

REABILITAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA CÚPULA DO SÉCULO XVI SUJEITA A SÉRIO RISCO DE RUÍNA

THOMAZ RIPPER

Engenheiro Civil, LEB – Consultoria em Betões e Estruturas, L. da,
Praceta Francisco Relógio, 13, Cobre, 2750-566 CASCAIS, Portugal
Professor Assistente do Departamento de Engenharia Civil, UFF, Niterói, Brasil
Professor do Grupo de Betão Armado e Pré-Esforçado, IST, Lisboa, Portugal
thomazripper@mail.telepac.pt

JOSÉ PAULO Veríssimo da Silva Maia COSTA

Engenheiro Civil, s.t.a.p, SA, Rua Pedro Nunes, 27 – 1º, 1069-072 LISBOA, Portugal
info@stap.pt

CARLOS Manuel Garrido MESQUITA

Engenheiro Civil, OZ, L. da, Rua Pedro Nunes, 45 – 1º Esq., 1069-170 LISBOA, Portugal
mailto:oz.diag@mail.telepac.pt

ABSTRACT

The dome of an old (1599) Jesuitical school reconverted into a theatre on the middle of the last century was showing evidence of an immediate break – down.

A very straight topographical survey has been carried out in order to characterise the geometry of the deformed dome and its supports, as well as of the construction materials, both from its physical and chemical aspects. On the other hand, the structure has been modelled, the installed tensions defined and the global safety factor – a very reduced one – estimated.

The comparison between the numerical and the experimental analysis shows convergence enough to handle a very well supported evaluation of the degradation system as well as the definition of an appropriated repair – and strengthening – system.

1. HISTORIAL

O edifício que hoje se designa por Teatro Lethes, situado ao centro da cidade de Faro, no Algarve, ao sul de Portugal, começou por ser, e o foi durante 160 anos, um colégio de Jesuítas, fundado, pelo então Bispo do Algarve D. Fernando Martins Mascarenhas, depois de várias tentativas falhadas de seus antecessores.

O objectivo do Colégio de São Tiago Maior da Companhia de Jesus era o de que “ali fossem ensinadas as letras”, tendo a licença para o estabelecimento sido concedida por carta d’El Rei D. Filippe, datada, em Madrid, a 8 de Fevereiro de 1599. A construção iniciou-se em 1605, destacando-se a igreja, de uma só nave, que ficava ao centro.

Como conta a História, as críticas ao ensino jesuítico em Portugal sucediam-se, em particular nos meios intelectuais, que discordavam veementemente do monopólio educativo dos jesuítas.

Assim, e levando em conta que os seguidores de Inácio de Loyola desfrutavam de grande influência política, pois eram também os confessores particulares de toda a família real e os mentores da classe aristocrática, não foi de estranhar que, em 1759 o Conde de Oeiras, futuro Marquês de Pombal, com a ajuda de algumas parcelas do clero, para não ver a sua política – e prestígio junto à realeza – postos em risco, tenha banido a Companhia de Jesus do país e dos domínios ultramarinos, sendo-lhe posteriormente confiscados todos os bens.

Em 1773, com a extinção da Companhia de Jesus, decretada na bula “Dominus ac Redemptor”, do Papa Clemente XIV, o imóvel do velho colégio de Faro ficou à mercê dos desígnios da Coroa, tendo sido, seis anos mais tarde, entregue aos Carmelitas Calçados. Os tempos que se seguiram foram atribulados, tendo o imóvel sido ocupado, temporariamente, pelas tropas do exército napoleónico e, por fim, confiscado aos padres em 1834, quando o Ministro Joaquim António de Aguiar, conhecido por “Mata Frades”, decreta, na sequência da vitória dos liberais na guerra civil de então, a extinção das ordens religiosas.

Onze anos depois o imóvel foi arrematado, em hasta pública, pelo Dr. Lázaro Doglioni, médico de origem veneziana, com a declarada intenção de construir em Faro um teatro orientado para o “bel canto”, à semelhança do teatro de São Carlos, de Lisboa. Nascia assim, de herança religiosa, um templo profano, votado à ópera. O nome de Teatro Lethes, conferido pelo novo proprietário, tem a ver com o de um rio mítico, cujas águas teriam o poder mágico de apagar da lembrança das almas os revezes e as agruras da vida.

As obras de restauro e reconversão, conduzidas pelo mestre pedreiro José Fernandes Pinto, duraram até a Primavera de 1845, tendo a capela do antigo teatro transformado-se na sala de espectáculos (a capela-mor, cujo arco triunfal ainda subsiste, é hoje a antecâmara do teatro), ficando o palco no lugar do antigo coro da igreja, dando as capelas laterais lugar aos camarotes. A inauguração do teatro deu-se a 4 de Abril de 1845, com a peça “O Almansor Aben-Afan, último rei do Algarve, de autoria do 2º Visconde de Gouveia.

Em 1860 o teatro seria alvo de melhoramentos, sendo construída uma caixa de ressonância abobadada, dotada de esplêndidos azulejos neo-islamítico, refazendo-se a distribuição dos camarotes, por forma a que, no total, a sala comportasse 620 espectadores (ver figura 1), o que era notável para uma cidade de província. Em 1906, novos restauros, modificação do sistema de iluminação e novas pinturas artísticas, de grande beleza, que até hoje existem (ver figura 2), e cuja autoria pertence ao renomeado artista farinês José Filipe Porfírio. A representação teatral resistia, então, ao animatógrafo e aos primeiros passos do cinema.



Figura 1 – Vista actual do interior do teatro



Figura 2 – Fresco sobre o palco

Com as duas Grandes Guerras, os tempos foram mais difíceis, especialmente para a manutenção do edifício, pelo que em 1951 os herdeiros do Dr. Doglioni venderam o teatro à Cruz Vermelha Portuguesa, em cuja posse ainda hoje se mantém, se bem que alugado à Secretaria de Estado da Cultura. Como teatro, o Lethes ficou então desactivado durante mais de cinquenta anos.

2. BREVE DESCRIÇÃO DA CONSTRUÇÃO

O Teatro Lethes é hoje uma construção classificada pelo Estado Português, através da Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais ficou então desactivado durante mais de cinquenta anos, encontrando-se protegida pelo Decreto n.º 45/93, DR 280 de 30 Novembro 1993.

O enquadramento da construção é urbano, em planície, isolado. O teatro é rodeado de vias de circulação rodoviária e está implantado no topo da rua com o seu nome (ver figura 2).



Figura 3 – Rua onde se localiza o Teatro Lethes

A Arquitectura é religiosa – civil, maneirista e ecléctica, em planta longitudinal, com um corpo central elevado, onde se localizava a igreja, e dois corpos laterais, o do lado direito com dois pisos e o do lado esquerdo com 3 pisos.

A cobertura do corpo central é constituída por uma abóbada de berço interrompida por uma parede transversal suportada por um arco, com um telhado de 1 e 2 águas (figuras 4 e 5).

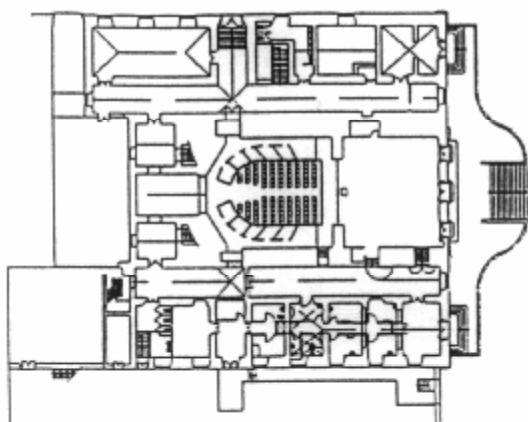


Figura 4 – Planta ao nível da plateia



Figura 5 – Corte sobre a plateia

A fachada principal é de 3 panos, com o central dividido em 3 registos, rasgados o 1º por 3 portas, o 2º por 3 janelas de sacadas e o 3º por 3 janelas, constando sobre estas últimas a inscrição MONET OBLECTANDO (ver figura 6), que quer dizer “Instrui, distraindo”. Os outros panos, também com 3 registos, tem no 1º uma porta e uma janela, no 2º uma janela e uma sacada e o último, em forma de empena de 1 água, tem um pequeno óculo.

O frontispício do actual imóvel apresenta, no essencial, a composição primitiva. Os corpos laterais, correspondentes às instalações colegiais, mantiveram-se sem grandes alterações. As maiores modificações incidem na fachada do andar nobre, o superior, onde as colunas foram afastadas, em relação à prumada inferior, por forma a comportar a inscrição latina, sendo disposta, à guisa de remate superior, uma balaustrada.



Figura 6 – Fachada do Teatro Lethes

3. AS ANOMALIAS ESTRUTURAIS

Como atrás se referiu, na caracterização construtiva do edifício, o corpo principal do teatro, onde estão localizados a plateia e o palco, apresenta uma cobertura em abóbada de berço, constituída por alvenaria de tijolo cerâmico argamassado. A abóbada é suportada por paredes de alvenaria de pedra argamassada, de grande espessura, com a particularidade da parede da esquerda ser mais espessa que a da direita. A abóbada é coberta por um telhado de 2 águas, excepto na região do palco, onde é encimada por um terraço, plano (açoteia).

A abóbada apresenta deformações e fendas importantes na zona do palco, que são evidentes pelo seu intradorso, como se pode observar nas figuras 7, 8 e 9.



Figura 7 – Deformações na abóbada, pelo intradorso, zona do palco

Com o objectivo de estabelecer o diagnóstico das referidas anomalias e a consequente definição da estratégia a adoptar tendo em vista a eliminação ou a mitigação dos problemas em presença, a Oz, L.^{da} desenvolveu uma alargada campanha de ensaios e pesquisas.



Figura 8 – Fendilhação no intradorso da abóbada de berço

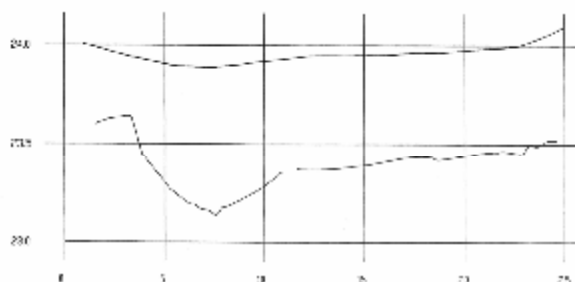


Figura 9 – Corte longitudinal reproduzindo a deformada da abóbada ao longo do fecho

A metodologia de pesquisa prevista foi, na generalidade, orientada para as anomalias estruturais, dada a situação de precariedade da estabilidade de parte da construção. Neste sentido, foi feita, através de levantamento topográfico, a caracterização da geometria dos elementos estruturais em questão, assim como o levantamento – e mapeamento - das fendas, fissuras e juntas abertas. A aferição do estado de tensão nas paredes de suporte e na abóbada foi feita através de ensaios com macacos planos simples (figura 10).



Figura 10 – Ensaio simples com macacos planos

A caracterização dos materiais constituintes foi feita por sondagens localizadas, com a remoção, em pequenas áreas dos materiais de revestimento das paredes e abóbadas, e a execução de furos de pequeno diâmetro, para além de ensaios de análise petrográfica, que permitem conhecer, em certa medida, a composição das amostras.

Com base nos elementos colhidos nestas pesquisas foi possível orientar a análise estrutural. Em resumo, foram obtidas as seguintes informações:

Ü as paredes do edifício são constituídas por alvenaria de pedra irregular assente com argamassa de cal. A abóbada é constituída por uma membrana de alvenaria de tijolo cerâmico maciço argamassado, também, com ligante de cal. O enchimento da abóbada na zona do terraço é constituída por alvenaria de pedra irregular, de menor dimensão, argamassada com o mesmo tipo de ligante. De uma forma geral, as argamassas revelam alguma falta de coesão e contém elevada quantidade de nódulos de cal não dissolvidos, que poderá indiciar alguma falta de qualidade posta na confecção das argamassas. Através do método da contagem de pontos, foi estimada a composição, em percentagem das argamassas, cujo resultado é apresentado no Quadro I:

Quadro I – composição de algumas argamassas, em percentagem

Amostra	Areia	Razão Ligante - Cal	Porosidade
Assentamento das pedras	49,7 %	36,8 %	13,5 %
Enchimento superior da abóbada	47,7 %	34,9 %	17,4 %

Ü na generalidade, as fissuras detectadas estão relacionadas com as deformações existentes. Existe uma fissura longitudinal localizada no fecho da abóbada na zona da plateia que parece ser característica do mecanismo de rotura das 3 rótulas, típico do comportamento limite de estruturas como esta (ver figura 8). As fissuras localizadas no intradorso e extradorso da abóbada na zona do palco indiciam a possibilidade de estar em progresso um mecanismo de rotura daquela zona, Nas paredes de topo pelo interior foram, também, detectadas fissuras importantes;

Ü no fecho da abóbada segundo o eixo, verifica-se que, na zona da plateia, a espessura total varia pouco, tomando um valor da ordem de 0,5 m, enquanto que na zona do palco a espessura é da ordem dos 0,7 m, ou seja cerca de mais 0,2 m. Atente-se, ainda, à diferença entre a linha correspondente ao extradorso e a linha do intradorso (fig. 9). A primeira apresenta um desnível da ordem dos 14 cm, enquanto a segunda chega aos 40 cm, pelo que a deformada de cerca de 26 cm do intradorso não é acompanhada pelo extradorso. Eventualmente o carregamento da abóbada terá formado, por si, uma outra abóbada, interior, que será a responsável, actualmente, pela estabilidade da açoteia;

Ü foram detectados vazios importantes no interior da abóbada na zona do palco, por detrás da membrana de tijolo cerâmico e, principalmente, na zona do fecho;

Ü os valores medidos da tensão instalada nos pontos de ensaio dos macacos planos, nas nascenças da abóbada e na parede de alvenaria, indicam compressões da ordem de 0,5 MPa, sendo inferiores à tensão de rotura característica do tijolo cerâmico argamassado e da alvenaria, que estará entre 1,0 MPa e 1,5 MPa. Os valores obtidos indiciam falta de homogeneidade da alvenaria de pedra.

Ü as paredes mestras que suportam a abóbada na zona do palco apresentam desaprumos deveras importantes. Na parede do lado esquerdo, verifica-se um desaprumo de cerca de 15 cm entre o nível do palco e a nascença da abóbada, enquanto que na parede oposta, aparentemente, não se verifica a existência de desaprumos entre os dois níveis referidos, pelo que, ao nível das nascenças, deverá ter ocorrido um afastamento da ordem dos 15 cm;

Ü a fachada principal apresenta, na faixa central, um desaprumo de 10 a 15 cm, estando a parte superior da parede recuada em relação à base. Em planta, ao nível das varandas, há uma deformação da faixa central em relação aos cunhais da ordem de 10 cm.

4. A MODELIZAÇÃO DA ESTRUTURA

A análise estrutural desenvolvida concentrou-se na caracterização do comportamento abóbada de berço e das paredes mestras que lhe conferem apoio. Esta é, para este género de estruturas, sempre uma tarefa complexa, uma vez que mesmo variações pouco significativas da geometria dos elementos resistentes, das condições de apoio, do carregamento actuante e das características mecânicas dos materiais constituintes podem conduzir a alterações significativas da carga de colapso e, via de consequência, do nível de segurança da estrutura.

Para se estudar detalhadamente a estrutura seria necessário efectuar uma análise tridimensional de toda a abóbada, incluindo a separação entre material de enchimento e abóbada de tijolo, por um lado, e uma análise paramétrica da influência das condições de apoio e das propriedades dos materiais.

Em termos de definição da estrutura resistente, optou-se, após discussão de outros modelos, por considerar como mais representativo aquele em que a alvenaria de tijolo é representada como homogénea, com $E = 4,5$ GPa, sendo a alvenaria de pedra também homogénea, mas com $E = 1,0$ GPa. Adoptou-se, num primeiro estágio (figura 11), comportamento elástico e linear, admitindo-se que as condições de apoio na fundação correspondessem à situação de encastramento puro. Salienta-se que as paredes que dão apoio à abóbada possuem espessuras diferentes, o que conduz a um carácter anti-simétrico da estrutura. Para as acções considerou-se apenas o peso próprio dos materiais.

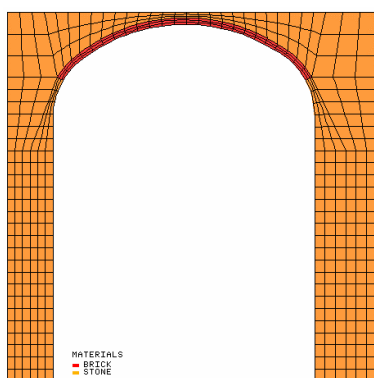


Figura 11 – Modelização – passo 1

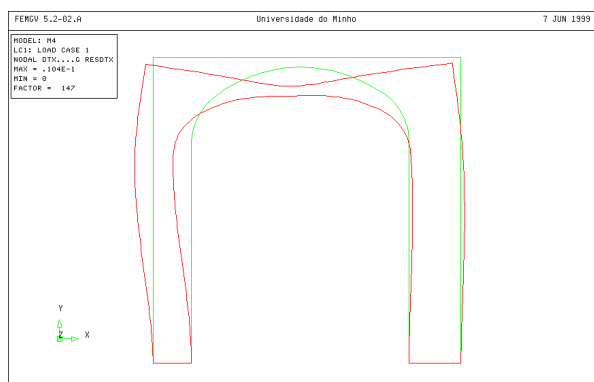


Figura 12 – Modelização – passo 2

Para avaliar se as condições de apoio poderiam justificar as diferenças substanciais entre os deslocamentos obtidos no modelo adoptados e os deslocamentos observados, analisou-se o efeito do encastramento nos apoios e do deslizamento horizontal devido à deformabilidade do solo (adoptou-se uma rigidez para o solo de 10 MN/m^3 , para uma altura da fundação de 1,0 m), sobre o modelo original (figura 12). Apesar de mais razoáveis, a disparidade de resultados entre o modelo elástico – linear – melhorado e a realidade ainda é grande, o que permitiu concluir que a adopção de um modelo que considere o comportamento não linear dos materiais é fundamental para explicar o desempenho da estrutura.

Efectuou-se então uma análise fisicamente e geometricamente não-linear, tendo como objectivo assegurar um deslocamento do fecho de cerca de 10 cm, para a carga permanente a que a estrutura está sujeita (peso próprio). A obtenção das propriedades não-lineares dos materiais foi efectuada por tentativas até se obter um valor próximo do pretendido. Em seguida, a análise foi prosseguida até obter a carga de colapso. O factor de segurança da estrutura (para as cargas permanentes) resulta da razão entre a carga de colapso e a carga a que a estrutura está permanentemente submetida.

Para lei constitutiva do material resistente, adoptou-se o modelo de plasticidade de Rankine (critério da tensão principal máxima) com um valor apropriado da resistência à tracção para a alvenaria de tijolo, que representa o limite máximo de tensões de tracção. Para o material de enchimento e paredes, admitiu-se resistência nula à tracção. Nestas condições, chegou-se à resistência à tracção de 0,2 MPa, valor que será de aceitar.

Assim procedendo, a relação entre o factor de carga e o deslocamento de fecho assume, para um deslocamento da ordem de 10 cm, um factor de segurança é mínimo (1,03), pelo que a estrutura poderá estar em risco de colapso imediato, tornando-se necessárias – e urgentes – as intervenções de reforço. Na figuras 13 e 14 ilustram-se as zonas onde o modelo prevê dano no material de enchimento e na abóbada de tijolo. Verifica-se que a zona do fecho é crítica no intradorso da abóbada e que as zonas a um quinto do vão são críticas no extradorso da abóbada. Este mecanismo de rotura com três rótulas é bem conhecido, sendo característica habitual deste género de estruturas.

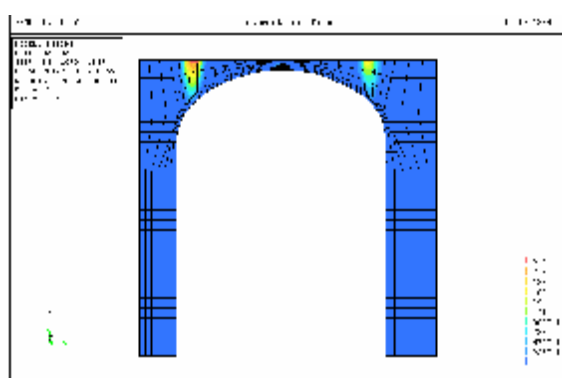


Figura 13 – Localização do dano no enchimento (extensão plástica equivalente)

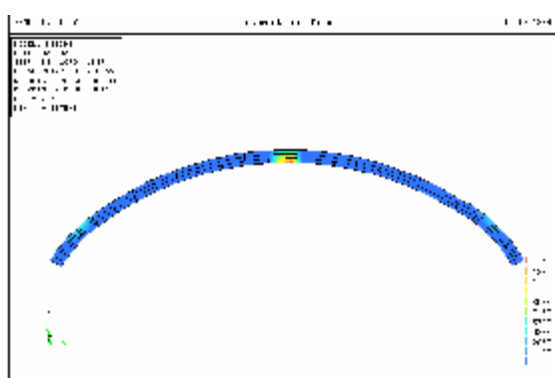


Figura 14 – Localização do dano no arco (extensão plástica equivalente)

A interpretação conjunta dos resultados combinados dos vários modelos estudados permitiu concluir que a causa do deficiente comportamento estrutural da construção muito provavelmente resultará do grande ressentimento da abóbada, cuja sensibilidade é ainda mais excitada pela diferença de rigidez entre as duas paredes – mestras que lhe conferem apoio, à actuação conjunta da carga permanente e esforços horizontais – acções sísmicas, por exemplo – funcionando como factor de amplificação, em todo o processo, a degradação, no tempo, dos materiais constituintes.

5. OS TRABALHOS DE REFORÇO DA ESTRUTURA DA ABÓBADA

Entendido e suficientemente explicado o processo de degradação haveria então que mitigar as causas e dotar a estrutura de elementos que a tornassem estável. Por se tratar de uma construção com valor histórico e patrimonial importante, foram adoptadas como linhas mestras à concepção do reforço os princípios fundamentais da reversibilidade e intrusão mínima da intervenção.

O projecto de reforço e consolidação, a cargo da equipa especialista da A2P Consult, chefiada pelo Eng. João Appleton, considera então uma série de medidas de reforço que seriam complementadas com acções de consolidação e protecção.

O reforço da abóbada na zona do palco consiste na introdução de uma estrutura metálica para travamento horizontal das paredes de apoio (bielas/tirantes), constituída por vigas H de grande secção amarradas por pregagens e ancoragens de alta performance, que atravessam a espessura das paredes (2,7 m à direita e 1,8 m à esquerda) na sua totalidade.

O suporte da abóbada foi garantido mediante o atirantamento radial de uma grelha de chapas finas de aço a um vigamento para tanto instalado no terraço. Este sistema de reforço, válido para a zona do palco, está esquematicamente representando na figura 15.

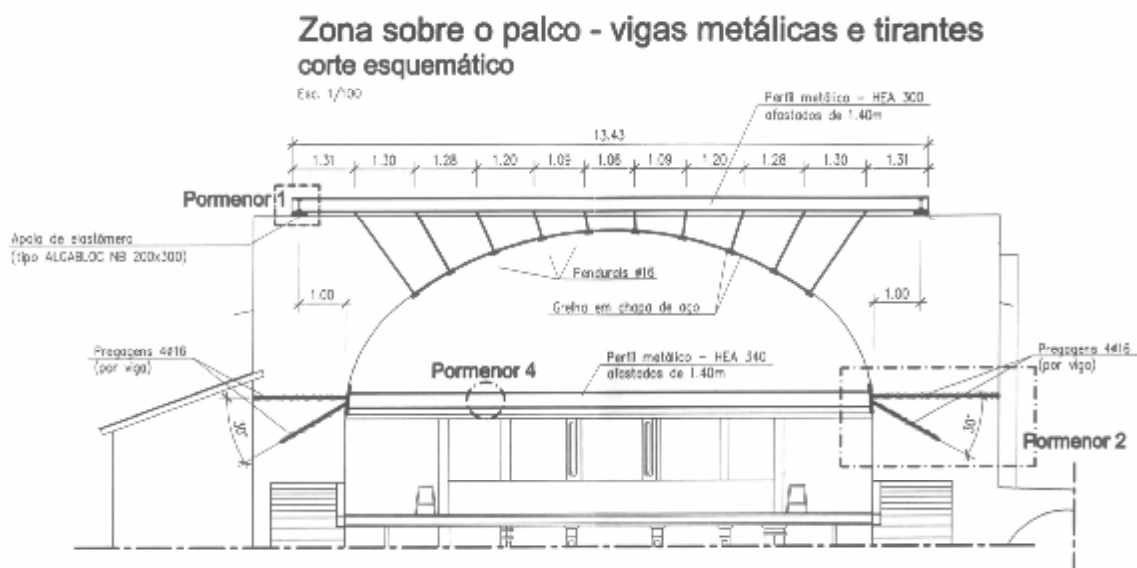


Figura 15 – Ensaio simples com macacos planos

Os trabalhos de reforço e consolidação, levados a cabo por uma equipa especialista da s.t.a.p, iniciaram-se em Outubro de 1999, pelo escoramento total da abóbada na zona do palco, adoptando-se um sistema constituído por estruturas metálicas tubulares e cêrceas de madeira para a distribuição das tensões, conforme se pode observar na figura 16.



Figura 16 – Escoramento da abóbada



Figura 17 – Pregagens

À data da elaboração deste texto, Janeiro de 2000, está-se a proceder a execução dos furos de atravessamento das paredes para a introdução das pregagens e ancoragens de ligação das alvenarias à estrutura de travamento horizontal.

A execução dos furos tem a particularidade de não introduzir vibração ou água no interior das alvenarias, sendo executada por carotagem arrefecida por pressão e aspiração de ar.

As pregagens, de elaborada concepção, são constituídas por tubos e varões de aço inoxidável inseridos numa manga de tecido de algodão, permitindo assim, sem que haja fugas da calda de selagem, um acomodamento às irregularidades geométricas do furo e heterogeneidades de materiais constituintes das alvenarias (cantaria de pedra nas faces exteriores e pedra argamassada pobre no interior), como se observa na figura 17.

A fase seguinte do reforço será a introdução das vigas de travamento, após o que deverá proceder-se a colocação das vigas de suspensão sobre o terraço, a execução dos furos radiais de atravessamento da abóbada e a colocação dos tirantes e da grelha de chapas de aço de suspensão.

Após o reforço será executada a consolidação por injeção de resinas de poliéster e caldas de cimento, preenchendo as fissuras e descontinuidades resultantes da figura de rotura da abóbada.

A fase final da obra consistirá na impermeabilização do terraço, na execução de um novo palco de madeira e de uma nova teia e na modernização das instalações eléctricas e de segurança contra o risco de incêndio.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A consolidação e o reforço de estruturas antigas com valor histórico e patrimonial, como o Teatro Lethes, deve, necessariamente, obedecer a cuidados específicos de pesquisa, caracterização dos materiais, mapeamento das anomalias, diagnóstico sustentado, modelização analítica da estrutura, contemplando, sempre que justificado for, análise não-linear, concepção e pormenores de reforço e reabilitação – projecto, em suma – muito bem cuidados, por forma a que a intervenção final possa ser a mais adequada. Em qualquer caso, são tarefas a serem executadas por profissionais capazes e com larga experiência na especialidade.

Por outro lado, será sempre necessário e indispensável, neste tipo de trabalho, intervir com o cuidado, a consciência, o saber e a humildade de deixar às gerações vindouras, quiçá com maiores capacidades, a hipótese de poderem alterar as nossas intervenções, que sendo pouco intrusivas e reversíveis, respeitarão o património original.

7. REFERÊNCIAS

A2P CONSULT Estudos e Projectos, L.^{da} – Projecto Estrutural de Reabilitação das Cúpulas do Teatro Lethes, Lisboa, 1999;

LAMEIRA, F. I. C., – Teatro Lethes, in Faro: Edificações Notáveis, Câmara Municipal de Faro, 1995;

LAMEIRA, F. I. C., – O Teatro Lethes, in Faro: a arte na história da cidade, Câmara Municipal de Faro, Gabinete de Gestão e Reabilitação do Património, 1999;

LOPES, J. B. S. – Corografia do reino do Algarve, Lisboa, 1841;

LOURENÇO, P. B.; GREGORCZYCK, P. – Estudo sobre a estabilidade do teatro Lethes (Faro), Universidade do Minho, Guimarães, 1999;

MESQUITA, J. C. V. – Teatro Lethes, Delegação Regional do Sul da Secretaria de Estado da Cultura, Faro, 1987;

OZ, L.^{da} – Teatro Lethes: Sondagens, levantamento das anomalias e estudo de intervenção – Relatório n.º 244/00, Lisboa, 1999;

PINTO, R. A., – O Teatro Lethes, in O Algarve Ilustrado, Faro, 1880.