

Projeto e execução da intervenção na cobertura de madeira do pavilhão polivalente da Escola Alves Martins, Viseu

Design and execution of the intervention on the timber roof of the multiuse pavilion of the Alves Martins School, Viseu

João H. Negrão

Resumo

O complexo da Escola Secundária Alves Martins, em Viseu, foi construído em 1948. Nele se inclui o pavilhão da Sala Polivalente, cuja estrutura da cobertura é constituída por um sistema de asnas duplas de madeira. Em 2017 ocorreu a rotura de um apoio de uma asna, estando outro em pré-rotura. A inspeção realizada à estrutura permitiu concluir que a causa primária do acidente foi a rotura, por tração perpendicular ao fio, de peças de madeira maciça intercaladas entre as pernas e linhas duplicadas de cada asna. Na discussão técnica subsequente, estiveram em confronto as possibilidades de substituição integral por uma cobertura metálica ou a reparação e reforço da estrutura de madeira existente, com intervenções pontuais de reparação dos apoios acidentados e reforço dos restantes, tendo-se optado por esta última solução. Este artigo pormenoriza todo o processo, desde a fase inicial de diagnóstico até à execução da solução de reparação, com ênfase especial nos aspetos estruturais, essenciais para o sucesso da intervenção.

Abstract

The Alves Martins Secondary School complex, in Viseu, was built in 1948. It includes the pavilion of the Multiuse Room, whose roof structure consists of a set of parallel double timber trusses. In 2017 the failure of one truss support occurred while an ongoing failure was observed in another one. The structural assessment led to the conclusion that the primary failure cause was tension perpendicular to the grain in the solid timber elements placed between and connected by bolts to the double rafters and the double tie-beams. In the subsequent technical discussion, the alternatives of either the full replacement of the existing trusses by steel ones or the rehabilitation of the existing timber structure, with repair and strengthening works focused on the failed supports and all the others, were considered. The latter proposal prevailed. This paper details the whole process, from the initial inspection and diagnosis stage up to the execution of the repair solution, with the emphasis on structural aspects, of utmost importance for the success of the intervention.

Palavras-chave: Asnas de madeira / Reparação / Reforço / Projeto / Execução

Keywords: Timber trusses / Rehabilitation / Design / Execution

João H. Negrão

Professor Associado
Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra
Coimbra, Portugal
jhnegrao@dec.uc.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.

NEGRÃO, J.H. – Projeto e execução da intervenção na cobertura de madeira do pavilhão polivalente da Escola Alves Martins, Viseu. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. Ed. LNEC. Série III. n.º 12. ISSN 2183-8488. (março 2020) 33-42.

1 Introdução

A Escola Secundária Alves Martins foi fundada em 1849, com a designação de Liceu Central de Viseu, tendo recebido o nome atual em 1911. As instalações onde atualmente funciona foram construídas em 1948, no âmbito do programa de construções escolares do Estado Novo. A Figura 1a) é uma vista geral do complexo escolar, destacando-se com um círculo o pavilhão, representado na Figura 1b), sujeito à intervenção referida neste artigo.



Figura 1 a) Complexo escolar (fonte: GoogleEarth); b) Pavilhão polivalente

1.1 Caracterização funcional e estrutural

O pavilhão tem dois pisos, sendo o térreo ocupado pelo refeitório escolar. No piso superior funcionou o ginásio escolar, mas a construção recente de um ginásio maior e com melhores condições permitiu desafetar o espaço daquela função exclusiva, funcionando atualmente como sala polivalente. A sua forma é retangular, com dimensões interiores aproximadas de 14 m × 20 m. O acesso é feito pelo topo Norte. No topo Sul existe um pequeno palco com boca de cena. A cobertura é de 4 águas, com inclinação a rondar os 25°.

A superestrutura e o pavimento do 1.º andar são em betão armado. Os pilares são dispostos perifericamente com espaçamento de cerca de 4 m, vão preenchido com alvenaria nos 3 m inferiores e janelas rasgadas no restante pé-direito. A cobertura é suportada por asnas principais triangulares paralelas em madeira de pinho bravo (*Pinus pinaster*, Ait), com aproximadamente 14 m de vão, apoiadas nos pilares periféricos. Na zona dos topos, as asnas são oblíquas e acompanham os espigões da cobertura, sendo a resolução das cargas mais complexa do que na zona das asnas paralelas. As 4 asnas paralelas visíveis do interior da sala (Figura 2a) têm pernas e linhas duplas, espaçadas de 10 cm, entre as quais se inserem montantes e diagonais simples. As duas asnas paralelas coincidentes com os topos, bem como as que acompanham os espigões, são constituídas por elementos simples. A secção dos elementos das pernas e linhas é de 120 mm x 240 mm. As dos montantes e diagonais têm uma largura constante de 120 mm, mas a altura é de 120 ou 200 mm, consoante o elemento. O teto da sala é constituído por um forro de madeira, horizontal numa faixa perimetral de cerca de 2 m de largura e de forma poliédrica na zona central, ver Figura 2a) e esquema da Figura 2b).

2 Inspeção e diagnóstico da estrutura de madeira

2.1 Rotura dos apoios

Em setembro de 2017, coincidindo com o início do ano escolar, foi identificada a rotura de um apoio (indicado por um círculo a vermelho na Figura 2a) numa asna de cobertura, e uma situação de pré-rotura noutra (círculo a amarelo). A existência de redistribuição de forças para outros sistemas de apoio, ainda que não expressamente concebidos para tal ou inteiramente compreendidos na inspeção subsequente, e o pronto escoramento das asnas e zonas afetadas, para mitigar os efeitos e a progressão da rotura evitaram o colapso das asnas afetadas.

A subsequente inspeção da zona acidentada revelou que a causa do acidente foi rotura perpendicular ao fio num elemento de apoio de madeira. A sequência das figuras seguintes ajuda a compreender o mecanismo de rotura verificado.

Como referido, as pernas e as linhas das asnas principais são duplas. Nos apoios, as duas pernas e as duas linhas ligam-se, cada par, a uma peça central de madeira, com dimensão igual à das duas peças ligadas e penetrando em profundidade na espessura da parede, Figura 3a). Essa ligação é realizada por dois parafusos de 24 mm de diâmetro, implicando a rotura de um parafuso a formação do mecanismo da Figura 3b). Alguns detalhes da ligação, ocultos na parede, não puderam ser observados, pelo que o esquema da figura é, quanto a eles, conjectural.

Há várias possibilidades para que tenha sido adotada esta disposição, nomeadamente: i) a insuficiência de comprimento das pernas e das linhas para realizarem o equilíbrio de forças no ponto teórico de apoio (situação esquematicamente representada na Figura 3a); ii) a insuficiência de comprimento da linha, além da secção do entalhe que recebe a perna, para evitar a rotura por corte do “taco” exterior; iii) a excentricidade do ponto de concorrência dos

eixos da(s) perna(s) e da(s) linha(s) em relação ao ponto teórico de apoio, que origina um binário que tem de ser equilibrado por flexão destas; iv) o posicionamento da carga da asna no eixo (na direção longitudinal da parede) do apoio; v) uma combinação das anteriores.

Para melhor compreensão, representa-se nas figuras seguintes a sequência de eventos que resultou na rotura representada de forma simplificada na Figura 3b), a qual concorda de forma exemplar com o registo fotográfico do acidente. Nestas figuras, as extremidades das pernas e linhas foram representadas de forma simplificada, o que não altera o mecanismo representado.

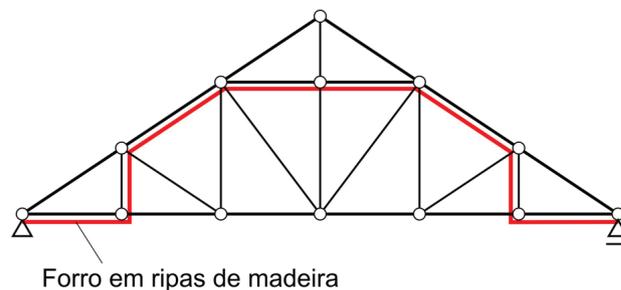


Figura 2 a) Vista interior da sala e localização dos danos; b) Corte esquemático

As Figuras 5a), b) e c) são as representações reais deste mecanismo. Na Figura 5a) pode ver-se, em primeiro plano, a peça central fraturada, com origem no furo do parafuso, igualmente visível. Na Figura 5b) observa-se o mecanismo de rotura consumado. A ligação das pernas falhou primeiro e, ao rodarem, estas causaram a rotura da ligação das linhas, situadas sob aquelas. A Figura 5c) é uma vista de topo do apoio colapsado. Não foi possível obter imagens dos apoios intactos, na fase de inspeção, porque estes se encontravam ocultos entre a cobertura e o forro inferior da sala.

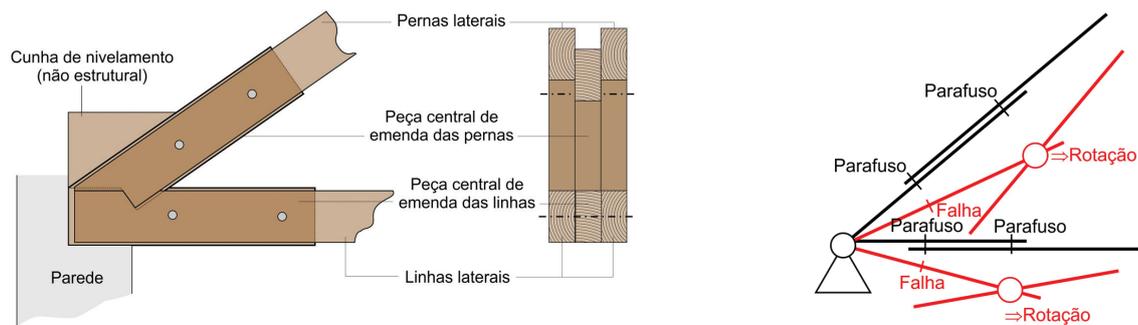


Figura 3 a) Arranjo existente nos nós; b) Mecanismo potencial

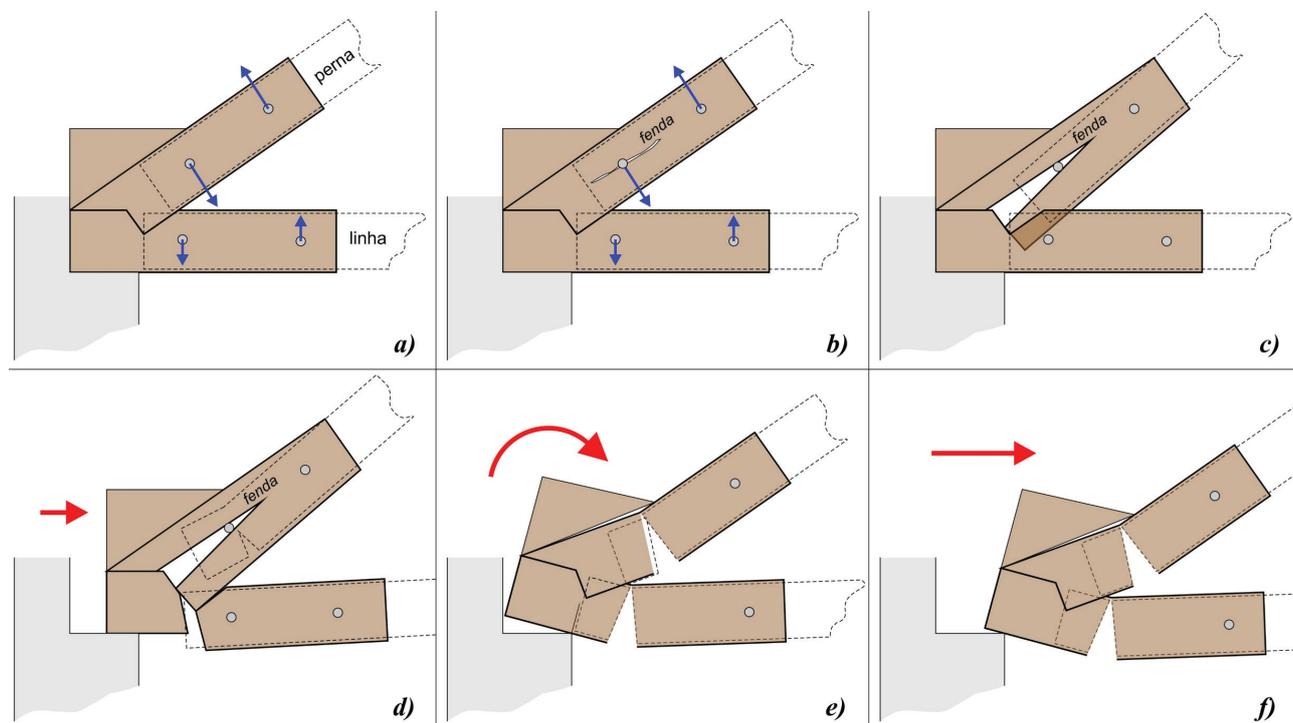


Figura 4 Sequência de eventos conducentes à rotura do apoio



Figura 5 a) Rotura da peça central b) Rotura da ligação; c) Vista de topo do apoio colapsado

2.2 Outras patologias

Para além das roturas nos apoios, ocorrências críticas que suscitaram a peritagem e subsequente obra de reparação e reforço, a inspeção estrutural revelou outras deficiências, de risco variável mas, em todo o caso, requerendo a aplicação de medidas corretivas. As mais importantes foram as roturas das emendas de tipo “raio de Júpiter” (Figura 6a) existentes em todas as linhas, em posições variáveis. Estas ocorreram por corte do dente de imbricamento das peças, segundo a superfície indicada na Figura 6b).

Embora a geometria da ligação seja genericamente correta, a altura do dente – e, por conseguinte, a área de corte daquela superfície – é demasiado pequena. Recorda-se que esta altura devia corresponder a 1/3 da das peças a unir, muito mais do que o que se observa na figura. Estas roturas, suscetíveis de causar o colapso das asnas, só não tiveram esse resultado graças à redundância proporcionada pela cavilha de estabilização contra a separação das peças, visível na Figura 6c). No entanto, a transferência, para esta, da força anteriormente transmitida pelo dente originou a sua plastificação e rotação, com a consequente abertura da ligação (Figura 6d), e ainda a rotura por tração da cunha de madeira contra

a qual a cavilha exerceu força de compressão, também visível na Figura 6c).

A inspeção no desvão situado entre o forro e a cobertura propriamente dita revelou que os elementos estruturais principais (asnas, madres e vigas de travamento, Figura 7a) se encontram em boas condições, apresentando ataques pontuais e pouco importantes por caruncho e não evidenciando apodrecimentos. Situação diferente é a dos elementos secundários, nomeadamente barrotes de apoio do forro inferior e algumas tábuas deste, boa parte dos quais se encontra fortemente deteriorada por caruncho pequeno *Anobium punctatum* (Figura 7b), sem outra hipótese de reparação que não a sua substituição. O uso de madeira com durabilidade natural inferior e/ou a ausência de tratamento preservador destes elementos serão as causas prováveis da sua degradação.

Já durante a execução da obra de reparação, foram observadas duas anomalias não detetadas na inspeção preliminar, sendo uma crítica e a outra secundária. A primeira era uma linha partida, devido à presença de um nó de grandes dimensões no elemento de madeira, reduzindo sensivelmente a secção útil da peça (Figura 8a). A outra era uma deformação excessiva da zona em consola do forro de madeira, causada por deformação da estrutura de apoio (Figura 8b).



Figura 6 a) Vista geral; b) Rotura por corte; c) Plastificação do ligador; d) Abertura da junta



Figura 7 a) Estrutura principal em boas condições; b) Elementos secundários degradados

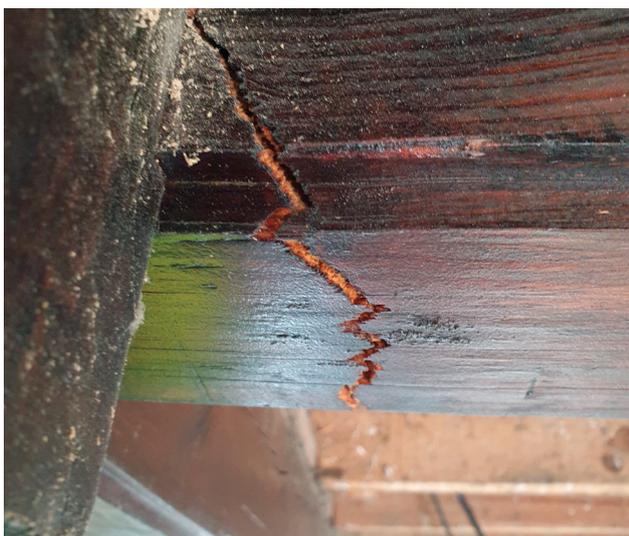


Figura 8 a) Linha fraturada; b) Deformação excessiva no forro

3 Projeto de reparação e reforço

Numa primeira fase, anterior à disponibilização do relatório de inspeção, a Parque Escolar E.P.E., proprietária do imóvel, considerou a possibilidade de proceder à demolição da cobertura e à sua substituição por uma solução em aço. No entanto, as recomendações do relatório apontaram no sentido da reparação e reforço da estrutura existente tendo em conta, nomeadamente:

- O seu bom estado geral, apontando apenas para a necessidade de reforço dos apoios;
- A menor intrusividade e custo da reparação e reforço da cobertura existente;
- A qualidade arquitetónica e valor patrimonial da cobertura atual.

Estes argumentos prevaleceram, tendo-se optado pela recuperação da estrutura de madeira.

3.1 Reparação e reforço dos apoios

Foram realizadas a análise estrutural e a verificação da estabilidade dos elementos e segurança das secções e ligações da solução existente. Estas últimas seguiram as disposições das partes relevantes das EN 1991-1 [1] e EN 1995-1 [2]. Como se antecipava, com base no conhecimento das práticas antigas de dimensionamento de estruturas de madeira, as secções revelaram-se confortavelmente aptas a suportar os esforços induzidos pelas ações regulamentares, devidamente majoradas e combinadas. Essa expectativa não se confirmou para as ligações do dispositivo de apoio descrito na secção 2, ainda que aptas para fazer face aos valores correntes

das ações, como o confirmam os 70 anos de serviço. Por isso, considerando que a rotura observada não decorreu, ao que se sabe, de nenhum evento de intensidade excecional, admite-se que na sua origem tenha estado o efeito de longa duração, porventura associado a menor capacidade resistente daqueles apoios em particular, tenha sido por inferior qualidade da madeira ou por degradação localizada de origem biológica. Em todo o caso, é sintomático que a rotura se tenha iniciado pela fratura da peça central, a qual foi chamada a suportar forças (e tensões), perpendiculares ao fio, duplas das

correspondentes nas duas pernas/linhas que a ela se ligavam, como ilustra a Figura 4a). Por isso, a medida fundamental do projeto de reparação e reforço consistiu na substituição daquela peça, em todos os apoios, por outra com superior capacidade resistente. Considerando que, em cada apoio, existe uma peça central para as pernas e outra para as linhas, e que as duas se ligam de acordo com a representação da Figura 3a), para permitir o equilíbrio de forças horizontais, optou-se por aplicar uma peça em "V", constituída por perfis RHS (Rectangular Hollow Section) de largura igual à das

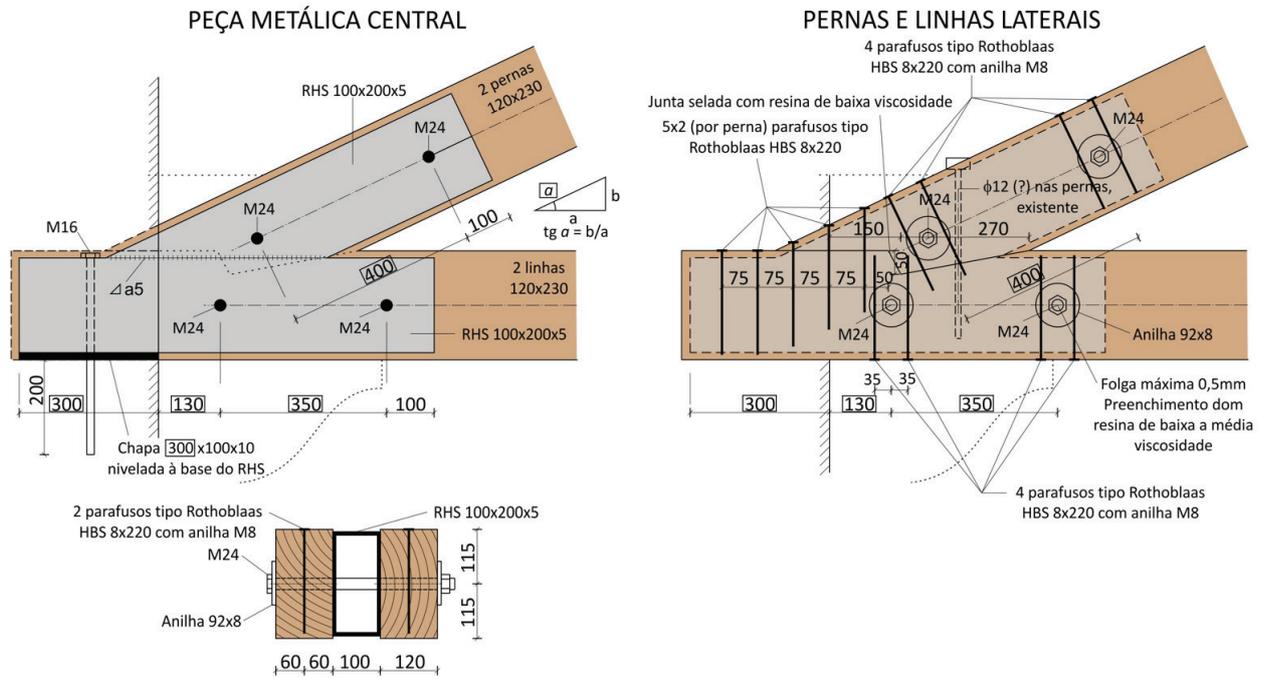


Figura 9 Solução de reparação/reforço das ligações de apoio

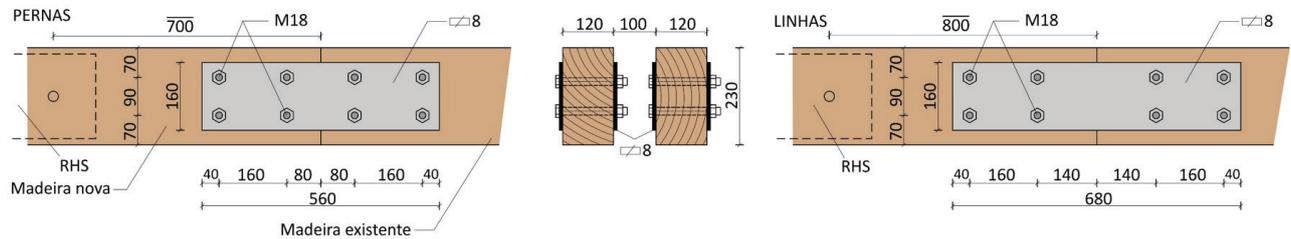


Figura 10 Emendas das pernas e linhas fraturadas

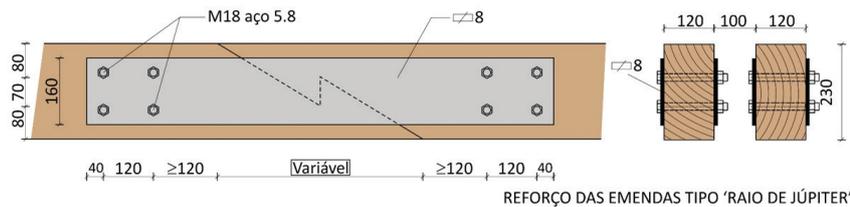


Figura 11 Emendas das ligações de tipo "raio de Júpiter"

peças centrais originais (uma vez que essa dimensão não pode ser alterada), ligando-se um ramo da peça às pernas e outro às linhas. A solução pode ver-se na Figura 9 na qual se representa, à esquerda, a peça central metálica e, à direita, o reforço das pernas/linhas situadas de cada lado daquela.

Dado o desconhecimento do estado de conservação das extremidades das linhas, que devem resistir ao impulso horizontal proveniente das pernas, a superfície de rotura potencial por corte foi reforçada por 5 parafusos de enroscar (*tirefonds*). Deve assinalar-se, no entanto, que as ligações aparafusadas pernas/linhas-peça central foram dimensionadas para suportar a totalidade do esforço axial da barra, pelo que funcionam como sistema redundante para a ligação perna-linha entalhada, que é o sistema de transferência tradicional. Do mesmo modo, para reforçar a segurança à rotura por tração perpendicular ao fio, foram inseridos 2 parafusos de cada lado dos parafusos M24 que ligam as pernas/linhas e a peça central.

Para eliminar flexibilidades iniciais e assegurar o funcionamento da ligação de acordo com o previsto desde o início do carregamento, foi injetada resina epóxi de baixa viscosidade na junta do dente frontal de contacto perna-linha e nos furos dos parafusos M24.

Nos apoios colapsados, para além da substituição da peça de madeira central, houve que substituir também os troços de pernas e linhas que sofreram danos em razão do colapso daquela peça. Pretendeu-se inicialmente realizar a ligação da madeira nova à antiga com próteses baseadas em resina epóxy e varões roscados, mas a dificuldade de execução desse trabalho em obra obrigou a recorrer à solução convencional de ligação por chapas de aço externas (Figura 10). Esta solução foi igualmente utilizada para a emenda de reparação da fratura de Figura 8a).

Para as emendas de tipo “raio de Júpiter”, utilizou-se ainda uma solução semelhante a esta, apenas com o requisito adicional de ser suficientemente longa para que os furos dos parafusos fossem executados para além do limite da zona da ligação de carpintaria (Figura 11).

4 Execução

4.1 Processo construtivo

A vantagem comparativa desta solução em relação à metálica dependia essencialmente da possibilidade de evitar o desmantelamento das asnas e, conseqüentemente, de toda a cobertura, procedendo apenas a intervenções locais nas zonas a reparar ou reforçar. A substituição das peças centrais e/ou de troços de pernas/linhas impedia o funcionamento normal das asnas. Então, para garantir a sua estabilidade, foi necessário escorar os nós mais próximos do apoio intervencionado. Assim, a carga transita diretamente da cobertura para os apoios pelas escoras da asna, mantendo-se o funcionamento de treliça na parte não escorada da asna, ainda que com uma distribuição de forças diferente e valores menores destas. A recuperação da distribuição de forças original requeria a descarga dos elementos da asna durante a reparação, o que podia conseguir-se quase integralmente procedendo ao nivelamento dos nós da linha à cota de projeto, com recurso a macacos hidráulicos, e destelhamento da cobertura, para aliviar a compressão nas escoras, proporcionando segurança e estabilidade adicionais durante o processo de execução. Prescindiu-se desta última condição na execução, tendo em conta a significativa redução do tempo de execução que assim se obtinha. O processo construtivo utilizado, formulado com vista a atingir os objetivos acabados de enumerar, consistiu então nos passos seguintes:

- 1) Colocação de prumos de escoramento sob os nós 1, 2 e 3 (Figura 12a), com um intervalo livre de 0,30 m entre o topo do prumo e a base dos nós e centrados com a asna na direção perpendicular ao plano desta;
- 2) Contraventamento dos prumos paralela e perpendicularmente ao plano da asna;
- 3) Destelhamento da cobertura na área de influência da asna a reparar (programado, mas não executado, após discussão das implicações técnicas com o empreiteiro);

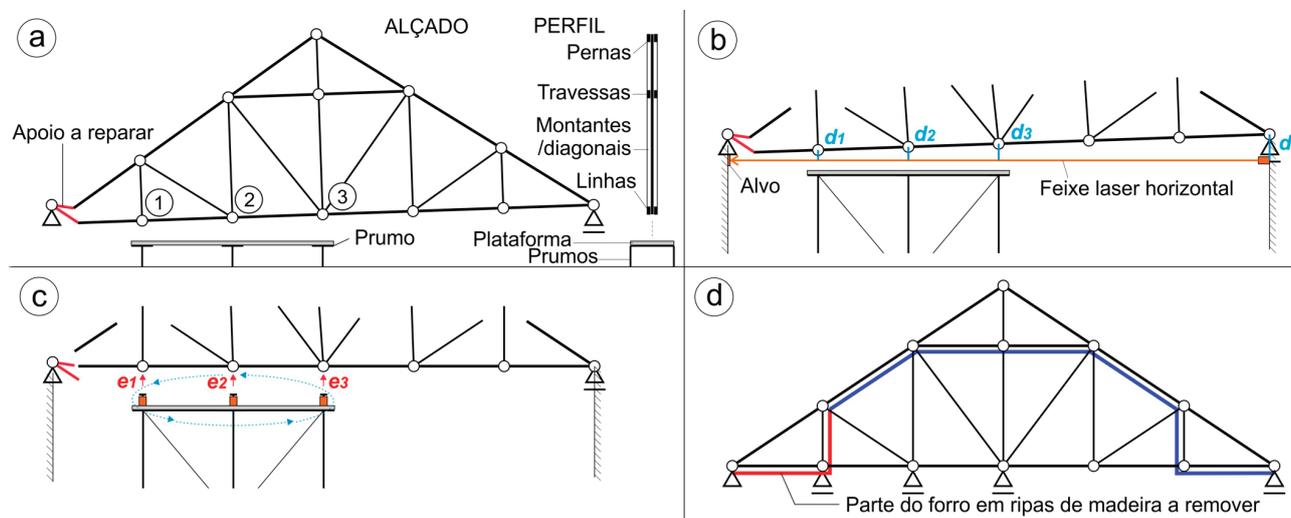


Figura 12 Processo construtivo para a intervenção de reparação



Figura 13 Execução: a) Peças metálicas; b) linha partida; c) raio de Júpiter

- 4) Nivelamento e fixação de um feixe laser e um alvo nas paredes de apoio opostas (Figura 12b). Com uma régua ou um alvo móvel graduado, medir as distâncias d_1 , d_2 , d_3 e, a partir destas, os assentamentos ($e_i = d - d_i$) dos nós 1, 2 e 3;
- 5) Com macacos hidráulicos aplicados sob os nós 1, 2 e 3, restabelecimento da horizontalidade da linha da asna, aplicando as forças de forma gradual e rotativa pelos nós, até se registarem deslocamentos iguais a $-e_i$, $i=1, 2, 3$ (Figura 12c);
- 6) Remoção do forro horizontal e vertical entre o apoio partido e o primeiro montante da asna (Figura 12d);
- 7) Início das reparações descritas na Secção 3 deste artigo.

Na Figura 13 podem ver-se, sucessivamente, as peças metálicas de emenda nos apoios, a emenda da linha partida representada na Figura 8a) e a emenda de uma ligação raio de Júpiter.

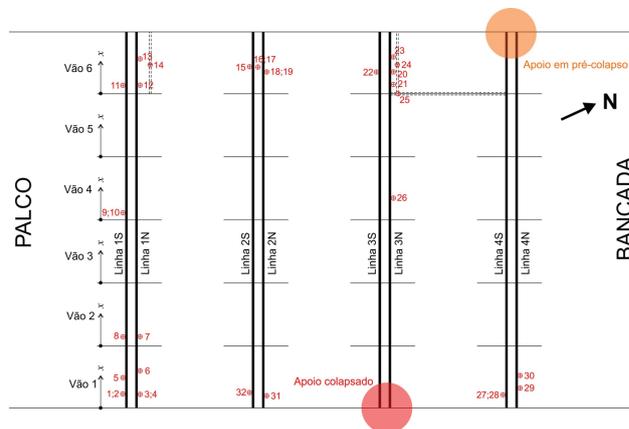


Figura 14 Programa da campanha de perfurações com Resistógrafo

4.2 Inspeção em curso de execução

Quando o forro foi removido (Figura 12d), surgiram dúvidas relativamente ao estado de conservação e nível de ataque biológico, nomeadamente caruncho, de alguns elementos. Na inspeção inicial, a informação recolhida por processos tradicionais (percussão e raspagem), conjugada com a medição do teor de água, não indicou a existência de problemas significativos a este nível, o que dispensou o recurso a meios mais sofisticados, nomeadamente o uso de Resistógrafo (Figura 15). Face à apreensão do empreiteiro no início dos trabalhos foi, não obstante, realizada a campanha de perfurações indicada na Figura 14. Para além de pontos potencialmente problemáticos, nomeadamente junto às entregas das asnas, foram feitas perfurações em posições interiores e onde a madeira não aparentava quaisquer vestígios de ataque. Procedeu-se depois à comparação dos perfis de penetração das zonas sãs e das consideradas de risco, a qual confirmou o bom estado geral das madeiras estruturais, não se exigindo, por conseguinte, nenhuma alteração do plano de execução anteriormente descrito. Os perfis não se apresentam neste artigo, por não revelarem anomalias e ocuparem um espaço significativo.



Figura 15 Perfuração com Resistógrafo

5 Conclusões

Com uma definição judiciosa do processo de reparação e reforço, conseguiu preservar-se uma estrutura de madeira de grande valor patrimonial e genericamente em boas condições de conservação, evitando a sua substituição por uma estrutura metálica que descaracterizaria o espaço e teria um custo superior ao que foi efetivamente despendido. A execução foi minimamente intrusiva e não requereu o desmantelamento da estrutura existente e a permanência em obra foi de cerca de um mês.

Agradecimentos

O autor agradece à Parque Escolar E.P.E., proprietária do imóvel, e ao ITECONS, instituto no âmbito do qual foi prestada a consultoria, a permissão para a divulgação pública deste trabalho, nomeadamente com extração de partes do relatório pericial e do projeto de reparação e reforço [3].

Referências

- [1] European Standardization Committee (CEN) – EN 1991-1-1- *Eurocode 1 – Actions on structures – Part 1-1 – General action – Densities, self-weight, imposed loads for buildings*, Brussels, 2002.
- [2] European Standardization Committee (CEN) – EN 1995-1-1- *Eurocode 5 – Design of timber structures – Part 1-1 – General – Common rules and rules for buildings*, Brussels, 2004.
- [3] ITeCons – Documento PJT.CNS014/18: Cobertura da sala polivalente da escola Secundária Alves Martins em Viseu – Projeto de Recuperação Estrutural, 2018.