

## COBERTURA DA SALA DO RELICÁRIO DO MOSTEIRO DE SANTA CRUZ – DA INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO AO PROJECTO

Artur O. Feio, Paulo B. Lourenço e Jorge M. Branco  
*Universidade do Minho., Departamento de Engenharia Civil, Portugal*

### RESUMO

A existência e difusão de diversas tipologias estruturais encontradas não só em todo o país, mas um pouco por toda a Europa, faz com que a sua conservação, inspecção e utilização sejam de vital importância para a manutenção do património enquanto símbolo de identidade e orgulho nacional.

No presente artigo são apresentadas as conclusões obtidas no diagnóstico e inspecção da estrutura existente, com recurso a técnicas não destrutivas (nomeadamente o Pilodyn e o Resistógrafo), referindo-se o seu potencial campo de aplicação, vantagens e limitações, fundamentadas na experiência da sua utilização noutros casos reais.

Finalmente, é apresentada a solução proposta para a realização de uma nova cobertura. Precedida e fundamentada no diagnóstico e inspecção realizados, a apresentação da metodologia a adoptar no projecto da nova cobertura tem como objectivo primeiro a manutenção da traça original da antiga cobertura (cota da cumeeira e geometria da antiga cobertura) respeitando diversos condicionalismos estruturais e técnicos existentes.

### INTRODUÇÃO

As coberturas, dos edificios monumentais e históricos, de madeira são provavelmente os sistemas estruturais mais emblemáticos e com maior complexidade estrutural que podemos encontrar dentro das estruturas históricas de madeira. A multiplicidade de uniões e soluções construtivas varia consoante a evolução e o desenvolvimento de técnicas e meios construtivos, podendo-se definir características solucionais de carácter local, porventura função dos conhecimentos técnicos dos próprios carpinteiros da localidade (Tampone, 1996).

O presente artigo refere-se ao projecto de intervenção da sala do relicário do Mosteiro de Santa Cruz, em Coimbra. Os trabalhos em causa justificam-se face às fendas existentes na abóbada que cobre o espaço e à deterioração da cobertura.

Fundado em 1131 no exterior das muralhas de Coimbra, o Mosteiro de Santa Cruz foi a mais importante casa monástica nos primeiros tempos da monarquia portuguesa. Na primeira metade do século XVI o Mosteiro foi integralmente reformado por ordem de D. Manuel, monarca que assumiu a tutela do cenóbio. Todo o complexo monástico, a igreja e os túmulos de D. Afonso Henriques e seu sucessor, D. Sancho I, foram reformulados e transferidos para a capela-mor em 1530, onde ainda hoje se encontram inseridos numa obra escultórica da autoria de Nicolau de Chanterenne.

A deformação excessiva da cobertura resultou em modificações sucessivas da solução original da cobertura, com introdução de escoras com apoio na abóbada principal, que resultaram em danos consideráveis na abóbada principal. Salienta-se ainda a ausência de ligações convenientes entre elementos de madeira, a necessidade de eliminação completa de

toda a actividade biológica e o perigo de incêndio. Face ao estado actual da sala, o IPPAR – Instituto Português do Património Arquitectónico, decidiu proceder à substituição integral da cobertura e a reabilitação do conjunto.

### LEVANTAMENTO DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS DA COBERTURA

A sala do relicário é uma das zonas contíguas do Mosteiro de Santa Cruz, possuindo uma cobertura tradicional em madeira, com quatro águas, uma abóbada principal de madeira fasquiada e estucada, com forma elíptica, e diversas abóbadas secundárias de madeira fasquiada e estucada, com forma de berço, ver Figura 1. A sala do relicário possui dimensões aproximadas de 12.5 m de largura, 15 m de comprimento e 11.5 m de altura (medida ao fecho da abóbada).

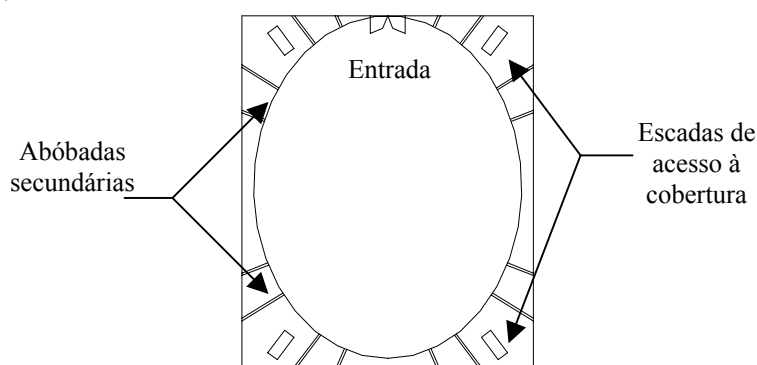


Figura 1 – Planta da sala do relicário.

#### 1. Cobertura

A cobertura está representada em planta na Figura 2. Trata-se essencialmente de uma cobertura de quatro águas com pernas, fileira e terças. Salienta-se no entanto que o madeiramento total é extraordinariamente complexo, tendo resultado de diversas intervenções ao longo do tempo, ver Figura 3.

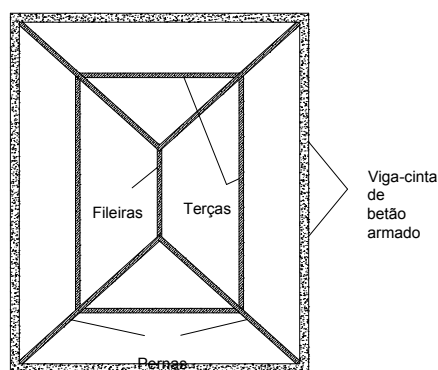


Figura 2 – Planta da cobertura, com elementos estruturais principais.



(a)

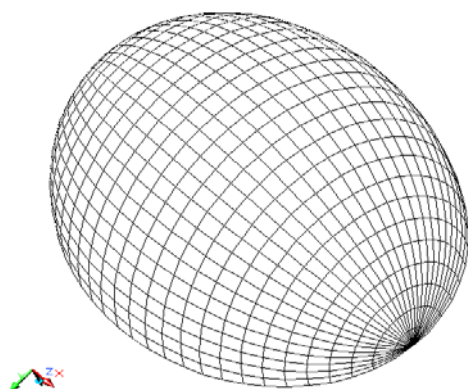


(b)

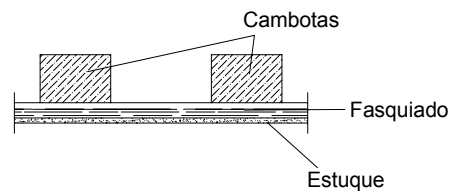
Figura 3 – Aspectos da cobertura: (a) vista geral, obtida a partir de uma abóbada secundária; (b) pormenor do madeiramento obtido no centro da abóbada central, com elementos estruturais principais.

## 2. Abóbada Principal

A abóbada principal está representada na Figura 4, sendo realizada com cambotas de aproximadamente  $0.15 \times 0.10 \text{ m}^2$ , afastadas de 0.35-0.40 m entre eixos, ao nível dos arranques e justapostas ao nível do anel de madeira que realiza a chave da abóbada.



(a)



(b)

Figura 4 – Abóbada principal: (a) perspectiva e (b) corte-tipo.

## REGISTO DAS PRINCIPAIS ANOMALIAS DETECTADAS

### 1. Forro

De uma forma geral as peças de madeira que constituem o forro são de madeira de castanho (possivelmente aproveitadas do forro pré-existente) e pinho tratado.

Como consequência de antigas infiltrações de água (solucionadas anteriormente com obras de reparação e beneficiação da cobertura) e devido às flutuações higrotérmicas a que o desvão da cobertura se encontra sujeito, observam-se, em algumas zonas do madeiramento, a

presença de manchas de humidade e o desenvolvimento de colónias de fungos de podridão, ver Figura 5. A percentagem do forro em condições deficientes é estimada em 30%.



Figura 5 – Efeito da humidade nos elementos do forro. As manchas de humidade e a presença de fungos de podridão indiciam infiltrações antigas.

## **2. Deformação no Madeiramento Geral da Cobertura**

A principal causa do estado de degradação observado na abóbada fasquiada deve-se às condições de apoio introduzidas em intervenções de reabilitação realizadas anteriormente em diversos elementos estruturais da cobertura. Assim, e devido a uma excessiva deformação destes elementos da cobertura, foram introduzidas escoras adicionais (verticais e horizontais) que apoiam directamente na abóbada de fasquiado, originando a deformação desta e o aparecimento de fendas no estuque, ver Figura 6. De acordo com as informações recolhidas no local, a fendilhação existente é antiga, não se verificando uma progressão muito significativa de fendas desde uma visita ao local realizada no ano de 2000.

## **3. Outras Patologias no Madeiramento Geral da Cobertura**

No madeiramento geral da cobertura, observam-se elementos de madeira que foram atacados por caruncho (pequeno) e que se encontram bastante danificados. Da mesma forma que para a madeira do fasquiado, este ataque está generalizado a toda a estrutura, não sendo possível individualizar qualquer zona específica. Este tipo de ataque restringe-se, na maioria das situações, ao borne da madeira.

Pontualmente existem situações em que os elementos de madeira apresentam outras patologias / defeitos localizados (nós, secções ocas e secções fendilhadas), que afectam significativamente a sua capacidade resistente, ver Figura 6.

Verifica-se ainda que existem ligações por entalhe deficientes, encontrando-se as peças soltas e sem contacto, ver Figura 6. Adicionalmente, encontram-se ligadores metálicos, utilizados com o intuito de reforçar as ligações, em avançado estado de corrosão, fenómeno este potenciado pela presença de fezes animais (pequenos roedores e pombos) em diversas zonas da abóbada de fasquiado, ver Figura 6.

Desta forma, é claro que existem peças de madeira que não possuem condições de continuar a desempenhar funções estruturais devido ao seu elevado estado de deterioração.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 6 – (a) deformações excessivas e escora vertical; (b) elemento de madeira com secção oca; (c) elementos atacados por caruncho pequeno; (d) exemplo de um elemento de madeira sem continuidade estrutural; (e) pormenor dos ligadores metálicos oxidados; (f) fezes animais.

#### 4. Fasquiado e cambotas da abóbada principal

Diversas cambotas inspeccionadas apresentavam, nas suas superfícies, orifícios característicos de saída de insectos (caruncho pequeno), sendo o fenómeno mais severo nas madeiras mais antigas e que são, na sua maioria, as partes constituintes da abóbada de fasquiado. Existem zonas das cambotas bastante afectadas pelo caruncho pequeno, que em muitos dos casos provocou degradação significativa da madeira. Este ataque encontra-se distribuído por toda a estrutura, não sendo possível individualizar nenhuma zona em particular, ver Figura 7.



Figura 7 – Pormenores da madeira do ataque generalizado das madeiras e da irregularidade das secções provocada pelo mesmo, nas cambotas da abóbada principal.

Refere-se ainda que o madeiro do fasquiado se apresenta, em geral, em bom estado atendendo à protecção fornecida pela argamassa. No entanto, é relevante salientar o excesso de resíduos (poeiras, detritos animais e restos de madeira resultantes de intervenções anteriores) que se encontram no fasquiado, ver Figura 8. Além de dificultarem a inspecção da estrutura, estes resíduos apresentam-se como um potencial foco de incêndio.



Figura 8 – Resíduos observados sobre as madeiras do fasquiado: (a) aspecto geral; (b) pormenor da zona central da cobertura.

## ESTADO SANITÁRIO DAS MADEIRAS

### 1. Ensaios não destrutivos

Devido ao elevado número de elementos de madeira existentes na estrutura da cobertura, nesta avaliação apenas foram realizados ensaios em elementos necessários para obter informação específica relativa à definição do projecto de consolidação (Uzielli, 1992).

Com o intuito de avaliar o estado sanitário das madeiras recorreu-se ao Pilodyn para caracterizar a resistência à penetração superficial, recorreu-se a um formão para inspeccionar as camadas subjacentes à superfície, e recorreu-se ao Resistógrafo para analisar o perfil de densidade das madeiras (Rinn, 1994). Neste último caso é possível, através da avaliação da resistência oferecida à penetração de uma agulha, determinar a profundidade e extensão da secção das estruturas de madeira afectada pelos ataques dos agentes xilófagos.

Os parâmetros que se pretendem avaliar são:

- Estado sanitário das madeiras.
- Extensão dos danos.
- Resistência das madeiras.

A realização dos ensaios foi executada tendo em conta as situações mais desfavoráveis em que o madeiramento se apresentava em obra. Salienta-se ainda que os ensaios realizados com o Resistógrafo e o Pilodyn foram executados nos mesmos elementos, em secções próximas.

## **2. Análise dos resultados**

Os madeiramentos observados (madeira da abóbada e madeiramento geral da cobertura) encontram-se, de forma generalizada, atacados por insectos xilófagos, o que contribui para o actual estado de degradação da estrutura observado quer a nível visual, quer a nível estrutural. Este ataque, na maioria dos casos, restringe-se à zona do borne.

De uma forma geral as entregas das vigas de suporte da estrutura nas paredes de alvenaria encontram-se em bom estado.

Alguns dos elementos de madeira, nomeadamente pertencentes ao forro e ao madeiramento geral da cobertura, não se apresentam em condições de continuar a desempenhar as suas funções, devido ao seu avançado estado de deterioração, devendo-se proceder nestes casos à sua substituição.

## **RECOMENDAÇÕES PARA O PROJECTO DE CONSOLIDAÇÃO**

Como factores condicionantes da intervenção no madeiramento salientam-se as escoras introduzidas anteriormente para reduzir a deformação da cobertura, que conduziram a danos na abóbada de fasquiado, a ausência de ligações convenientes entre elementos de madeira, a necessidade de eliminação completa de toda a actividade biológica e o perigo de incêndio.

Referem-se ainda os seguintes aspectos a considerar na intervenção: (a) a fendilhação existente numa das paredes exteriores de alvenaria, referida no relatório da OZ disponibilizado pelo IPPAR, parece estar estabilizada pela viga-cinta de betão colocada no topo das paredes. Desta forma não se recomenda qualquer intervenção nas paredes; (b) o acesso ao desvão da cobertura é difícil, exigindo a colocação de uma escada amovível e existindo vestígios de uma escada de madeira apenas sobre os arranques da abóbada principal. Desta forma recomenda-se a execução de um sistema permanente de acesso ao desvão para inspecções futuras; (c) o estado geral de conservação da sala do relicário é deficiente. Desta forma a intervenção de consolidação das coberturas deveria ser complementada pelo restauro e tratamento global das madeiras em paredes, portas e janelas, restauro das pinturas e rebocos, restauro do candelabro, bem como a reposição de todas as escadas de acesso às abóbadas secundárias e respectivos pavimentos.

## PROJECTO DE CONSOLIDAÇÃO

### 1. Normas e regulamentos do projecto

A caracterização das acções e a sua combinação foram realizadas de acordo o Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, Decreto-lei nº 235/83. Para o dimensionamento dos elementos estruturais em madeira que constituem a cobertura utilizou-se o EC5 – Projecto de Estruturas de Madeira. Parte 1.1: Regras gerais e regras para edifícios (NP ENV 1995-1-1:1998).

### 2. Solução proposta

A solução proposta para a nova cobertura inclui um conjunto de elementos principais, madres e forro de 0.017 m em madeira de Pinho Bravo tratado, com aplicação de sub-telha tipo ONDULINE Ref. 50, e recolocação da telha existente. A nova cobertura é semelhante à cobertura existente, de quatro águas. Salienta-se que a existência de uma abóbada interna no desvão impede a realização de uma solução de cobertura tradicional com recurso a linhas nas asnas. Desta forma, a solução inclui quatro diagonais e uma fileira, bem como um conjunto de terças a meia altura das diagonais, duas asnas centrais e quatro asnas de canto, tendo em vista a redução dos vãos dos elementos principais, que são significativos. Os apoios das diagonais e das asnas de canto sobre a parede serão realizados em nichos de betão já existentes na vigacinta localizada no topo das paredes exteriores. Os apoios das asnas centrais sobre a parede serão realizados em cachorros metálicos ligados a uma viga adicional, colocada de forma a reduzir o momento flector sobre as paredes exteriores.

As ligações da nova estrutura de madeira serão pregadas, ainda que seja necessário recorrer a ligadores metálicos especialmente desenvolvidos, face à complexidade introduzida pela abóbada que preenche o desvão de forma muito significativa. Estes ligadores, bem como os pregos associados aos ligadores, serão realizados integralmente em aço inoxidável da classe AISI 316.

A cumeeira será realizada a seco, para permitir a micro-ventilação do forro pela parte superior. A entrada de ar da micro-ventilação será assegurada por tubos plásticos de 15 mm, colocados espaçados de 1.20 m.

Os elementos fixos do recheio artístico da sala serão protegidos e acondicionados, com recurso a uma estrutura capaz de resistir a impactos mecânicos.

As madeiras da sala serão totalmente reabilitadas, incluindo as cambotas e o fasquio da abóbada principal e das abóbadas secundárias, o pavimento intermédio para acesso ao desvão, as escadas para acesso ao desvão, as paredes, os caixilhos, portas e janelas, etc.

Finalmente, proceder-se-á ao restauro do revestimento das abóbadas e dos paramentos, com recurso a estuque reforçado com telas de fibra de vidro, assegurando a protecção do piso da sala com geotêxtil.

### 3. Acções

As acções consideradas no dimensionamento dos elementos estruturais foram:

Acções permanentes ( $G_k$ )

– Telha Lusa

0,5 kN/m<sup>2</sup>



– Sub-Telha Onduline Ref. 50 (inclui ripas)	0,045 kN/m <sup>2</sup>
– Forro em pinho tratado (17mm)	0,1 kN/m <sup>2</sup>
Sobrecarga regulamentar (Q <sub>k</sub> )	
– Cobertura Ordinária	1 kN/m <sup>2</sup>
Acção da Neve (S <sub>k</sub> )	
– Região de Coimbra:	1,4 kN/m <sup>2</sup>

#### 4. Desenhos

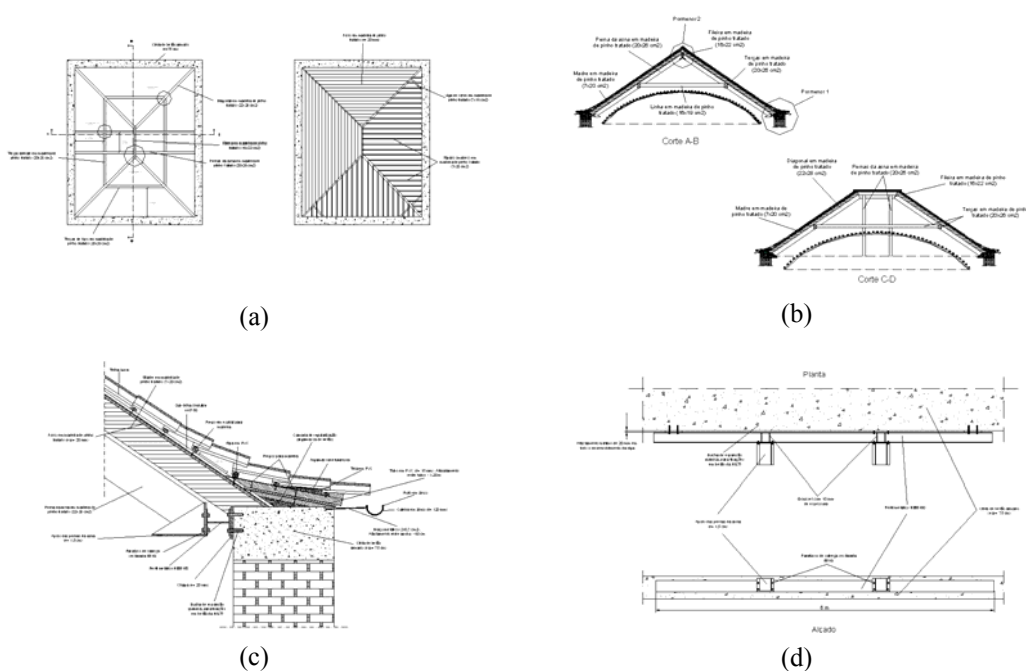


Figura 9 – (a) estrutura da cobertura (planta, forro e ripado); (b) cortes AB e CD; (c) pormenor do apoio da asna central; (d) viga metálica para apoio das asnas centrais.

#### REFERÊNCIAS

- Eurocódigo 5, “EC5 – Projecto de Estruturas de Madeira. Parte 1.1: Regras gerais e regras para edifícios (NP ENV 1995-1-1:1998)”, 1998.
- Giordano, G., *Timber structures engineering*. 5 th Edn. (Hoepli, Milano, 1999).
- Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, Decreto-Lei nº 235/83.
- Relatório de inspecção “Igreja de Santa Cruz – Coimbra. 1ª Fase – Estudo preliminar da abóbada da nave central e da sala do relicário”, nº 374/00, 2001, da empresa OZ – Diagnóstico, levantamento e controlo de qualidade em estruturas e fundações, Lda.”, 2001.

- Rinn, F., 1994 – “Resistographic inspection of construction timber, poles and trees”.  
*Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference*. Gold Coast, Australia, Jul.  
1994.
- Tampone, G., *Timber structure rehabilitation*. 1 st Edn. (Hoepli, Milano, 1996).
- Uzielli, L. 1992 – “Evaluation of timber elements bearing capacity”. *L’Edilizia*. 12, p. 753-  
762.