

Estruturas de madeira lamelada colada em Portugal. Instrumentos para a garantia da qualidade

Glued laminated timber structures.
Tools for quality assurance

Helena Cruz

Resumo

As estruturas de madeira lamelada colada têm tido uma utilização crescente no nosso país, revelando-se uma opção interessante, quer em substituição da madeira maciça no caso de estruturas leves de pequeno porte, quer como sólida alternativa a estruturas de aço ou de betão no caso de grandes naves industriais ou equipamentos desportivos.

No entanto, por configurarem ainda soluções estruturais, materiais e processos construtivos pouco comuns entre nós, considera-se que não estão suficientemente divulgados os instrumentos de que podemos e devemos dispor para a garantia da qualidade destas estruturas.

Pretende-se com este artigo salientar a importância da adequada concepção, especificação, fabrico, avaliação periódica e manutenção das estruturas de madeira lamelada colada. Dá-se ainda conta do acompanhamento que tem sido feito pelo LNEC no caso de uma das mais emblemáticas estruturas deste tipo, o Pavilhão Atlântico.

Palavras chave Monitorização / inspeções / certificação / EN 14080 / Pavilhão Atlântico

Abstract

An increasing number of glued laminated timber structures have been built in Portugal recently, these being an upgrade substitute of solid timber in the case of small light structures or an interesting alternative to steel and concrete structures in the case of large industrial, sports or recreational buildings.

However, the associated structural solutions, material and building process are yet uncommon in this country, and the available means to guarantee the quality of such structures are not widely known.

The purpose of this paper is to highlight the importance of suitable design, materials specification, production, frequent evaluation and maintenance of glued laminated timber structures. As an example it also presents the involvement of LNEC in the construction and follow-up of the Atlantic Pavilion, one of the most emblematic glulam structures worldwide.

Key words Monitoring / building survey / certification / EN 14080 / Atlantic Pavilion

Helena Cruz

Investigadora Principal
Núcleo de Estruturas de Madeira, LNEC

1 Introdução

Embora o conceito da justaposição de elementos de madeira ligados para formar elementos de grande secção tenha cerca de duzentos anos e as primeiras estruturas de madeira lamelada colada datem de há cem anos, em Portugal estas estruturas são ainda muito recentes.

A primeira grande estrutura de madeira lamelada colada construída em Portugal terá sido a cobertura do Pavilhão Atlântico, realizado para a EXPO'98, que sem dúvida muito contribuiu para a divulgação destas estruturas. A crescente oferta no mercado nacional de soluções deste tipo, ainda que, na sua larga maioria, com produção estrangeira, tem viabilizado a sua realização.

São reconhecidas as potencialidades das estruturas de madeira lamelada colada, nomeadamente a boa relação peso/resistência, a elevada resistência ao fogo em comparação com estruturas de betão e de aço e a adequação a ambientes quimicamente agressivos. Qualidades que, a par da qualidade estética e do carácter "ecológico" da madeira, decidem muitas vezes a favor deste material, em desfavor do betão ou do aço. Os elementos lamelados colados podem ser fabricados com qualquer forma e dimensões, incluindo configuração curva e secção variável, permitindo o projecto de estruturas de dimensões e formas arrojadas, limitadas apenas pela capacidade de transporte desde a fábrica até ao estaleiro. Em termos puramente económicos e de eficiência estrutural, a madeira lamelada colada é, também, em muitos casos, uma opção competitiva.

Entre nós, a opção por estruturas de madeira lamelada colada tem sido motivada, na maioria dos casos, por questões estéticas face às inúmeras formas que possibilita, ao seu carácter inovador e ainda a preocupações ambientais. Contudo, o geral desconhecimento no meio técnico nacional relativamente ao comportamento e ao dimensionamento da madeira têm refreado uma maior utilização destas soluções – situação compreensível dado que a pormenorização correcta das estruturas é um factor determinante da sua resistência e durabilidade.

O bom desempenho das estruturas de madeira lamelada colada assenta, antes de mais, numa concepção estrutural e numa pormenorização que tenham em conta as particularidades do material, nomeadamente limitando a ocorrência de esforços de tracção perpendicular às fibras e minimizando as hipóteses de contacto com a água e a sua retenção pela madeira. Estes são, com efeito, os factores com maior probabilidade de conduzir a deterioração da madeira e aos quais se atribui a maioria das situações de acidente/colapso conhecidas.

A par da concepção e da pormenorização, é essencial que o fabrico da madeira lamelada colada obedeça a parâmetros precisos e a um rigoroso controlo de qualidade, garantindo em particular que a resistência da madeira empregue e a resistência das juntas coladas sejam as necessárias para conduzir aos valores especificados de resistência mecânica dos elementos colados.

Embora o conceito da justaposição de elementos de madeira ligados para formar elementos de grande secção tenha cerca de duzentos anos e as primeiras estruturas de madeira lamelada colada datem de há cem anos, em Portugal estas estruturas são ainda muito recentes.

A primeira grande estrutura de madeira lamelada colada construída em Portugal terá sido a cobertura do Pavilhão Atlântico, realizado para a EXPO'98, que sem dúvida muito contribuiu para a divulgação destas estruturas. A crescente oferta no mercado nacional de soluções deste tipo, ainda que, na sua larga maioria, com produção estrangeira, tem viabilizado a sua realização.

Por último, a criação de meios de acesso e a implementação de rotinas de inspecção/avaliação das estruturas de madeira são essenciais no sentido de detectar atempadamente eventuais situações susceptíveis de comprometer a segurança da estrutura ou a sua durabilidade. Estas acções permitem ainda estabelecer ou ajustar programas de manutenção destinados a manter as estruturas em condições aceitáveis com o mínimo de custos ao longo da sua vida útil.

2 Madeira lamelada colada

O princípio de fabrico de elementos de madeira lamelada colada é relativamente simples, consistindo no empilhamento de tábuas de madeira aparelhada, orientadas com o fio sempre na mesma direcção, que são coladas de topo (por ligações correntemente designadas por *finger-joints*) e de face, por forma a obter elementos com o comprimento e a secção transversal desejada.



Figura 1 Pormenores construtivos

A madeira lamelada colada pode ser encarada com madeira maciça reconstituída, apresentando um comportamento físico e mecânico que é, na sua essência, o da madeira maciça natural. No entanto, o seu fabrico a partir de tábuas com uma espessura relativamente pequena (máximo: 45 mm, em elementos rectos para aplicação nas Classes de Serviço 1 ou 2 definidas no Eurocódigo 5 [1]) permite uma dispersão dos defeitos naturais da madeira no volume final, ou mesmo a eliminação de defeitos particularmente graves, conduzindo a um material mais homogéneo e consequentemente mais fiável e resistente.

As grandes secções transversais associadas a este tipo de material garantem, por outro lado, uma maior inércia à oscilação das condições ambientais (temperatura e humidade relativa do ar) e, por consequência, uma estabilidade dimensional superior à dos elementos estruturais de madeira maciça, em geral de pequena dimensão. As grandes secções transversais conduzem também a uma elevada resistência ao fogo destas estruturas, uma vez que as colas utilizadas no fabrico de elementos lamelados colados não sofrem alteração significativa com a temperatura abaixo da temperatura de carbonização da madeira, comportando-se estes elementos como elementos sólidos.

No que respeita à durabilidade, é sabido que as linhas de cola não constituem barreira a um eventual ataque da madeira por agentes biológicos. No entanto, verifica-se que, perante situações de humificação accidental, elementos de maiores dimensões terão maior dificuldade em atingir e manter valores de teor em água necessários para o desenvolvimento de fungos de podridão ou de térmitas subterrâneas (teor em água superior a 20%).

São correntes soluções estruturais com vigas rectas, pórticos e arcos. É tecnicamente viável a realização de estruturas de grandes vãos, acima de 100 m, limitados apenas pela capacidade de transporte e montagem e pela capacidade das fundações, dado que os grandes vãos são resolvidos geralmente por estruturas em arco parabólico.

3 Concepção e especificação (projecto)

A durabilidade das estruturas de madeira é um aspecto fundamental a ter em conta e deve ser acautelada, como em qualquer outra estrutura, desde logo na fase de projecto mediante medidas preventivas adequadas.



São determinantes: a escolha de colas adequadas às condições de exposição da estrutura (colas do tipo I ou do tipo II definidos na norma europeia EN 301 [2]), o emprego de madeira com durabilidade natural suficiente (ver EN 350-2 [3]) ou com tratamento preservador adequado à Classe de Risco de ataque biológico (NP EN 335-2 [4]) prevista e a escolha de ligadores com suficiente protecção contra a corrosão [1].

Importa, contudo, atender a que o aumento da durabilidade da madeira (pelo emprego de espécies mais duráveis ou de madeira tratada) tem geralmente implicações negativas ao nível da resistência e durabilidade da colagem, determinando a necessidade de ajustar o processo de fabrico.

Por esta razão, deve ser equacionada a possibilidade de reduzir a Classe de Risco biológico mediante a adopção de medidas construtivas (pormenorização) capazes de minimizar a retenção de água pela madeira. Não se pretendendo ser exaustivo, são favoráveis deste ponto de vista: a aplicação de produtos de protecção superficial (esquemas de pintura envolvendo velaturas, por exemplo) com características hidrófugas; a criação de barreiras físicas que impeçam o contacto da madeira com a água e criação de condições de arejamento dos topos da madeira, que limitem a sua absorção; a redução de riscos de condensação e escorrência; a minimização da exposição da madeira a ambientes exteriores e o capeamento dos topos de elementos que tenham de permanecer expostos às intempéries (Figura 1).

4 Fabrico e certificação

A resistência mecânica dos elementos de madeira lamelada colada é determinada pela resistência da madeira que constitui as lamelas, pelo arranjo (disposição) das lamelas na secção transversal e pela resistência das juntas coladas, pelo que se compreende a importância de um apertado controlo de produção.

Durante o fabrico dos elementos lamelados colados, são controlados os seguintes factores que afectam a resistência do produto final e a sua durabilidade: temperatura e humidade relativa do ar ambiente, limpeza e afinação de máquinas, calibração de equipamentos de medida; teor em água, dimensões das lamelas de madeira, sua resistência mecânica, qualidade e orientação; mistura, qualidade e quantidade da cola; tempo, temperatura e pressão de colagem.

O controlo de produção interno da fábrica deve incluir a verificação e o registo dos parâmetros de fabrico acima referidos e a realização sistemática de ensaios de flexão de ligações *finger-joints*, bem como ensaios de corte e de delaminação de juntas coladas (colagem de face entre lamelas).

A Directiva dos Produtos de Construção (DPC) (Directiva 89/106/CEE) estabelece que, para serem colocados no mercado, os produtos de construção (todos os produtos destinados a ser permanentemente incorporados em obras de construção civil e de engenharia civil) devem estar aptos ao uso a que se destinam, devendo por isso apresentar características tais que as obras onde venham a ser incorporados satisfaçam as Exigências Essenciais, de que se destacam: resistência mecânica e estabilidade, segurança em caso de incêndio e segurança na utilização. (Para mais informação, sugere-se a consulta de <http://www.lnec.pt/qpe>).

A aposição da marcação CE nos produtos é a evidência dada pelo fabricante de que esses produtos cumprem as directivas comunitárias que lhes são aplicáveis, permitindo-lhes a sua livre circulação no Espaço Económico Europeu (EEE). Relativamente a produtos para os quais exista já uma certa tradição e/ou que possam ser considerados produtos correntes, a DPC prevê a demonstração da aptidão ao uso por referência a Normas Europeias harmonizadas. É este o caso da madeira lamelada colada para estruturas, cuja marcação CE deve, desde 01-04-2007, ser baseada na Norma Europeia harmonizada EN 14080: Timber structures – Glued laminated timber. Requirements [5], em vigor desde 01-04-2006.

No seu Anexo ZA, a EN 14080 define o sistema de comprovação de conformidade aplicável aos elementos de madeira lamelada colada, como sendo o sistema 1, que pressupõe a actuação permanente de uma entidade independente (organismo notificado), garantindo a existência de um controlo de qualidade na fábrica adequado. A conformidade da madeira lamelada colada com as exigências desta norma e com os valores declarados (incluindo as classes de resistência) deve ser demonstrada através de:

- ensaios ou avaliação de tipo inicial (em laboratório aprovado);
- controlo de produção pelo fabricante.

A marcação CE da madeira lamelada colada corresponde ao nível mais elevado de garantia de qualidade, rastreabilidade e consistência do produto, trazendo ao mercado vários benefícios de que se destacam uma correcta facilidade de identificação do produto e a garantia de fornecimento de produtos submetidos a um controlo de qualidade adequado.

A marcação CE deve ser aposta de forma visível, facilmente legível e indelével, no próprio produto, num rótulo nele fixado, na respectiva embalagem ou nos documentos comerciais de acompanhamento, com informação completa (Figura 2), que inclui os valores característicos de resistência ou a classe de resistência definida na NP EN1194 [6] e o tipo de cola usada.

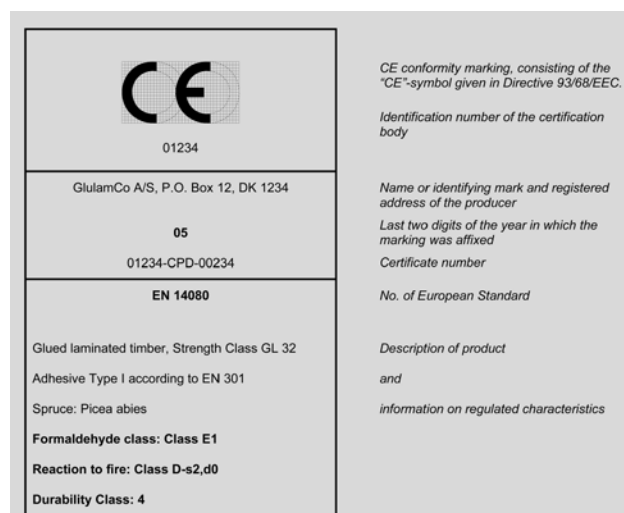


Figura 2 Marcação CE de madeira lamelada colada (EN14080)

5 Monitorização

5.1 Plano de monitorização

As estruturas devem ser avaliadas antes da sua entrada em funcionamento e novamente antes do fim do período de garantia da construção, devendo depois disso ser avaliadas periodicamente, por pessoas com conhecimentos sobre o material, formação adequada e reconhecida competência nesta matéria.

A título de exemplo, refira-se que, para obras de arte (incluindo estruturas de madeira), a norma alemã DIN 1076 [7] recomenda a realização de avaliações sistemáticas e meticolosas de 6 em 6 anos, intercaladas com avaliações mais ligeiras a meio desse intervalo. Pode igualmente justificar-se a avaliação de uma estrutura na sequência de eventos susceptíveis de afectar as respectivas condições de segurança, ou sempre que circunstâncias especiais, de utilização ou manutenção, por exemplo, tornem acessível uma parte da estrutura que normalmente é de difícil acesso. Além disso, a mesma norma recomenda a realização de vistorias regulares, duas vezes por ano, procurando danos ou defeitos graves que configurem situações de risco evidente.

O estabelecimento de um plano de monitorização deve, no entanto, atender às características específicas da estrutura. O tipo e a localização das medições, tal como o âmbito e a periodicidade das inspecções devem ter em conta o tipo de material, bem como as condições de exposição e o tipo de exploração.

A monitorização é essencial como forma de verificar se o comportamento das estruturas está de acordo com o previsto, evitando surpresas que podem ser desastrosas em termos económicos e de perda de vidas humanas, permitindo igualmente estabelecer ou ajustar um plano de manutenção que favoreça o bom comportamento ao longo da sua vida útil, com o mínimo de custos e de perturbação.

5.2 Recepção

Em Portugal, a atribuição de competências neste domínio nem sempre é totalmente clara, correndo-se o risco de se diluírem as responsabilidades entre os diversos intervenientes. Entre a aquisição pelo Dono de Obra de uma estrutura de madeira que se assume em regime de "chave na mão", a encomenda pelo Empreiteiro ao Fabricante de uma estrutura cuja especificação é feita unicamente mediante um projecto de arquitectura, e a colocação em obra de uma estrutura cujo projecto ninguém verificou, há campo para lacunas graves, com riscos evidentes para a segurança.

Qualquer que seja o contrato de fornecimento da estrutura, é essencial que as características dos materiais sejam confirmadas, incluindo: espécie de madeira, tipo de cola, classe de resistência do lamelado colado e dimensões dos elementos; características dos ligadores e geometria das ligações; tratamento preservador e acabamento.

O projecto da estrutura (cálculos e telas finais) é um elemento fundamental para proceder à recepção da obra. É igualmente imprescindível conhecer o projecto para definir planos de

monitorização e de manutenção periódica da estrutura que tenham em conta eventuais aspectos críticos, bem como para ponderar futuramente a viabilidade de alterações à estrutura ou ao seu uso.

5.3 Inspecções periódicas

Qualquer estrutura deve ser alvo de inspecções periódicas com o objectivo de detectar e corrigir atempadamente situações que possam comprometer a sua segurança, utilização ou durabilidade. A inspecção deve ser sistemática, desejavelmente criando condições para observar os elementos de uma curta distância (ao alcance da mão), com a ajuda de escadas, andaimes ou plataformas elevatórias, conforme necessário. Pode ser preciso remover revestimentos para expor os elementos a inspeccionar e os seus possíveis defeitos ou danos.

No caso das estruturas de madeira, deve ser prestada especial atenção aos seguintes aspectos.

Em relação aos elementos de madeira:

- a) deformação dos elementos resistentes (à vista desarmada);
- b) fractura da madeira provocada por esforços excessivos;
- c) fendas de secagem profundas da madeira, especialmente se recentes, em evolução ou afectando as ligações;
- d) delaminação (abertura das juntas coladas), em elementos de madeira lamelada colada;
- e) absorção de água a partir dos topos da madeira ou de fendas;
- f) ataque por fungos de podridão¹;
- g) infestação por insectos (carunchos² ou térmitas³);
- h) deterioração de elementos sujeitos à abrasão;

Em relação às ligações:

- i) rotura ou escorregamento das ligações;
- j) aperto de parafusos e ajustamento de outros elementos de ligação;
- k) corrosão de ligadores ou de outros elementos metálicos (chapas, cabos);
- l) ligadores (parafusos e anilhas) em falta;

E ainda:

- m) falha do eventual esquema de pintura aplicado para protecção superficial;
- n) falha de eventuais esquemas de protecção ignífuga (de elementos e de ligadores).

1 São susceptíveis os elementos de madeira em contacto com o solo ou em zonas imediatamente acima da linha de água doce ou salgada e em geral todos os elementos sujeitos a humedificação frequente e retenção de água por períodos prolongados. Podem ser particularmente críticas as zonas de ligação ou os topos expostos. Podem ser detectados, nomeadamente, por manchas e perda de resistência da madeira à penetração por objecto cortante.

2 Pode ocorrer nos elementos de madeira acima do solo. Geralmente detectáveis pelos orifícios de saída dos insectos e serrim.

3 São particularmente críticas as madeiras em contacto com o solo ou próximo dele, susceptíveis de retenção de humidade. A infestação pode ser detectada pela presença de canais de terra ou pelo aspecto característico da degradação que provocam.

Tratando-se de uma primeira avaliação da estrutura, deve ainda ser verificada a conformidade da estrutura com as telas finais do projecto, conforme referido anteriormente, prestando especial atenção ao tipo e geometria das ligações estruturais e a eventuais erros de construção traduzidos na omissão de ligadores, na insuficiente distância dos ligadores aos topos e bordos da madeira, na utilização de anilhas de dimensão insuficiente com esmagamento da madeira por compressão transversal, na falta de elementos de contraventamento, ou ainda na omissão de pormenores construtivos destinados a minimizar o contacto da madeira com a água e a sua absorção, para citar apenas alguns exemplos.

As inspecções deverão servir igualmente para avaliar outros aspectos não directamente ligados com a segurança estrutural, como sejam a segurança para a circulação de pessoas ou a segurança ao fogo, que muitas vezes vêm a ser comprometidas ao longo da vida da estrutura. Só para lembrar alguns problemas correntes, refira-se o bloqueio de entradas e saídas, a deterioração de guardas, corrimãos ou revestimentos de piso, a alteração ou remoção de barreiras de retenção/segurança com o objectivo de facilitar o acesso do pessoal de manutenção, a instalação de circuitos ou equipamentos eléctricos sem a necessária segurança ou o seu progressivo envelhecimento.

Outros aspectos que importa verificar, pelo seu potencial impacto na durabilidade das estruturas, em particular das de madeira, têm a ver com o estado de conservação de canalizações, caleiras e algerozes, bem como dos elementos de remate de singularidades da envolvente (por exemplo, clarabóias, equipamentos de ventilação ou tão-somente de pontos de passagem de antenas) que poderão a dada altura permitir a entrada da água, de forma discreta mas perigosa, e a deterioração dos elementos de madeira.

5.4 Medição de deslocamentos

Dependendo da dimensão e das características das estruturas, podem ocorrer mudanças de geometria mais ou menos sensíveis após a sua entrada em serviço.

Estas mudanças podem dever-se ao ajustamento do teor em água da madeira às condições ambientais que a rodeiam, a uma acomodação das ligações e a fenómenos de fluência. Podem também, sobretudo se revelam uma tendência crescente, ser indicadores de algum tipo de instabilização em progresso ou colapso iminente, revelando-se nesse caso a sua monitorização uma ferramenta de grande utilidade para prevenir acidentes.

No nosso clima, o movimento normal das estruturas de madeira tem uma componente cíclica importante, devida ao inchamento da madeira no Inverno associada à combinação de humidade relativa do ar elevada e temperatura baixa, seguida de retração da madeira durante o Verão em resultado da sua secagem por acção de humidade relativa do ar baixa e temperatura elevada. Sendo um material higroscópico e com baixo coeficiente de dilatação térmica, as estruturas de madeira apresentam um comportamento de certo modo oposto ao das estruturas de betão ou de aço, relativamente às variações cíclicas anuais.

Em estruturas com grande vão ou características particulares de concepção, projecto, execução ou exploração, será conveniente verificar a evolução dos deslocamentos verticais e horizontais. É

desejável que esta monitorização tenha lugar desde a montagem da estrutura, abrangendo a sua entrada em serviço e acomodação inicial. A periodicidade das medições deverá ser estabelecida caso a caso, sendo conveniente ter um conjunto de registos relativos à mesma época do ano, para melhor comparação.

5.5 Medição de teor em água e condições ambientais

Em complemento à medição de deslocamentos da estrutura, importa conhecer a temperatura e a humidade relativa do ar envolvente e verificar o efeito das condições ambientais no teor em água da madeira.

No caso das estruturas coladas, nomeadamente as de madeira lamelada colada, o tipo de cola empregue deve ser adequado às condições de serviço (temperatura e humidade relativa do ar).

Por outro lado, as condições ambientais determinam o teor em água da madeira, pelo que afectam as suas dimensões, resistência e elasticidade. Igualmente a durabilidade da madeira pode ser negativamente afectada pelas condições ambientais, uma vez que para um teor em água da madeira (seja maciça, seja lamelada colada) superior a 20% haverá condições para o seu ataque por fungos de podridão ou por térmitas, a menos que tenha sido previsto o tratamento prévio com produtos preservadores ou que tenham sido empregues espécies florestais com durabilidade natural adequada. Em todo o caso, é importante que a Classe de Risco biológico admitida no projecto, em função da qual é equacionada a durabilidade requerida para a madeira, não seja excedida na prática.

Também a protecção contra a corrosão dos ligadores é definida em função da Classe de Serviço correspondente. É, portanto, conveniente verificar se as condições ambientais admitidas no projecto não são grosseiramente ultrapassadas na prática.

6 A experiência do Pavilhão Atlântico

6.1 Características da obra e plano de monitorização

A cobertura do Pavilhão Atlântico foi a primeira grande estrutura de madeira lamelada colada construída em Portugal. O então designado Pavilhão Multiusos de Lisboa, ou Pavilhão da Utopia, foi realizado para a EXPO'98, sendo constituído por uma nave principal (Sala Atlântico e por uma nave contígua (Sala Tejo) mais próxima do rio (ver Figuras 3 e 8). A estrutura de madeira da Sala Atlântico, concluída em 1997, foi igualmente inovadora a nível internacional, uma vez que constituiu um dos primeiros exemplos de uma grande estrutura dimensionada segundo o Eurocódigo 5 (então ENV 1995-1-1 [8]).

A estrutura de cobertura é constituída por 17 arcos transversais triangulados com dimensões variáveis, tendo o maior arco 114 m de comprimento, e altura máxima de 47 m em relação à arena. Os elementos destes arcos são de madeira lamelada colada de Espruce (*Picea abies*), em cujo fabrico foi usada uma cola de tipo I (adequada para interiores e exteriores) e que receberam, na sua forma e dimensão final, um tratamento preservador superficial insecticida e fungicida (adequado à Classe de Risco 2 definida na EN 335-2).



Figura 3 Construção do Pavilhão Atlântico

Tendo em conta o carácter duplamente inovador desta estrutura, o Dono de Obra solicitou ao LNEC apoio, como consultor, durante as fases de projecto, construção e montagem da cobertura, incluindo, nomeadamente, a quantificação das acções, a especificação da madeira lamelada colada, a recepção dos materiais e o acompanhamento do fabrico e da montagem dos arcos (Figura 3).

Desde 2000, a pedido do Dono de Obra, o LNEC realiza também o acompanhamento da estrutura da Sala Atlântico, o que inclui, essencialmente, as seguintes actividades:

- Inspeções visuais sistemáticas;
- Monitorização contínua das condições ambientais que envolvem a estrutura, em várias zonas, e do teor em água da madeira lamelada colada;

- Medição dos deslocamentos verticais e horizontais dos arcos principais da estrutura;
- Acompanhamento de trabalhos de manutenção que se revelem necessários.

6.2 Inspeções

São realizadas anualmente inspeções da estrutura de madeira. Estas inspeções têm um carácter sistemático, na medida em que procuram incidir sobre todos os elementos e ligações da estrutura.

A observação visual é feita a partir de todos os pontos acessíveis do Pavilhão, nomeadamente a partir do deambulatório (galeria periférica ao nível das portas exteriores), das galerias ao nível do



Figura 4 Diferentes aspectos da inspeção do Pavilhão Atlântico

topo das bancadas, das Torres Técnicas (que ladeiam o palco) e de todos os passadiços suspensos da estrutura de cobertura, aí instalados para permitir o acesso dos técnicos de iluminação e do pessoal da manutenção. Em pontos não acessíveis e onde a observação distante levantou dúvidas (por exemplo: junta colada espessa ou junta aberta?) contou-se também, em determinadas alturas, com a ajuda de alpinistas para medições e verificações complementares. Desde há alguns anos, são disponibilizadas para o efeito duas plataformas elevatórias, uma com um alcance de cerca de 10 metros na vertical, que permite o acesso a toda a parte dos arcos sobre o deambulatório periférico, outra com alcance superior a 40 metros de altura, alugada propositadamente, que possibilita a observação próxima da corda inferior dos arcos sobre a zona central da arena (Figura 4).

Embora sejam considerados todos os aspectos referidos em 5.3, a inspecção nesta fase da vida da estrutura foca sobretudo o eventual desenvolvimento de fendas ou delaminações, a falta de aperto de ligadores e eventuais entradas de água que possam ser retidas pela madeira, em particular nos encaixes das ligações, capazes de comprometer a resistência das ligações, a curto ou a longo prazo. É mantido um registo das observações, bem como da respectiva evolução e localização. Em alguns pontos da estrutura, acessíveis apenas com meios especiais, são feitas marcações datadas na própria madeira, para mais fácil identificação e seguimento.

Esta campanha de observações é realizada normalmente entre Julho e Setembro, consoante a programação de eventos para a sala, permitindo a comparação de medições em condições ambientais semelhantes. A escolha do período de Verão corresponde à fase em que eventuais fendas e delaminações são mais visíveis. Além dessa inspecção sistemática, o LNEC desloca-se ao local sempre que alguma alteração ou situação anómala requeira análise específica ou acompanhamento mais frequente.

6.3 Medição de teor em água e das condições ambientais

Numa fase inicial do acompanhamento, foram definidos oito pontos de leitura da temperatura (T) e da humidade relativa (HR) do ar (pontos 1 a 8), capazes de detectar e quantificar a influência de diferentes cotas, orientação (N-S) e incidência da luz solar. Foram usados para o efeito registadores contínuos do tipo Higrolog (Figuras 5 e 6).

Verificou-se que os registos de temperatura e humidade relativa do ar nos diferentes locais seguem um mesmo padrão, com condições médias próximas, embora apresentando maiores amplitudes diárias em zonas sob a influência directa do sol, como seria de esperar. Em alguns pontos junto aos lanternins registaram-se mesmo picos de temperatura muito elevados, situação que veio a ser posteriormente corrigida com a aplicação de palas para obscurecimento desses vãos. Observou-se ainda que as condições interiores (ver Figura 7) variam em consonância com as condições exteriores (LNEC, Av. Brasil), sendo a temperatura interior em geral superior à temperatura exterior usada como referência. Os resultados obtidos permitiram subseqüentemente reduzir o número de pontos de leitura.

Simultaneamente, foi medido o teor em água da madeira lamelada colada em diversos pontos da estrutura (pontos A a I). Em cada local de medição foram criados quatro pontos fixos de leitura correspondentes a quatro pares de agulhas de humidímetro cravadas a diferentes profundidades (1 cm, 2,5 cm, 3,5 cm e 5 cm de profundidade). As leituras do teor em água são efectuadas de dois em dois meses, acoplado às agulhas um humidímetro de resistividade. Além disso, são efectuadas outras medições, nomeadamente com humidímetro de contacto, no âmbito das inspecções de rotina.

Constatou-se inicialmente uma tendência para ajustamento do teor em água da madeira às condições do local, a que se sobrepõe uma variação cíclica anual, que se mantém. Estas variações são necessariamente pequenas, situando-se o teor em água da madeira geralmente entre 9% (no Verão, zona dos lanternins) e 13% (no Inverno, junto aos pés dos pórticos).

A utilização de agulhas de humidímetro cravadas, embora fornecendo indicações úteis, não é totalmente satisfatória, estando de momento a ser desenvolvidas soluções alternativas.

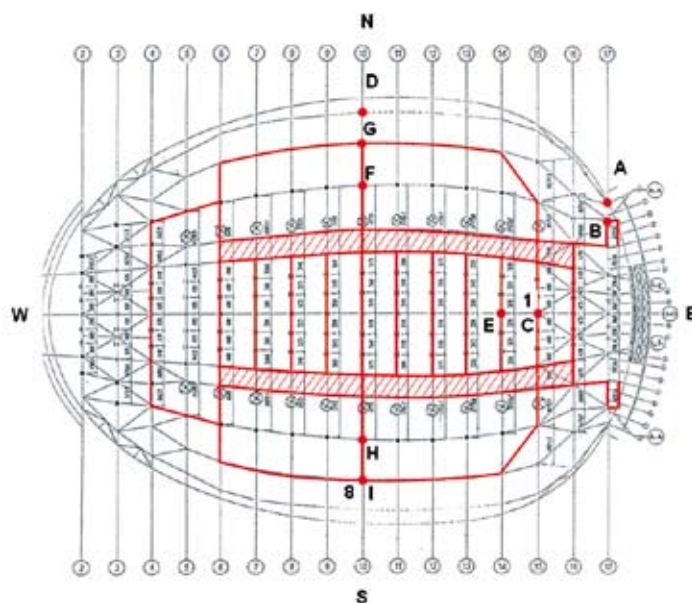


Figura 5 Localização dos pontos de medição das condições ambientais (pontos 1 a 8) e de medição do teor em água da madeira (pontos A a I)



Figura 6 Registadores e agulhas colocados nos passadiços ao nível da cobertura

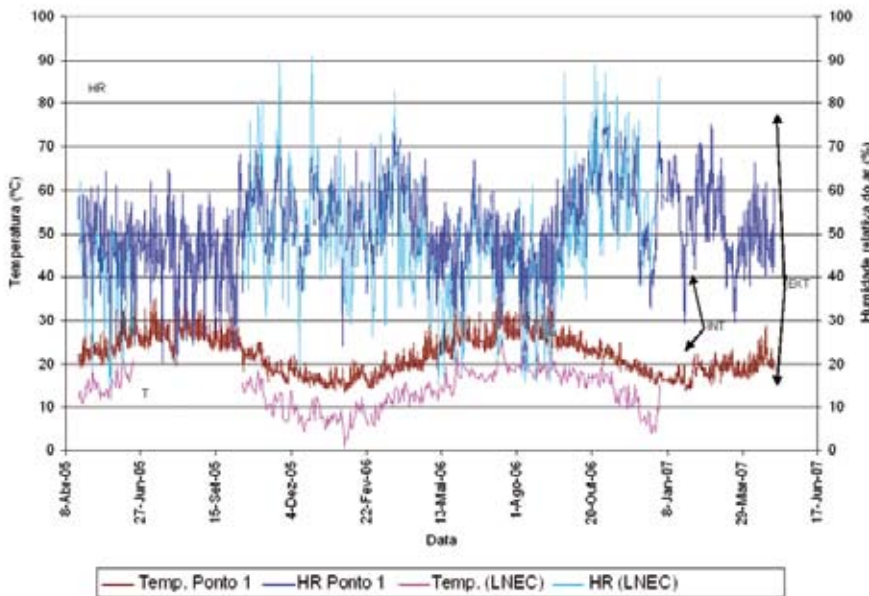


Figura 7 Registo das condições ambientais no interior do Pavilhão e no exterior

6.4 Medição de deslocamentos

A medição de deslocamentos verticais e horizontais de pontos da estrutura foi planeada e realizada pelo Núcleo de Geodesia Aplicada do LNEC. Os deslocamentos, que não são mais que variações de posições destes pontos, são determinados com base em variações de

ângulos azimutais, ângulos verticais e distâncias medidos por intermédio de teodolitos e taqueómetros.

Para o efeito foram instalados pontos objecto (materializados por alvos de pontaria retro-reflectores) em diversos arcos (4, 6, 8, 10, 11, 12 e 14), três pontos por arco, um a meio vão e os restantes na proximidade de passadiços (Figura 8). Em cada um dos pontos objecto foram colocados dois alvos de pontaria retro-reflectores planos autocolantes, orientados para os dois pontos de referência. Para pontos de referência (materializados por pilares de estacionamento com peças de centragem forçada, destinados a estacionar o equipamento atrás referido) foram escolhidos os topos das Torres Técnicas, por corresponderem a estruturas de betão de grande rigidez e separadas da estrutura de madeira, serem apenas acessíveis a pessoal técnico e não visíveis pelo público.

São realizadas duas campanhas de medição anuais, uma no Inverno e outra no Verão, sempre que possível coincidindo com a inspecção visual. As medições efectuadas até agora (Figura 9) confirmam uma forte componente cíclica do “movimento” da estrutura, situando-se os valores medidos dentro da normalidade.

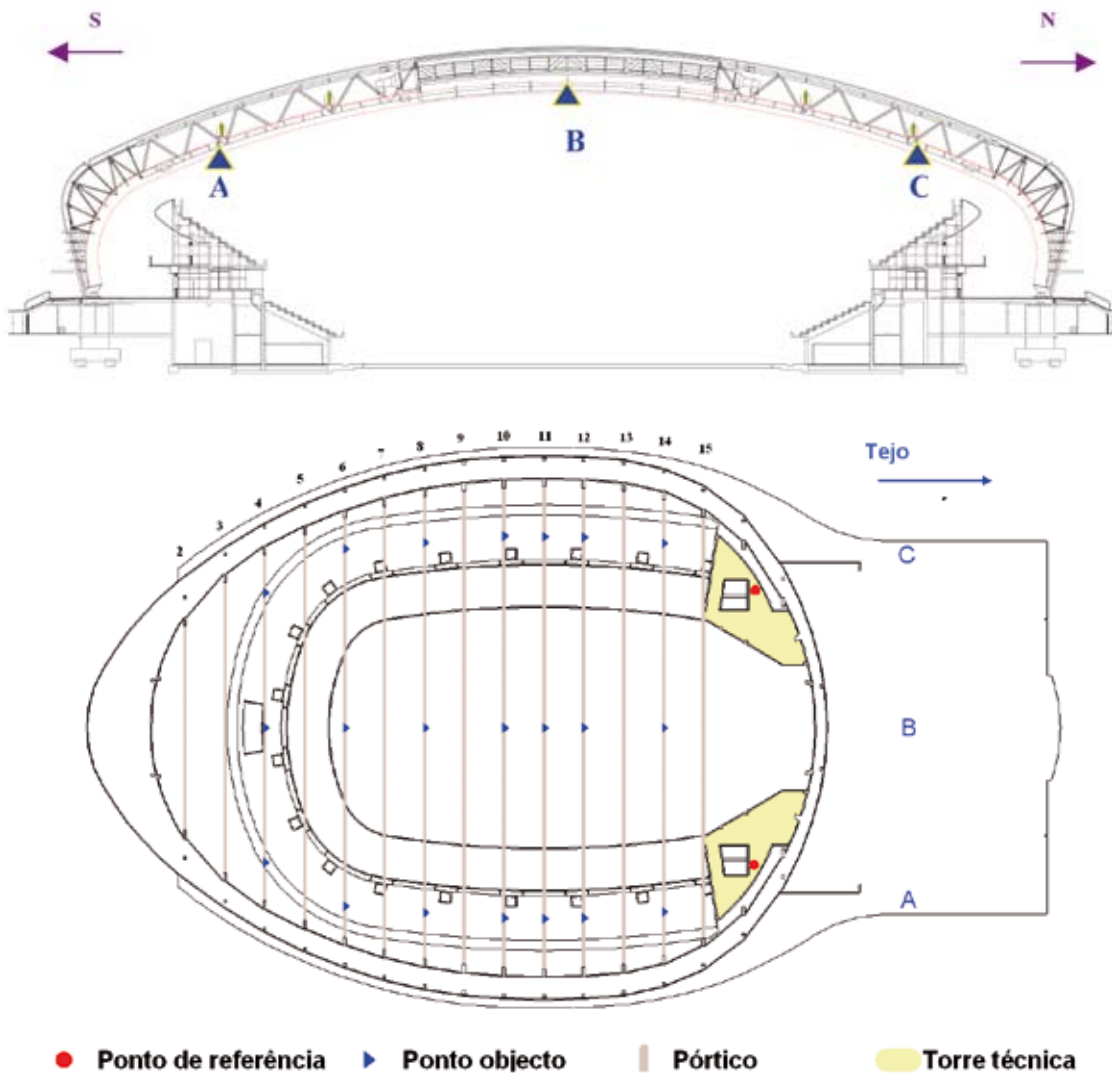


Figura 8 Localização dos pontos objecto e dos pontos de referência

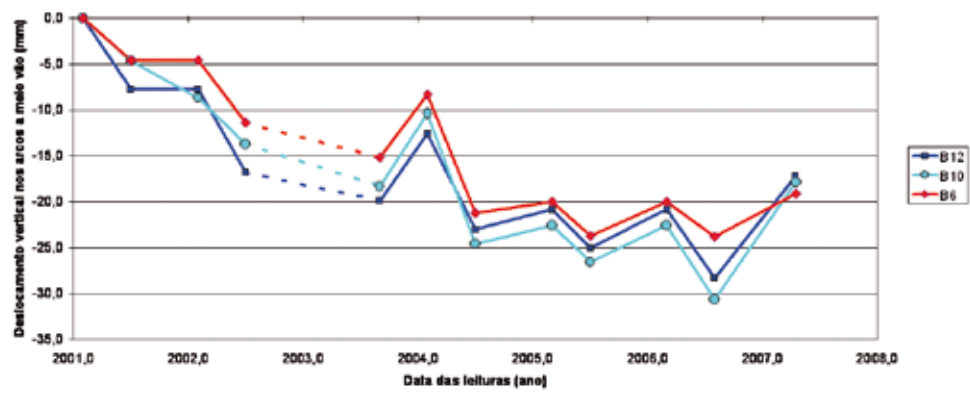


Figura 9 Evolução dos deslocamentos verticais a meio vão (B) nos arcos 6, 10 e 12

7 Conclusões

As estruturas de madeira lamelada colada possibilitam realizações extremamente interessantes em termos arquitectónicos, estéticos, de resistência ao fogo e durabilidade, sendo, no entanto, essencial conhecer os instrumentos que permitem garantir a sua qualidade. Estes incluem uma concepção estrutural e uma pormenorização cuidadas; a especificação correcta da madeira lamelada colada, particularmente no que se refere à durabilidade da madeira e da cola usadas face à identificação da Classe de Risco biológico e da Classe de Serviço correspondentes às condições de exposição; e a certificação da madeira lamelada colada como garantia de qualidade, rastreabilidade e consistência do produto. Numa outra vertente, importa estabelecer e viabilizar um plano de monitorização adequado às características da estrutura (complexidade, materiais empregues, condições de exposição, tipo de utilização, etc.) o que permitirá detectar atempadamente eventuais situações que possam comprometer a sua segurança, utilização ou durabilidade e intervir de forma apropriada.

8 Referências

- [1] EN 1995-1-1: 2004 – Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings.
- [2] EN 301 – Adhesives, phenolic and aminoplastic, for load-bearing timber structures. Classification and performance requirements.
- [3] EN 350-2 – Durability of wood and wood based products. Natural durability of solid wood. Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe.
- [4] NP EN 335-2 – Durabilidade da madeira e de produtos derivados. Definição das classes de risco de ataque biológico. Parte 2: Aplicação à madeira maciça.
- [5] EN 14080 – Timber structures. Glued laminated timber. Requirements.
- [6] NP EN 1194 – Estruturas de madeira. Madeira lamelada colada. Classes de resistência e determinação dos valores característicos.
- [7] DIN 1076 – Highway structures. Testing and inspection.
- [8] ENV 1995-1-1: 1993 – Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings.