

PROJETO E EXECUÇÃO DE REABILITAÇÃO DE ASNAS DE MADEIRA NUM PAVILHÃO POLIVALENTE

DESIGN AND EXECUTION OF THE REHABILITATION WORK OF THE TIMBER TRUSSES OF A MULTIUSE PAVILLION

Negrão, João ⁽¹⁾ *

⁽¹⁾ Professor Associado. Universidade de Coimbra. Coimbra, Portugal

* Contacto: jhnegrao@dec.uc.pt

CÓDIGO: 4477317

Resumo

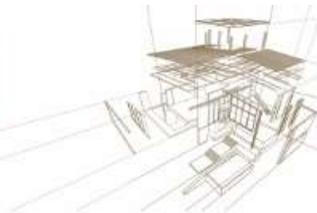
A Escola Secundária Alves Martins, antigo Liceu Central de Viseu, foi construída em 1948, no âmbito do programa de construções escolares do Estado Novo. Nela se inclui o pavilhão da Sala Polivalente, com dois pisos, dos quais o superior é ocupado pela sala propriamente dita. A estrutura da cobertura é constituída por um sistema de asnas duplas de madeira, parcialmente ocultas por um forro de madeira de tipo abobadado. Em setembro de 2017, ocorreu a rotura de um apoio de uma asna, estando outro também em situação de pré-rotura. A ocorrência só não teve consequências graves porque uma redistribuição de cargas evitou o colapso generalizado das asnas acidentadas e se procedeu prontamente ao seu escoramento. 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 e que transmitem a carga gravítica destas aos apoios. Na discussão técnica subsequente, estiveram em confronto duas possibilidades de reparação, respetivamente a substituição integral por uma cobertura metálica e a reabilitação da estrutura de madeira existente, com intervenções pontuais de reparação dos apoios acidentados e reforço nos restantes. Tendo em conta a qualidade intrínseca das asnas originais e o seu bom estado de conservação genérico, optou-se por esta última solução, a qual veio ainda a revelar-se mais económica do que a alternativa. 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.

Palavras-chave: Asnas de madeira, reabilitação, projeto, execução.

Abstract

The Alves Martins Secondary School, formerly Central Viseu High School, was built in 1948 in the frame of the scholar facilities program of the Estado Novo. It includes a two-storey pavilion with a Multiuse Room in the upper floor. The roof structure consists of a set of parallel double timber trusses partially hidden above a curved light-weight timber ceiling. In September 2017 occurred the failure of one of the supports of one truss and the ongoing failure was observed in another one. The load redistribution to the adjacent trusses and the prompt underpinning of the truss prevented its complete collapse. 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 and whose role is to drive the gravity loads to the sustaining walls. In the subsequent technical discussion, two recovery alternatives were under consideration, 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. Considering the intrinsic quality and the good material condition of the original trusses, the latter proposal prevailed, with the additional advantage of being cheaper than the alternative. 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.

Keywords: Timber trusses, rehabilitation, design, execution.



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 em que atualmente funciona foram construídas em 1948, no âmbito do programa de construções escolares do Estado Novo. A Figura 1-a) é uma vista geral do complexo escolar, destacando-se com um círculo o pavilhão, representado na Figura 1-b), 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 14m x 20m. 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 1º andar são em betão armado. Os pilares são dispostos perifericamente com espaçamento de cerca de 4m, vão preenchido com alvenaria nos 3m inferiores e janelas rasgadas no restante pé-direito. A cobertura é suportada por asnas principais triangulares paralelas em madeira de pinho, com aproximadamente 14m 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 2-a) têm pernas e linhas duplas, espaçadas de 10cm, 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 120mm x 240mm. As dos montantes e diagonais têm uma largura constante de 120mm, mas a altura é de 120 ou 200mm, consoante o elemento. O teto da sala é constituído por um forro de madeira, horizontal numa faixa perimetral de cerca de 2m de largura e de forma poliédrica na zona central, ver Figura 2-a e esquema da Figura 2-b.



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 (identificado por um círculo a vermelho na Figura 2-a) duma asna de cobertura, e uma situação de pré-rotura noutro (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, impediram o colapso das asnas afetadas.

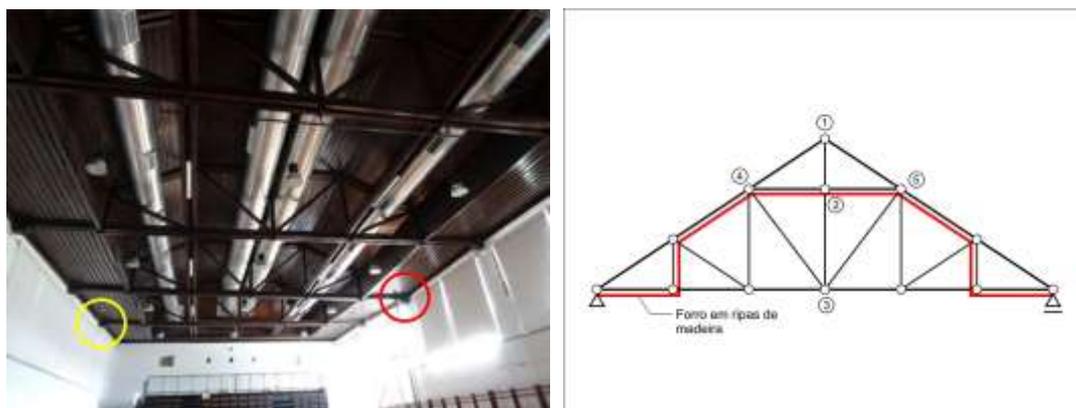


Figura 2: a) Vista interior da sala e localização dos danos b) Corte esquemático

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. Na inspeção estrutural verificou-se que, nos apoios, as duas pernas e as duas linhas eram ligadas, cada par, a uma peça central de madeira, com dimensão igual à das duas peças ligadas, sendo esta que penetrava em profundidade na espessura da parede, Figura 3-a. Essa ligação era realizada por dois parafusos de 24mm de diâmetro, implicando a rotura de um parafuso a formação do mecanismo de rotura esquematizado na Figura 3-b.

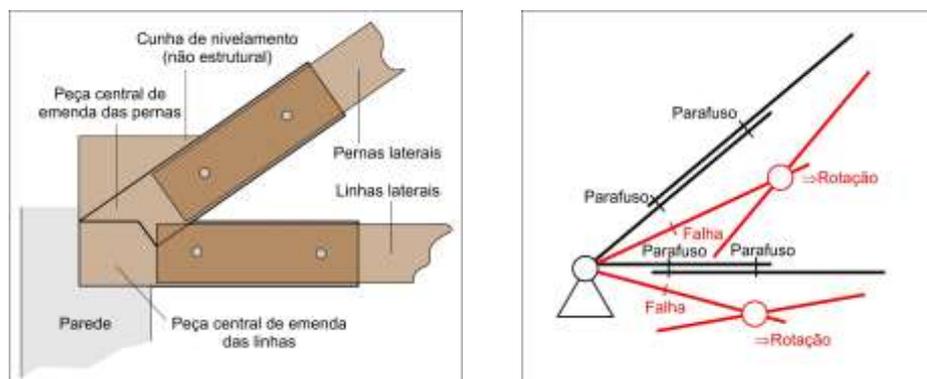
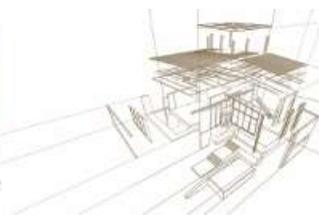


Figura 3: a) Arranjo existente nos nós b) Mecanismo potencial

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 3-a); 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) a garantia de 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 3-b, a qual concorda de forma exemplar com o registo fotográfico do acidente.

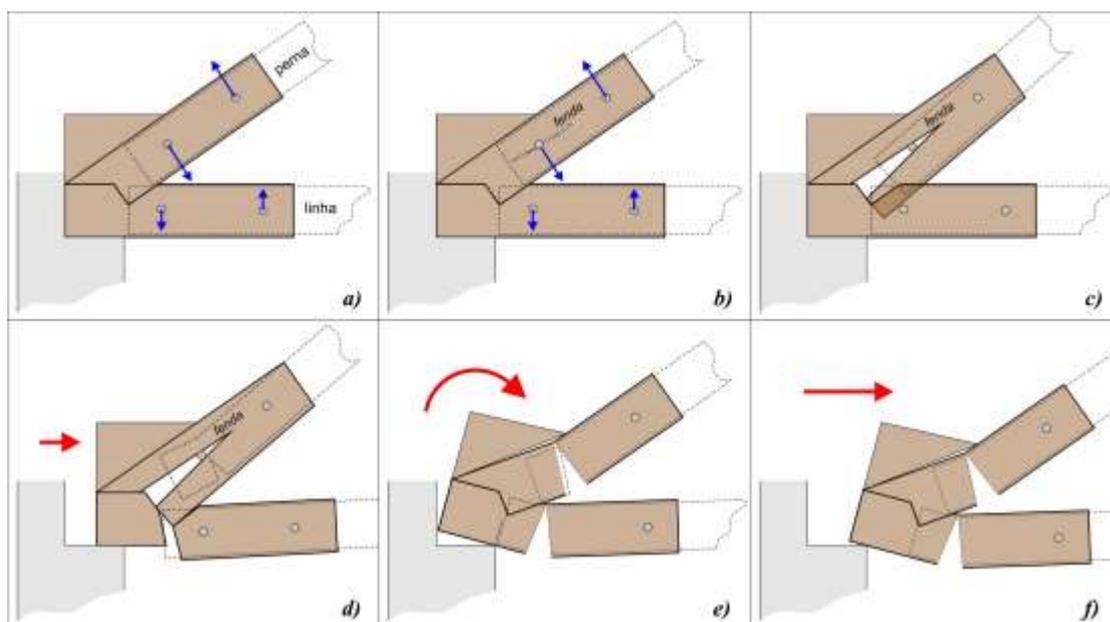
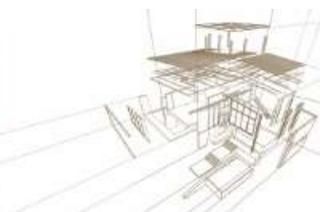


Figura 4: Sequência de eventos conducentes à rotura do apoio

As Figuras 5-a-b são as representações reais deste mecanismo. Na figura 5-a pode ver-se, em primeiro plano, a peça central fraturada, com origem no furo do parafuso, igualmente visível. Na Figura 5-b 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.



Figura 5: a) Rotura da peça central b) Rotura da ligação



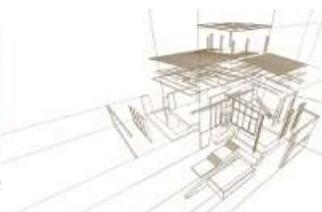
2.2. Outras patologías

Para além das roturas nos apoios, ocorrências críticas que suscitaram a peritagem e subsequente obra de reabilitação, 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 6-a) existentes em todas as linhas, em posições variáveis. Estas ocorreram por corte do dente de imbricamento das peças, segundo a superfície indicada na Figura 6-b. 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 6-c. No entanto, a transferência para esta da força anteriormente transmitida pelo dente originou a sua plastificação e rotação, com a consequente abertura da ligação, e ainda a rotura por tração da cunha de madeira contra a qual a cavilha exerceu força de compressão, também visível na Figura 6-c.



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

A inspeção no desvão situado entre o forro e a cobertura propriamente revelou que os elementos estruturais principais (asnas, madres e vigas de travamento, Figura 7-a) 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 encontram fortemente



deteriorados por carunchos (Figura 7-b), sem outra hipótese de reparação que não a sua substituição. A causa provável desta diferença é a de estes serem horizontais e terem maior superfície específica (logo, terem maior suscetibilidade à deposição de ovos) e, possivelmente, serem de madeira de qualidade mais fraca.



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

Já durante a execução da obra de reabilitação, 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 8-a). A outra era uma deformação excessiva da zona em consola do forro de madeira, causada por deformação da estrutura de apoio (Figura 8-b).



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

3. PROJETO DE REABILITAÇÃO

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 reabilitação 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 reabilitação 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. Reabilitação 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 (Eurocódigo 1-Ações em edifícios) e EN 1995-1 (Eurocódigo 5-Estruturas de madeira) (2004). 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 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 excepcional, 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 4-a. Por isso, a medida fundamental do projeto de reabilitação 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 3-a, para permitir o equilíbrio de forças horizontais, optou-se por aplicar uma peça em “V”, constituída por perfis RHS de largura igual à das 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.

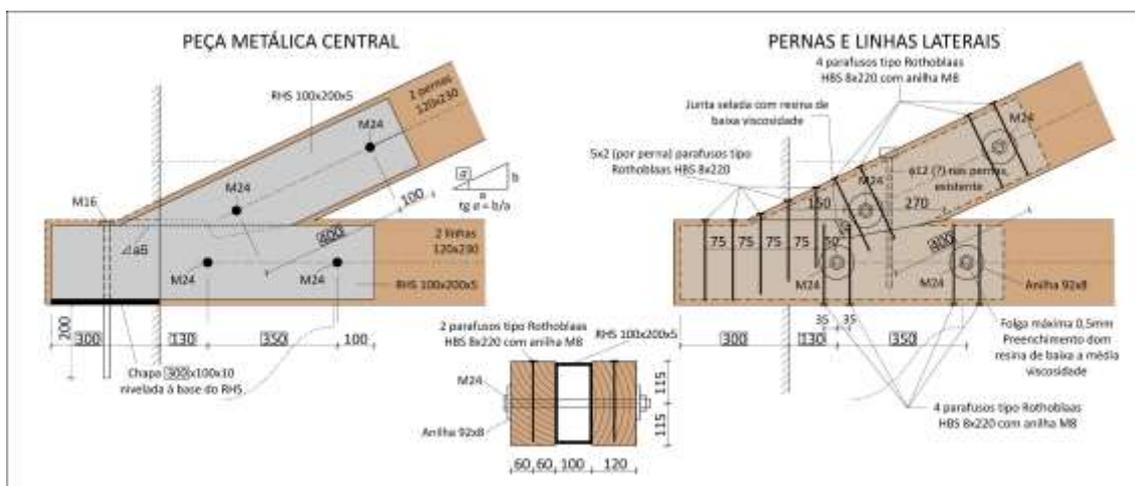


Figura 9: Solução de reabilitação/reforço das ligações de apoio

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 para fusos de cada lado dos parafusos M24 que ligam as pernas/linhas e a peça central.

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 epoxy e varões roscados, mas a falta de empresas habilitadas para esse trabalho 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 8-a.

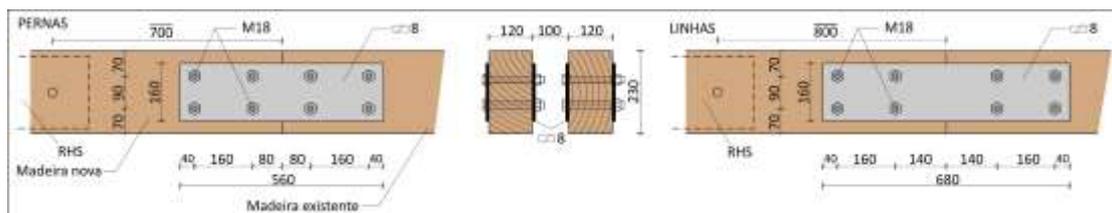


Figura 10: Emendas das pernas e linhas fraturadas

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 praticados para além do limite da zona da ligação de carpintaria (Figura 11).

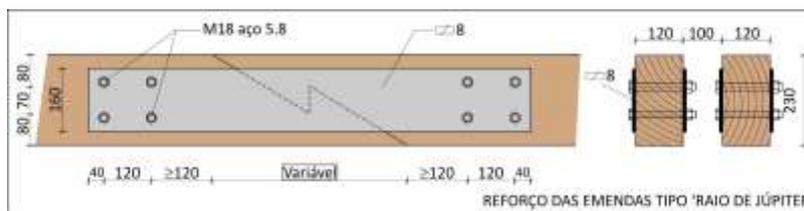


Figura 11: Emendas das ligações de tipo “raio de Júpiter”

4. PROJETO DE REABILITAÇÃO

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 12-a), com um intervalo livre de 0,30m entre o topo do prumo e a base dos nós e centrados com a asna na direção perpendicular ao plano desta;
- 2) Contraventar os prumos paralela e perpendicularmente ao plano da asna;
- 3) Destelhar a cobertura na área de influência da asna a reparar (não executado);
- 4) Nivelar e fixar um feixe laser e um alvo nas paredes de apoio opostas (Figura 12-b). 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, restabelecer a 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 12-c);
- 6) Remover o forro horizontal e vertical entre o apoio partido e o primeiro montante da asna (Figura 12-d);
- 7) Iniciar as reparações descritas na Secção 3 deste artigo.

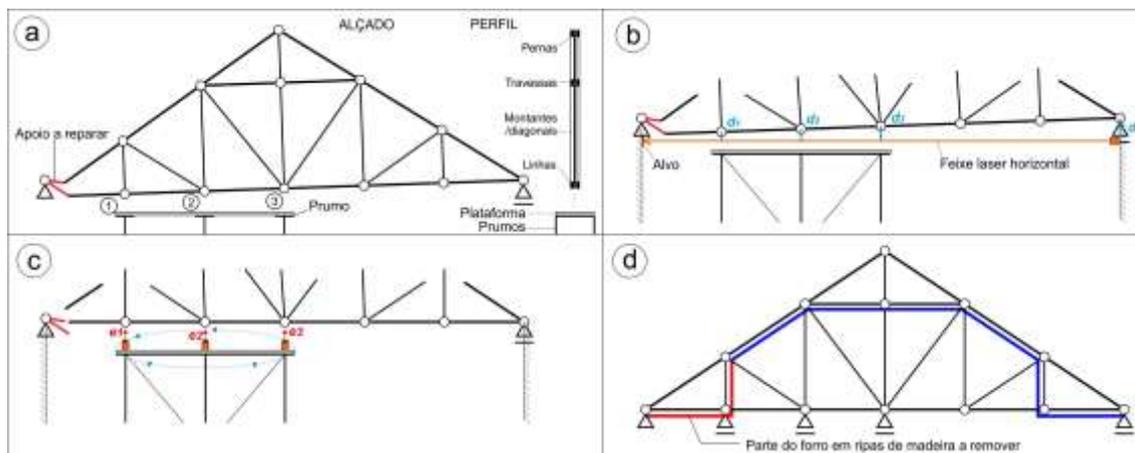


Figura 12: Processo construtivo para a intervenção de reabilitação

4.2. Execução

As imagens seguintes ilustram alguns passos do processo de execução.



Figura 13: Perfuração com Resistógrafo



Tendo havido dúvidas, quando o forro foi removido (Figura 12-d), relativamente ao estado de conservação e nível de ataque biológico de alguns elementos, foi programada a campanha de perfurações com Resistógrafo (Figura 13) representada na Figura 14, que confirmou o bom estado geral das madeiras estruturais não se exigindo, por conseguinte, nenhuma alteração do plano de execução anteriormente descrito.

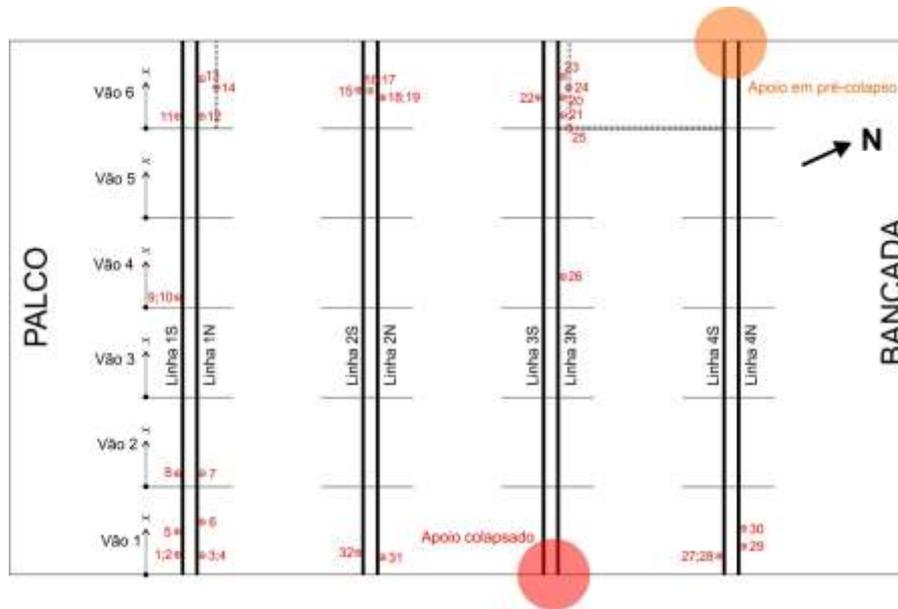


Figura 14: Programa da campanha de perfurações com Resistógrafo

Na Figura 15 podem ver-se, sucessivamente, as peças metálicas de emenda nos apoios, a emenda da linha partida representada na Figura 8-a e a emenda de uma ligação raio de Júpiter.



Figura 15: Execução a) Peças metálicas; b) linha partida; c) raio de Júpiter

5. CONCLUSÕES

Com uma definição judiciosa do processo de reabilitação, conseguiu preservar-se uma estrutura de madeira de grande valor patrimonial, evitando a sua substituição por uma estrutura metálica que descaracterizaria o espaço e teria um custo superior ao que foi efetivamente dispendido.

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.



4º CONGRESO
LATINOAMERICANO
DE ESTRUCTURAS
DE MADERAS

REFERÊNCIAS

European Standardization Committee (CEN) (2004). EN 1991-1-1- Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings.

ITeCons (2018). Documento PJT.CNS014/18: Cobertura da sala polivalente da escola Secundária Alves Martins em Viseu – Projeto de recuperação estrutural.