

14
cm

CONSTRUÇÃO MAGAZINE

REVISTA TÉCNICO-CIENTÍFICA ENGENHARIA CIVIL

Nº 14 · 3º TRIMESTRE 2005 · 6,50 €



▷ DOSSIER > SUSTENTABILIDADE

▷ CONVERSAS > ARQUITECTO TOM WOOLLEY

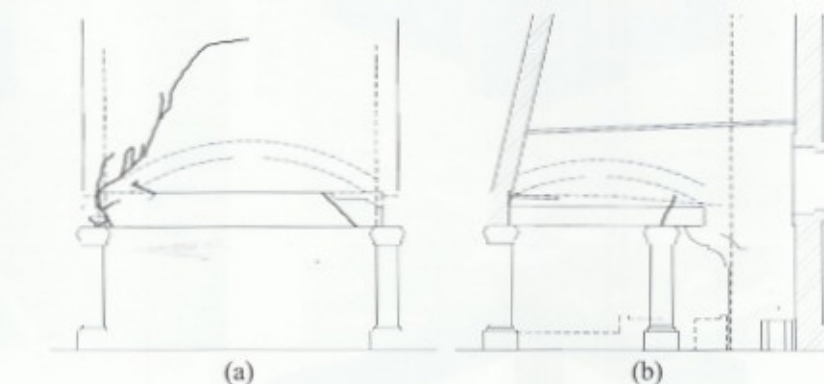


CHAMINÉ DO MOSTEIRO DE AROUCA: ENGENHARIA DE REABILITAÇÃO SIMPLES OU COMPLEXA?

Paulo Lourenço, Professor Associado / DEC UM

O recente "Programa de Investimentos em Infra-estruturas Prioritárias" do Governo recebeu um misto de comentários favoráveis e de comentários [altamente] desfavoráveis, sendo certo que as opções do investimento presente irão condicionar fortemente o futuro do país. No entanto, é inquestionável que as grandes obras de engenharia são apelativas, quer para o público em geral, quer para os projectistas envolvidos na sua concepção, projecto e execução. Em antítese, ilustra-se nesta coluna uma intervenção cirúrgica recentemente realizada, que representou um desafio muito interessante de engenharia e permitiu o usufruto de uma peça significativa do nosso património arquitectónico. Pretende-se, desta forma, valorizar também a engenharia da reabilitação que, peça a peça, e construção a construção, preserva o passado e o futuro, rumo a um verdadeiro desenvolvimento sustentável.

A chaminé em estudo possui uma secção máxima (na base) de $4.3 \times 4.1 \text{ m}^2$, uma secção mínima (no topo) de $0.28 \times 3.8 \text{ m}^2$ e uma altura de 16.4 m. A estrutura é constituída por três panos de alvenaria de tijolo argamassado, encostados a uma parede da envolvente e suportados por três travessas de granito amarelo, ver Figura 1. As travessas encontram-se, por sua vez, apoiadas em pilares e cachorros, igualmente de granito. Inseridos nos panos de alvenaria e sobre os vãos das travessas foram observados arcos de tijolo, que transmitem parcialmente a carga para os apoios. O enchimento em alvenaria entre as travessas e os arcos não está separado dos arcos, tal como seria boa prática de construção. Foram, ainda, observados outros dois defeitos construtivos na estrutura: o posicionamento assimétrico do arco de tijolo em relação ao vão na trave principal e a redução progressiva da secção da trave lateral esquerda. A estrutura da chaminé



> Figura 1: Constituição e fendilhação da chaminé do Mosteiro de Arouca: (a) alçado; (b) corte transversal esquerdo.

é, ainda, complementada por um conjunto de tirantes em ferro, distribuídos em altura no interior da chaminé, e nos cantos, pelo interior, a estabelecer a ligação entre as travessas. Um grampo de ferro contribui, também, para a ligação pelo exterior da trave principal à trave lateral esquerda.

A principal anomalia da chaminé consistia numa fenda diagonal que se desenvolveu na trave principal, junto ao apoio direito, e que levou a um escoramento provisório. Esta fenda intercepta o ponto de ancoragem do tirante que estabelece a ligação entre as travessas. Note-se que o tirante apresenta um elevado grau de oxidação junto à zona de ancoragem. A trave principal apresenta, ainda, junto do apoio esquerdo, diversas fissuras na zona do grampo de ferro, que se encontra, também, muito oxidado. Podem observar-se no pano de alvenaria sobrejacente um conjunto de fissuras diagonais. As janelas de inspecção abertas nesta zona permitiram observar que as fissuras não interceptam o arco de tijolo inserido no pano de alvenaria mas, pelo contrário, desenvolvem-se ao longo do extradorso do arco. Este conjunto de fissuras é preocupante, indiciando uma situação de pré-colapso na

zona do apoio esquerdo, por rotação em torno do apoio direito.

Há ainda a registar a existência de uma fenda mais antiga na trave lateral esquerda, provavelmente devido à redução de secção na zona de apoio do cachorro referido anteriormente. Na sequência do desenvolvimento desta fenda foram adicionadas à estrutura, em data desconhecida, duas colunas, uma sob cada trave lateral.

Tendo em vista o diagnóstico das anomalias detectadas, apresenta-se um modelo tridimensional da chaminé que representa a situação limite em que o efeito dos arcos de tijolo é ignorado, tendo em vista o facto do enchimento não estar separado dos arcos. Note-se que esta situação é a mais desfavorável para as travessas de pedra e que, portanto, é a que se encontra do lado da segurança. Em relação às tensões de compressão, os valores mais elevados obtidos para as acções actualmente instaladas localizam-se sobre a zona de meio-vão das travessas, onde se observam valores idênticos à resistência assumida para a alvenaria de tijolo, ver Figura 2a. Observa-se ainda a ocorrência de tensões de tracção bastante elevadas nas zonas de meio-vão das três travessas [2.6 MPa]

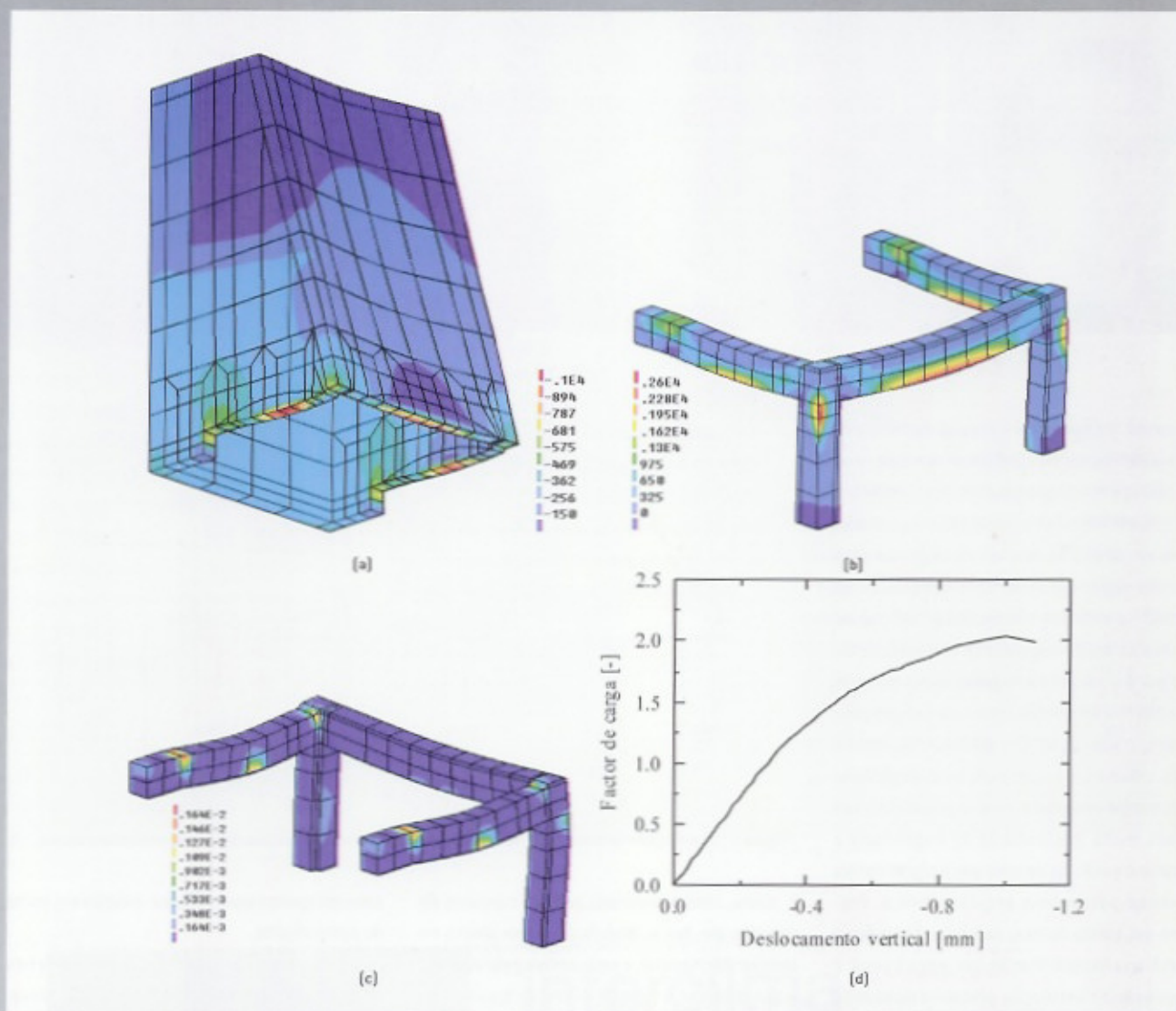


Figura 2: Resultados da análise para o modelo sem arcos de descarga [situação mais desfavorável]: [a] tensões principais de compressão na alvenaria de tijolo (em kPa) para as acções aplicadas actualmente; [b] tensões principais de tracção na cantaria de tijolo (em kPa) para as acções aplicadas actualmente; [c] forma de colapso e fendilhação da estrutura para um factor de majoração das acções aplicadas igual a 2.0; [d] relação entre o factor de majoração de carga e o deslocamento vertical das traves laterais.

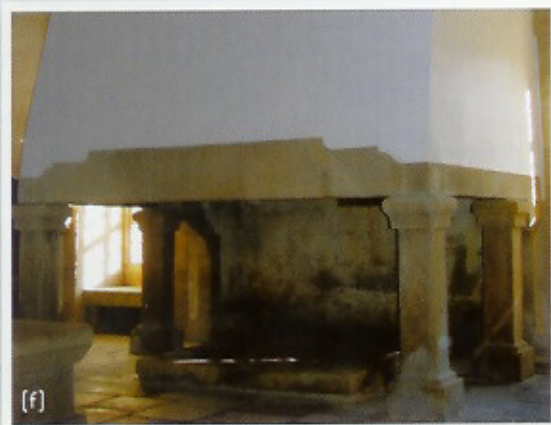
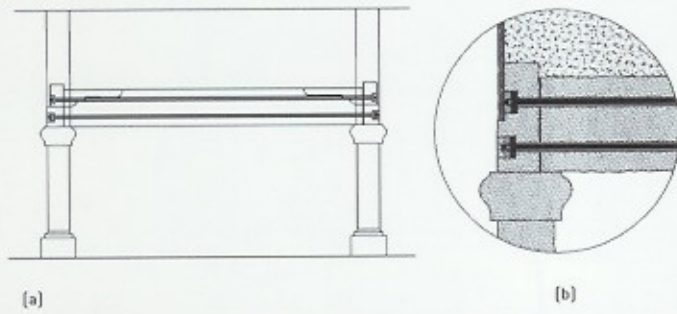
e, de forma menos intensa, sobre os apoios posteriores das traves laterais, ver Figura 2b. Aumentando as acções instaladas de forma proporcional e considerando o comportamento não-linear dos materiais obtém-se o colapso da estrutura para um factor de majoração de 2.0, com a formação de um mecanismo típico de três rótulas, ver Figura 2c,d. As rótulas surgem em cada uma das traves laterais, uma junto à face inferior na zona de meio vão (momentos positivos) e duas junto à face superior na zona dos apoios (momentos negativos). Face aos resultados da simulação em computador, o motivo de colapso da trave de pedra principal parece não ser exclusivamente estrutural, devendo-se principalmente ao aumento de volume por oxidação do tirante que

estabelece a ligação entre as traves principal e lateral. Verificou-se que, na situação mais desfavorável, a estrutura apresentaria um factor de segurança de 2.0 e que o colapso ocorre por rotura das traves laterais e não por rotura da trave principal.

Face às anomalias observadas e à manifesta dificuldade de adoptar uma solução de reforço pelo exterior, decidiu-se: [a] reconstituir a pedra com injeção de resinas epoxídicas; [b] furar a pedra em todo o seu comprimento, a partir das duas extremidades opostas para recolocar uma tampão na zona das ancoragens com o material retirado; [c] inserir varões, ligeiramente pós-tensionados e injectados com uma argamassa de cal não retráctil. O dimensionamento foi realizado com base na

análise elástica efectuada para as acções aplicadas actualmente. Adicionalmente, substituíram-se os dois tirantes, que estabelecem a ligação entre as traves laterais e principal, por outros em aço inoxidável e retirou-se o grampo visível no exterior.

Em qualquer dos casos, os dois tirantes que estabelecem a ligação entre as traves laterais e principal, localizados no interior da chaminé, foram substituídos por outros em aço inoxidável e o grampo que assegura a mesma ligação pelo exterior foi removido. Os restantes tirantes no interior da chaminé foram despassivados, protegidos contra a corrosão e protegidos contra o fogo. Os pormenores do projecto e da execução estão ilustrados na Figura 3.



> Figura 3: Projecto de intervenção: [a] tirante com ligeira pós-tensão; [b] detalhe da ancoragem; [c] aspecto da colagem da trave partida; [d] detalhe das placas de ancoragem embebidas e injeção; [e] chaminé antes da intervenção com escoramento; [f] chaminé após conclusão da intervenção.



1.º CONGRESSO
NACIONAL
DE ARGAMASSAS
DE CONSTRUÇÃO

LISBOA · 2005

24 e 25 de Novembro de 2005
FIL - Parque das Nações



Temas

1. *Aplicação de Argamassas na Construção*
2. *Especificação e selecção de Argamassas no Projecto de Construções*
3. *Reabilitação de Construções*
4. *Patologias de Argamassas*
5. *Qualidade, Certificação, Normalização e Ensaios*

Para mais informações:

APFAC - Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção

Tel.: 213 601 220 - Fax: 213 601 219

Site: www.apfac.pt - E-mail: geral@apfac.pt

APFAC

Associação Portuguesa dos
Fabricantes de Argamassas de Construção