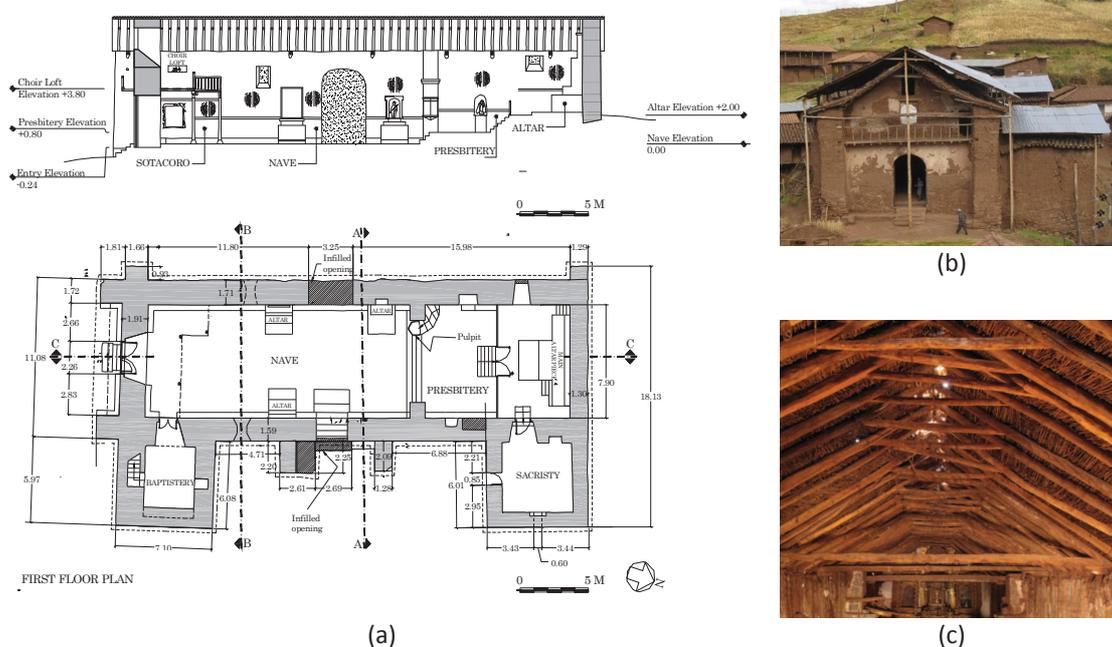


Figura 2: Igreja de Kuño Tambo: (a) Planta e alçado; (b) Fachada; (c) Cobertura.

1.3. Intervenções

A igreja de Kuño Tambo foi alvo de várias intervenções no passado. Em algumas partes da estrutura foi efetuado o refechamento das juntas, tendo por objetivo consolidar a aéreas das paredes afetadas pela erosão do vento. Atualmente observa-se que as unidades de adobe apresentam mais deterioradas do que as juntas. A geometria das paredes foi também alvo de alterações, destacando-se o preenchimento de várias aberturas. Em princípio, os contrafortes da parede oeste da parede longitudinal da nave colapsaram. Além disso, os contrafortes da parede longitudinal este da nave foram reforçados através do aumento da sua espessura. Atualmente, esse reforço apenas permanece num dos contrafortes (Figura 3).

O interior da igreja tem dois pilares junto das paredes longitudinais da nave, que podem corresponder à parte que resta de uma estrutura de um arco em *quincha* (madeira e terra) que existia no passado e que separava a cabeceira da nave (Figura 3). Em princípio, a cobertura original foi reconstruída após o colapso do arco interior de *quincha*. O telhado apresentava provavelmente uma forma compatível com o arco e seria assim mais alto do que o telhado existente. As vigas transversais de madeira apresentam uma fraca ligação às paredes de adobe. Assim, foram aplicadas ancoragens duas vigas transversais da cobertura (Figura 4).

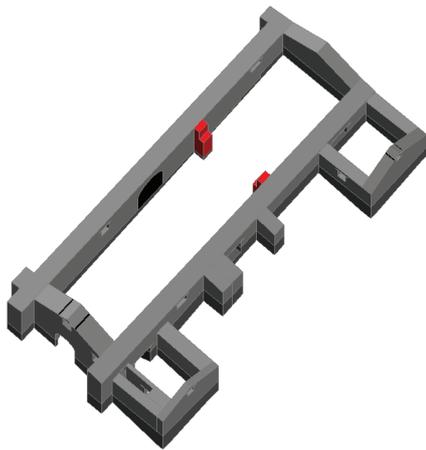


Figura 3: Pilares no interior da igreja junto das parede longitudinais da nave [6].

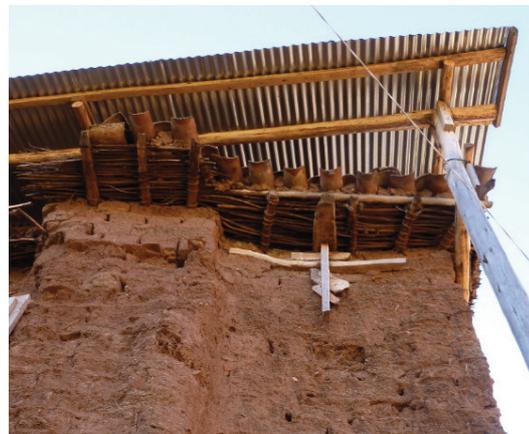
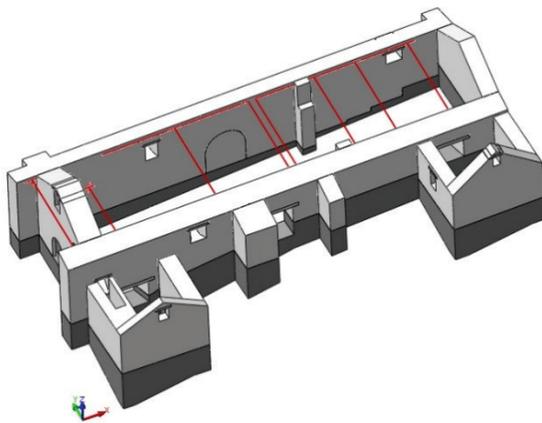


Figura 4: Vigas transversais de madeira e pormenor da ancoragem [6].

2. LEVANTAMENTO DAS ANOMALIAS

O levantamento das anomalias, realizado pela Universidade do Minho, permitiu verificar a fachada principal da igreja (sul) apresenta fendas verticais junto dos cunhais visíveis nas superfícies exterior e interior da parede, indicando que a sua ligação às paredes longitudinais da nave não é totalmente eficiente (Figura 5). A parede longitudinal oeste da igreja apresenta fendas no topo da parede e deformações para fora do plano. A parede longitudinal este apresenta também fendas verticais, que parecem estar associadas a assentamentos da base da parede, que por sua vez podem estar associados a fatores tais como humidade por capilaridade e perda de argamassa nas juntas (Figura 5). O batistério apresenta fendas uma fenda vertical em cada umas das paredes transversais e varias fendas no topo do cunhal sudeste (Figura 5). As paredes apresentam outros tipos de anomalias, tais como eflorescências, presença de vegetação, perda de argamassa nas juntas e deterioração das unidades de adobe (Figura 5).

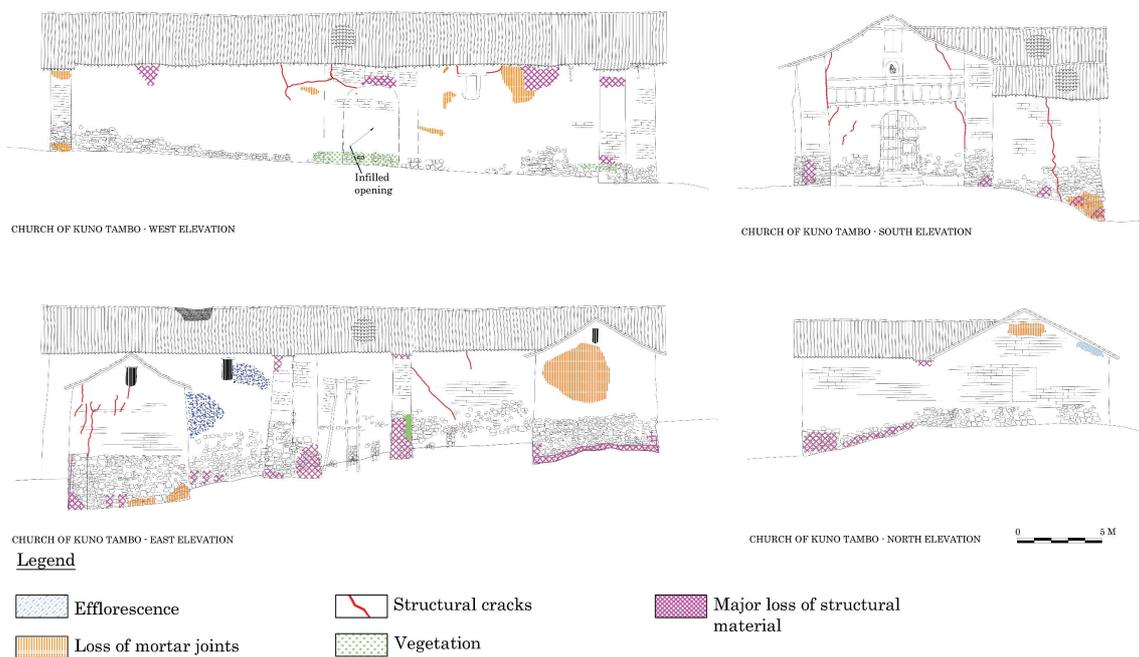


Figura 5: Anomalias identificadas nas paredes da igreja [6].

3. ENSAIOS DE IDENTIFICAÇÃO DINÂMICA

A Universidade do Minho efetuou ensaios de identificação dinâmica na igreja de Kuño Tambo, tendo por objetivo estimar as suas propriedades dinâmicas, nomeadamente frequências naturais, modos de vibração e coeficientes de amortecimento. Os ensaios de vibração ambiental foram realizados com recurso a acelerómetros piezoelétricos (10 V/g) colocados no topo das paredes da igreja [7]. Os resultados foram processados no programa ARTeMIS [8].

Os ensaios de identificação dinâmica permitiram estimar quatro modos de vibração com frequências que variam entre 1.59 Hz e 2.99 Hz. O primeiro modo (1.59 Hz) corresponde ao primeiro modo na direção transversal da igreja. As paredes longitudinais apresentam curvatura simples em contra fase, destacando-se as amplitudes elevadas no cunhal sudoeste. O segundo modo (2.15 Hz) corresponde a um modo na direção longitudinal, no qual se destaca a vibração da fachada principal para fora do seu plano. O terceiro modo (2.68 Hz) corresponde a um modo combinado, no qual a parede longitudinal oeste apresenta segunda curvatura. Por último, o quarto modo (2.99 Hz) corresponde a um modo local da fachada principal.

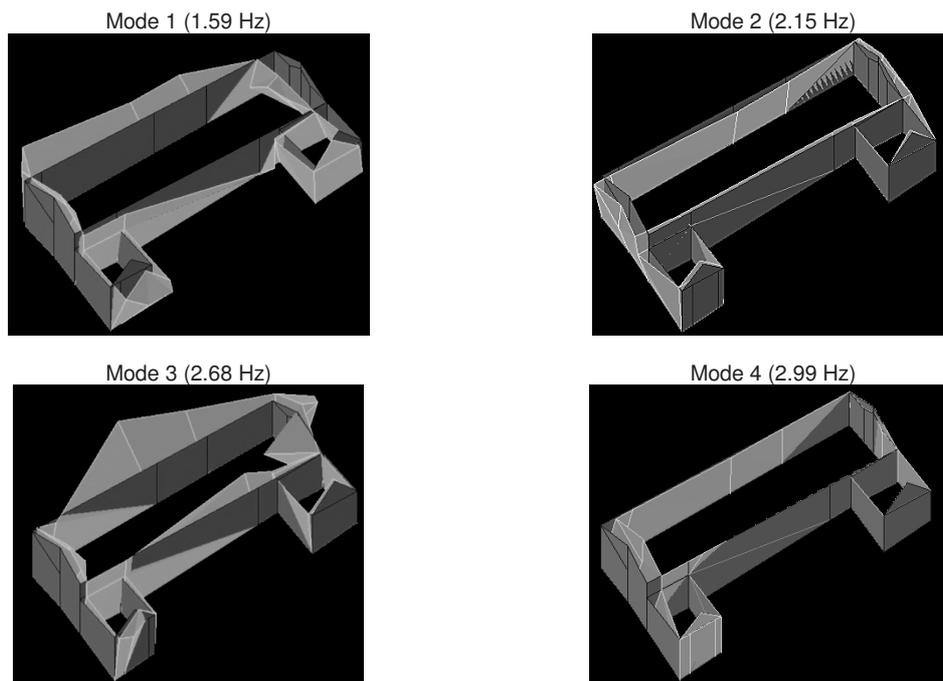


Figura 6: Modos de vibração obtidos através dos ensaios de identificação dinâmica [7].

4. COMPORTAMENTO PARA FORA DO PLANO DA PAREDE DA NAVE

As paredes da igreja de Kuño Tambo apresentam elevada espessura. Além disso, a parede longitudinal oeste da nave não possui contrafortes no exterior, que permitam reduzir os deslocamentos para fora do plano. Assim, foi realizado um estudo simplificado sobre o comportamento para fora do plano da parede longitudinal oeste na nave, tendo em consideração a morfologia do parelho da alvenaria na espessura da parede. A Figura 7 apresenta a geometria da seção de parede considerada com largura unitária. As unidades de adobe tem cerca de 0.70x0.35x0.20 m e a espessura média das juntas é igual a 15 mm. A base da parede em alvenaria irregular apresentam unidades de pedra com 0.70 m de dimensão máxima. Nas juntas da base considerou-se uma espessura média de 30 mm. Note-se que parede tem cerca de 1.71 de espessura incluindo o reboco. Uma vez que reboco não foi considerado nas análises, a espessura da parede do modelo é igual a 1.64 m.

A modelação numérica foi desenvolvida no programa de análise estrutural 3DEC, que tem por base o Método dos Elementos Discretos (MED) [9]. No MED as unidades de alvenaria são modeladas com blocos que interagem entre si através das superfícies de contacto. Assim, em geral expande-se as unidades de alvenaria incluindo a espessura das juntas. Como consequência, as unidades de adobe foram modeladas como blocos com 0.715x0.315x0.215 m e a junta apresenta espessura igual a zero. A alvenaria de pedra irregular da base da parede foi modelada com recurso a polígonos de Voronoi.

Foram considerados dois modelos MED distintos, tendo em consideração diferentes comportamentos para os blocos das unidades de adobe, nomeadamente: (a) Modelo 1, em que os blocos são deformáveis e apresentam uma malha interna; (b) Modelo 2, em que se assume os blocos como rígidos. Em ambos os modelos modelaram-se as unidades de pedra da base da parede como blocos rígidos, assumindo-se que a deformação ocorre apenas nas juntas. As propriedades materiais dos modelos foram determinadas com recurso aos ensaios realizados pela *Pontificia Universidad Católica del Perú* e aos resultados disponíveis na literatura (Tabelas 1 a 3). Além do peso próprio da parede, considerou-se também a respetiva componente vertical e horizontal do peso da cobertura.

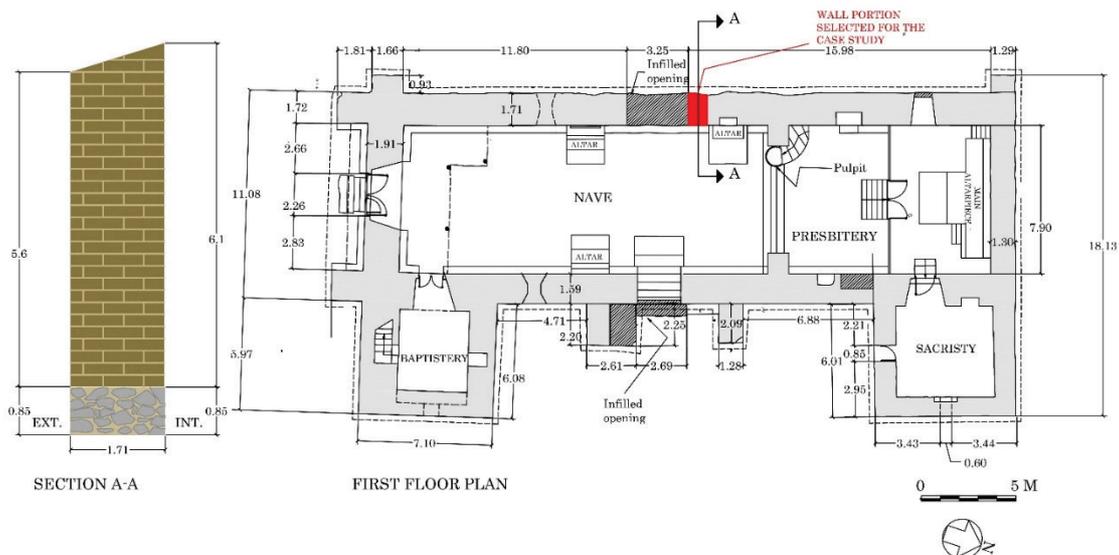


Figura 7: Identificação e geometria do modelo da parede.

Tabela 1 - Propriedades elásticas do modelo com blocos deformáveis.

	Unidades de pedra	Unidades de adobe	
γ [kN/m ³]	19	19	
E [MPa]	19400	114	
G [MPa]	776	46	
	Interface pedra-pedra	Interface adobe-adobe	Interface adobe-pedra
K_n [GPa/m]	2.67	5.33	5.33
K_s [GPa/m]	1.07	2.13	2.13

Tabela 2 - Propriedades elásticas do modelo com blocos rígidos.

	Unidades de pedra	Unidades de adobe	
γ [kN/m ³]	19	19	
	Interface pedra-pedra	Interface adobe-adobe	Interface adobe-pedra
K_n [GPa/m]	2.60	0.52	0.94
K_s [GPa/m]	1.04	0.21	0.37

Tabela 3 - Propriedades não lineares das interfaces.

	Interface pedra-pedra	Interface adobe-adobe	Interface adobe-pedra
c [MPa]	0.100	0.044	0.065
ϕ [rad]	0.400	0.500	0.450
f_t [MPa]	0.050	0.010	0.010

A avaliação do comportamento para fora do plano da parede longitudinal oeste foi realizada com recurso à análise não linear estática com distribuição de forças horizontais proporcionais à massa da estrutura. Os resultados do Modelo 1 (blocos deformáveis) indicam que a aceleração horizontal máxima é igual a 0.14 g e 0.23 g para a análise com forças aplicadas na direção +X (interior para o exterior) e para a análise com forças aplicadas na direção -X (exterior para o interior). A parede apresenta menor capacidade resistente para análise com forças aplicadas na mesma direção do impulso horizontal da cobertura. Ambas as análises apresentam mecanismos de colapso que correspondem à rotação da parede junto da sua

base (Figura 8). O Modelo 2 (blocos rígidos) apresenta uma resposta muito semelhante ao comportamento do Modelo 1 (Figura 9). Os resultados das análises demonstram que a diferença em termos de máxima aceleração horizontal aplicada é igual a 1.5%, no qual o menor valor corresponde ao modelo com blocos rígidos. Os mecanismos de colapso são também semelhantes (Figura 9).

Foi ainda realizada uma análise paramétrica, tendo por objetivo avaliar o comportamento parede em função da variação dos parâmetros para os quais existem incertezas, nomeadamente: (a) Morfologia do aparelho da alvenaria de adobe; (b) Malha utilizada para modelar a alvenaria irregular da base; (c) Parâmetros do comportamento não linear das diferentes interfaces. A análise paramétrica foi realizada assumindo-se blocos rígidos para as unidades de adobe. Os resultados permitiram verificar que, em geral, as variações na capacidade máxima em força são pouco significativas. A maior variação em termos de aceleração horizontal máxima é igual a cerca de 7% (0.145 g) e ocorre para o modelo em que se assume um aparelho regular para modelação da alvenaria da base. Todas as análises apresentam um mecanismo semelhante, caracterizado pela rotação da parede junto da sua base.

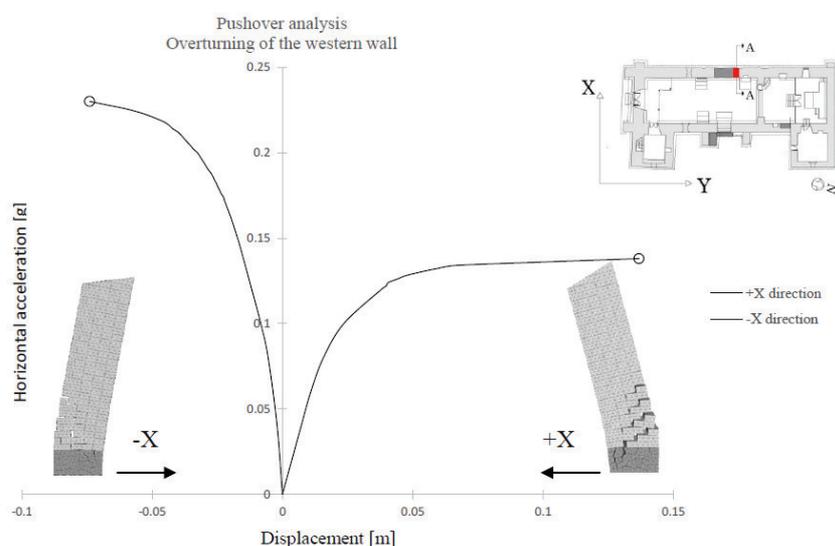


Figura 8: Comportamento para fora do plano da parede oeste.

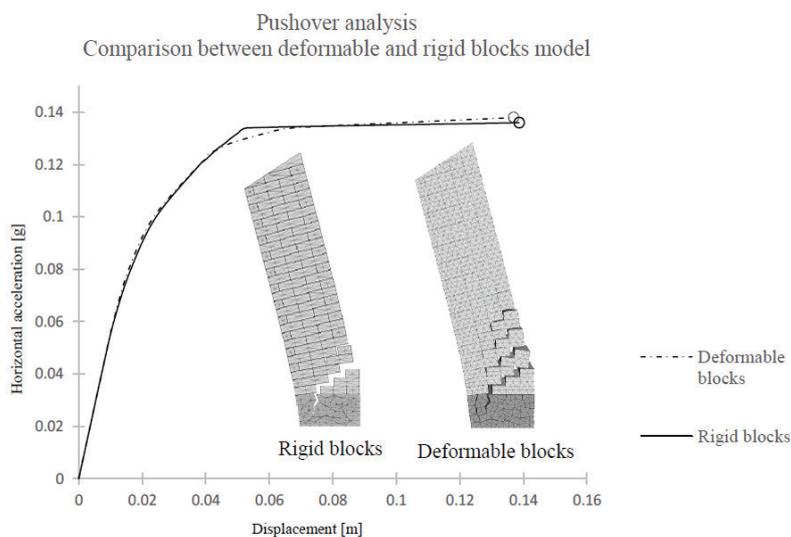


Figura 9: Comparação da resposta dos Modelos 1 e 2.

5. COMPORTAMENTO PARA FORA DO PLANO DA FACHADA

A fachada da igreja apresenta fendas verticais juntos dos cunhais, que condicionam a sua ligação às paredes longitudinais da nave e conseqüentemente podem aumentar a sua vulnerabilidade sísmica, nomeadamente no que diz respeito à resposta para fora do plano. Assim, a resposta para fora do plano da fachada, incluindo a ligação das paredes nos cunhais, foi também analisada com recurso a um modelo parcial da igreja. O modelo MED (Figura 10) é constituído pela fachada e parte das paredes longitudinais das paredes longitudinais da nave (cerca de 10 m comprimento). Uma vez que as paredes do batistério não apresentam uma ligação eficiente às paredes da nave, o batistério não foi considerado no modelo da fachada. A viga transversal existente junto da fachada apresenta uma ligação pouco eficiente às paredes da nave e não foi considerada (Figura 4). O modelo inclui ainda vigas de madeira nos lintéis horizontais das aberturas (Figura 11a). Foram ainda consideradas as forças (componente vertical e horizontal) correspondentes ao peso da cobertura.

No modelo MED da fachada adotaram-se blocos rígidos para modelação das unidades de adobe e de pedra. A alvenaria da base das paredes foi modelada com recurso a polígonos de Voronoi com dimensões superiores às dimensões reais das unidades de pedra, tendo por objetivo reduzir o esforço computacional. As propriedades materiais iniciais do modelo da fachada são semelhantes às propriedades utilizadas para modelação da parede oeste com blocos rígidos, com a exceção das interfaces pedra-pedra e das interfaces pedra-adobe, que têm em consideração as dimensões elevadas dos polígonos de Voronoi na deformação da estrutura. O modelo foi calibrado em relação ao primeiro modo local da fachada estimado nos ensaios de identificação dinâmica (2.15 Hz), assumindo as propriedades materiais elásticas das interfaces como variáveis a calibrar. O modelo da fachada foi calibrado de acordo com o método proposto por Douglas-Reid e obteve-se um erro inferior a 1% para a frequência do primeiro modo local da fachada. As Tabelas 4 e 3 apresentam as propriedades elásticas após calibração e as propriedades não lineares, respetivamente.

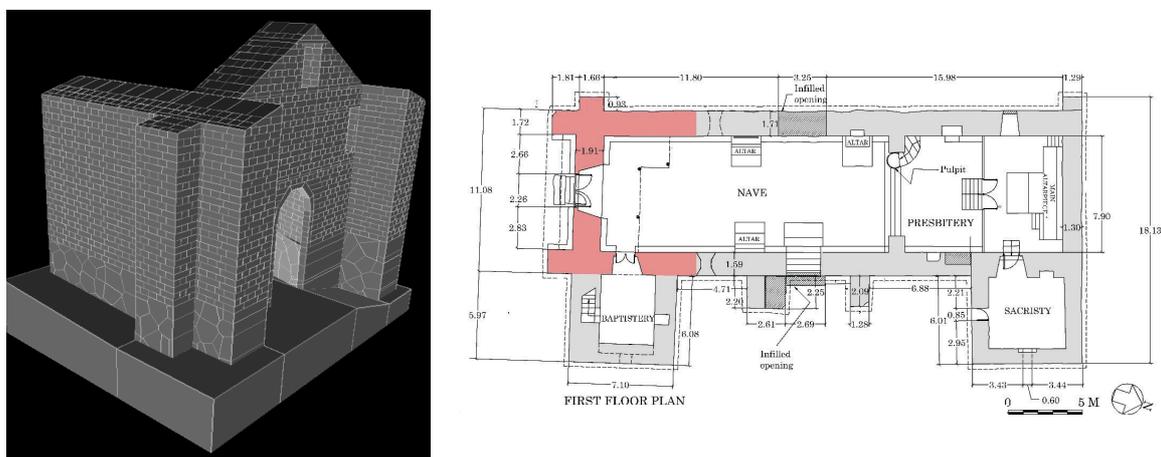


Figura 10: Modelo da fachada.

Tabela 4 - Propriedades elásticas do modelo da fachada após calibração.

	Unidades de pedra	Unidades de adobe	Vigas de madeira
γ [kN/m ³]	19	19	4
	Interface pedra-pedra	Interface adobe-adobe	Interface adobe-pedra
K_n [GPa/m]	1.04	0.40	0.62
K_s [GPa/m]	0.42	0.16	0.25

A estratégia de modelação baseou-se na criação de macroblocos regulares, que foram posteriormente discretizados em blocos rígidos de menor dimensão representativos das unidades de alvenaria. Assim, a malha do modelo apresenta uma junta vertical em toda a altura da ligação entre a fachada e as paredes ortogonais (Figura 11b). Note-se que os cunhais da igreja apresentam imbricamento das unidades de alvenaria nestas ligações. Deste modo, a ligação entre paredes ortogonais foi garantida através das propriedades elásticas e inelásticas destas juntas verticais. A consideração das propriedades inelásticas das propriedades interface entre a unidade de alvenaria e a junta nestas juntas verticais pode subestimar a capacidade resistente da fachada. Por outro lado, representação do cunhal com ligação rígida pode sobrestimar a resposta da fachada. Assim, a modelação da ligação da fachada às paredes longitudinais da nave foi modelada assumindo as seguintes hipóteses: (a) Junta inelástica com propriedades iguais às propriedades das unidades de adobe, com f_t igual a 0.12 MPa and c igual a 0.18 MPa (Modelo 1); (b) Junta elástica com rigidez igual à rigidez da junta, mas com resistência à tração e coesão infinita (Modelo 2); (c) Junta com ligação muito fraca entre paredes ortogonais, assumindo-se as propriedades da argamassa de terra (Modelo 3).

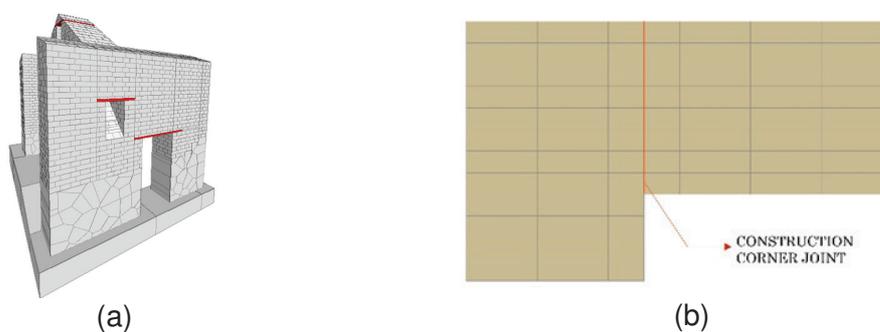


Figura 11: Pormenores do modelo da fachada: (a) Vigas de madeira; (b) Junta na ligação entre a fachada e as paredes longitudinais da nave.

A avaliação do desempenho sísmico da fachada foi realizada com recurso à análise não linear estática com distribuição de forças horizontais proporcionais à massa na direção ortogonal à fachada (sentido positivo e negativo).

Os resultados da análise com forças aplicadas no sentido negativo (para o exterior da igreja) indicam que a ligação da fachada tem uma influência significativa no comportamento da fachada (Figura 12). A aceleração horizontal máxima de colapso é igual a 0.24 g, 0.34 g (+42%) e 0.15 g (-38%) para o Modelo 1, 2 e 3, respetivamente. Os Modelos 1 e 3 apresentam mecanismos de colapso semelhantes, correspondendo ao colapso local da fachada com rotação na base. As fendas iniciam-se na alvenaria de adobe e prolonga-se até a base com uma inclinação de cerca de 45°, o que se aproxima do mecanismo de colapso observado no modelo simplificado da parede oeste. Os mecanismos de colapso dos Modelos 1 e 3 encontram-se de acordo com o dano observado na fachada da igreja, no qual se destacam as fendas juntos dos cunhais (Figura 5). Os resultados do Modelo 2 parecem indicar os critérios utilizados para a ligação entre a fachada e as paredes da nave é mais eficiente do que a real ligação das paredes nos cunhais. O mecanismo de colapso do Modelo 2 apresenta fendas nas paredes longitudinais da nave e não junto dos cunhais, como observado na inspeção do dano da igreja. Além disso, apresenta também o colapso da parede este. Uma vez que apenas se considerou parte das paredes longitudinais e o colapso da parede este pode estar relacionado com a rigidez no plano da parede, foi realizada uma análise adicional do Modelo 2 com molas horizontais nas extremidades livres das paredes longitudinais da nave. A rigidez nas molas foram definidas tendo por objetivo simular a real rigidez nas paredes longitudinais. Os resultados deste modelo apresentaram ligeiras alterações relativamente ao comportamento do Modelo 3 (Figura 5), envolvendo a rotação da fachada e fendas nas paredes ortogonais (0.36 g).

A análise não linear estática com forças aplicadas na direção positiva (para o interior da igreja) apresenta a menor aceleração de colapso (Figura 13). Esta aceleração de colapso (0.14 g) ocorre para a análise do Modelo 3 e envolve o colapso da fachada com fendas verticais junto dos cunhais e fendas diagonais (na espessura da parede) junto da interface entre a alvenaria de adobe e a alvenaria irregular de pedra.

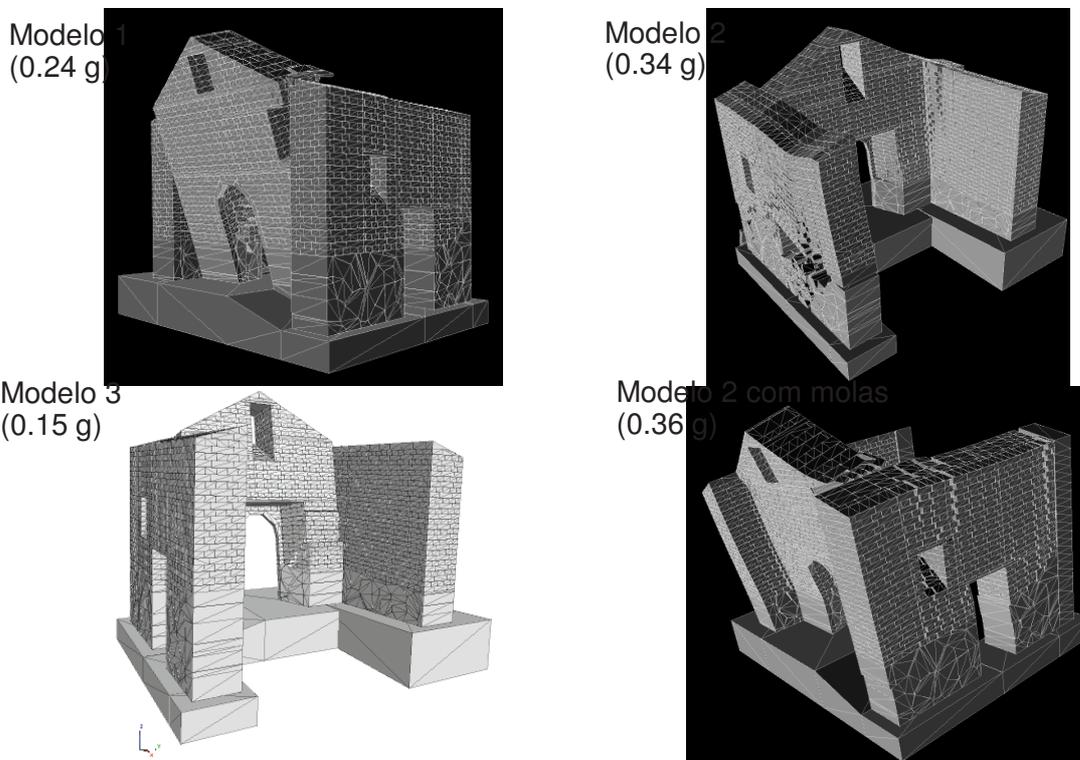


Figura 12: Análise não linear estática na direção -Y.

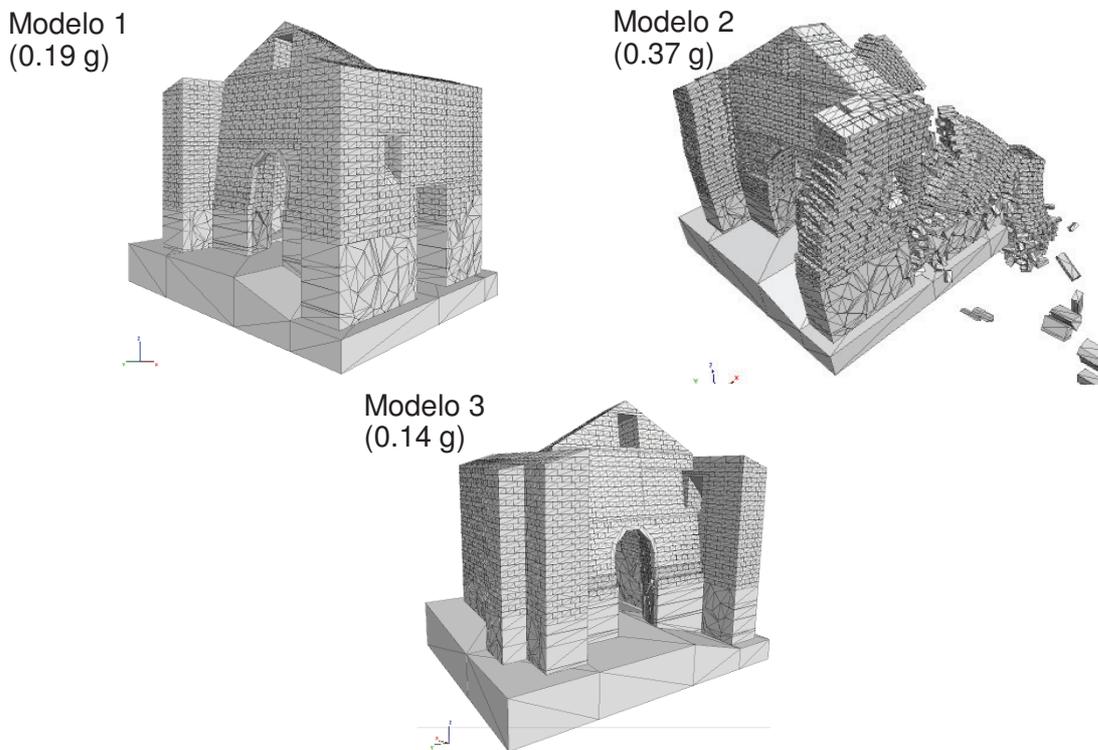


Figura 13: Análise não linear estática na direção +Y.

6. CONCLUSÕES

A igreja de Kuño Tambo (Peru) apresenta paredes compostas por alvenaria de adobe na parte superior e uma base em alvenaria irregular de pedra. A igreja apresenta fendas verticais na fachada junto dos cunhais. Além disso, as paredes apresentam outras anomalias, tais como eflorescências, presença de vegetação, perda de argamassa nas juntas e deterioração das unidades de adobe.

Este estudo teve como principal objetivo avaliar o desempenho sísmico com recurso a modelos desenvolvidos com base no Método dos Elementos Discretos (MED) e à análise não linear estática. O primeiro modelo corresponde a um modelo DEM simplificado da parede oeste da igreja e tem por objetivo estudar o comportamento para fora do plano da parede longitudinal da nave. Por último, foi preparado um modelo parcial da igreja, composto pela fachada e parte das paredes ortogonais da nave, tendo por objetivo avaliar o comportamento para fora do plano da fachada. Este modelo foi calibrado com base nas propriedades dinâmicas estimadas através de ensaios de identificação dinâmica.

Os resultados das análises permitiram concluir que a aceleração de colapso do modelo da parede oeste é igual a 0.14 g e o mecanismo de colapso corresponde à rotação da parede junto da sua base. No modelo da fachada consideram-se diferentes comportamentos para a ligação entre as paredes ortogonais. Os resultados das análises permitiram concluir que a ligação entre paredes ortogonais tem influência significativa na resposta para fora do plano da fachada, no qual se obteve a aceleração de colapso mínima (0.14 g) para o modelo com ligação muito fraca entre paredes ortogonais.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Itasca Consulting Group, nomeadamente o fornecimento do programa 3DEC utilizado na análise numérica. Os autores do ISISE agradecem ainda à FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia) pelo apoio através do projeto UID/ECI/04029/2013.

8. REFERÊNCIAS

- [1] Cancino, C. (2009) Damage assessment of historical earthen buildings after the August 15, 2007 Pisco, Peru Earthquake. Research Report, Los Angeles.
- [2] Kuño Tambo (2015) <https://www.flickr.com/photos/thegetty/>. "Main road and the bell tower".
- [3] Hosne A.C. (2013) *The Jesuits missions to China and Peru, 1570-1610: Expectations and appraisals of expansionism*. Routledge. ISBN-13: 978-0415529822.
- [4] Mumford, J.R. (2012) *Vertical Empire: The General Resettlement of Indians in the Colonial Andes*. Duke University Press.
- [5] Ferreira C.F. and D' Ayala D. (2012) Seismic Assessment and Retrofitting of Peruvian Earthen Churches by Means of Numerical Modelling. 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal.
- [6] Karanikoloudis G. and Lourenço P.B. (2015) Seismic Assessment of Kuño Tambo Church (Current Condition), Peru. Technical report 2015-DEC/E- 41.
- [7] Greco F., Karanikoloudis G., Mendes N. and Lourenço P.B. (2015) Experimental in situ testing campaign on adobe historic structures in Peru, within the Getty SR Project. Technical report 2015-DEC/E-30.
- [8] ARTeMIS (2014) SVS - Structural Vibration Solutions A/S, Denmark.
- [9] Itasca Consulting Group (2013) 3DEC: 3 Dimensional Distinct Element Code.