

Sousa H.S., Branco J.M., Lourenço P.B. (2014). “Da inspeção à avaliação de segurança na reabilitação de estruturas de madeira”, Seminário: “Intervir em construções existentes de madeira”, Guimarães, Portugal, 5 Junho 2014, pp. 57-70. ISBN: 978-972-8692-86-5.

## **Da inspeção à avaliação de segurança na reabilitação de estruturas de madeira**

Hélder S. Sousa, Jorge M. Branco, Paulo B. Lourenço

*ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães*  
sousa.hms@gmail.com, jbranco@civil.uminho.pt, pbl@civil.uminho.pt

### **SUMÁRIO**

A avaliação de estruturas existentes em madeira e consequente planeamento de intervenções requer conhecimentos específicos providos de diferentes fontes e áreas técnicas, devendo estas serem complementares e aferidas por meio do uso de uma metodologia de inspeção e diagnóstico sistemática e rigorosa. Este trabalho apresenta, de forma resumida, as diferentes fases consideradas na avaliação estrutural de uma construção existente em madeira desde a fase inicial de diagnóstico e inspeção até à escolha de possíveis métodos para a avaliação de segurança, sendo estas fases fundamentais para a definição adequada do plano de intervenções a tomar posteriormente.

### **PALAVRAS-CHAVE: MADEIRA, INSPEÇÃO, DIAGNÓSTICO, AVALIAÇÃO**

#### **1. INTRODUÇÃO**

A madeira tem sido usada, como material estrutural, desde há milhares de anos, em várias construções em todo o continente Europeu. Como resultado, chegaram, até ao presente dia, inúmeras estruturas de acrescido valor histórico ou social, assim como outras de uso civil quotidiano. No entanto, algumas destas estruturas apresentam degradação ou danos que limitam as suas capacidades de uso sendo necessário proceder a diferentes tipos de análises e por vezes a consequentes intervenções.

Existem várias razões para que o nível de segurança de uma estrutura existente deva ser analisada, entre os quais se destacam:

- caso seja necessário atendendo a resultados de inspeções periódicas;
- quando o período de vida, determinado por análise anterior, chegou ao fim;
- caso sejam verificados erros no planeamento ou construção;
- se o uso da estrutura for modificado;
- quando são visualizados danos ou degradação dos elementos construtivos e/ou estruturais;
- devido ao inadequado desempenho em serviço;
- devido a situações imprevistas ou cargas acidentais que possam ter comprometido a integridade estrutural do edifício;
- caso exista dúvidas sobre a qualidade do material ou técnicas construtivas utilizadas;

- na necessidade de eliminar qualquer suspeita sobre o comportamento estrutural do edifício.

Qualquer uma destas razões poderá levar à necessidade de intervir sobre a estrutura, no entanto, antes de qualquer intervenção, deve ser feito um diagnóstico profundo e preciso das causas do desempenho inadequado da estrutura. Tal diagnóstico deve ser baseado em evidências documentais/históricas, inspeções e análises estruturais, e quando necessário complementado por medição dos parâmetros físicos e propriedades mecânicas do material e dos elementos. Apesar de, e como referido pelo ICOMOS [1], tal diagnóstico não impedir a realização de intervenções menores e de tomada de medidas preventivas ou de emergência.

Neste contexto, o conhecimento mais aprofundado do desempenho da madeira, como material de construção, e da sua durabilidade permitirá uma avaliação estrutural mais adequada e antever as possíveis medidas e ações para manter a integridade da estrutura existente. No entanto, a modelação das características e propriedades de uma estrutura de madeira poderá conduzir a procedimentos demorados e onerosos, e como tal um planeamento cuidadoso das intervenções é crucial. Neste processo de planeamento, muitas vezes os custos de inspeções adequadas e de um plano de monitorização apropriado serão incomparavelmente inferiores aos decorrentes de manutenção inadequada ou tardia, intervenções de carácter urgente e, em situações extremas, às consequências de um colapso estrutural.

Para além de antever o seu desempenho estrutural, o responsável pela avaliação da segurança de uma estrutura existente em madeira deve avaliar o seu estado presente que, por sua vez, depende dos eventos com que a estrutura se deparou no passado. Assim o responsável pela avaliação de segurança assemelha-se a um detetive [2], já que este deverá descobrir que eventos e situações levaram ao desempenho e estado de conservação presente da estrutura. Dessa forma, o processo de análise de segurança de estruturas existentes em madeira requer uma metodologia plural e multifacetada com fases distintas e diferenciadas, para as quais é necessário recolher informações e resultados de diversos especialistas e profissionais. Assim, após essa recolha de informação, é necessário compreender como a estrutura realmente funciona e não como deveria funcionar, para que a intervenção a realizar seja adequada.

No caso de reabilitação de estruturas antigas dever-se-á também ter em conta a utilização de materiais e técnicas adequadas e promover a condição de reversibilidade da intervenção ou, caso não seja tecnicamente possível, que estas não prejudiquem ou impeçam futuros trabalhos de preservação [1].

## 2. MÉTODOS DE INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO

O primeiro pressuposto que é assumido numa inspeção e diagnóstico de uma estrutura existente é que esta continuará a servir as suas funções adequadamente, em circunstâncias de carregamento e uso normais, tendo em conta que o seu desempenho no passado lhe permitiu alcançar os presentes dias. No entanto, no caso de estruturas de madeira é necessário ter em especial atenção os processos de degradação do material assim como a existência de defeitos que fortemente influenciam a variabilidade das propriedades físicas e mecânicas dos elementos. No que concerne à avaliação em obra de elementos estruturais de madeira, vários métodos têm sido estabelecidos, sendo que a sua escolha depende da informação que se pretende recolher.

Pormenores sobre alguns desses testes individuais foram resumidos no relatório de estado de arte da comissão RILEM TC 215 [3], onde é também mencionado que para a avaliação

de elementos de madeira em construções históricas devem ser seguidos os seguintes passos: i) inspeção visual; ii) identificação da espécie de madeira; iii) medição do teor em água; e iv) avaliação de propriedades mecânicas de referência. Apesar, de numa perspetiva global, todos esses testes e procedimentos terem o objetivo de promover uma melhor caracterização do material, individualmente só permitem recolher informação sobre uma determinada propriedade ou parâmetro específico. Dessa forma, é necessário considerar uma metodologia que permita, através de diferentes fases, analisar a estrutura de forma holística utilizando informação combinada de diferentes fontes, como a apresentada na Figura 1.

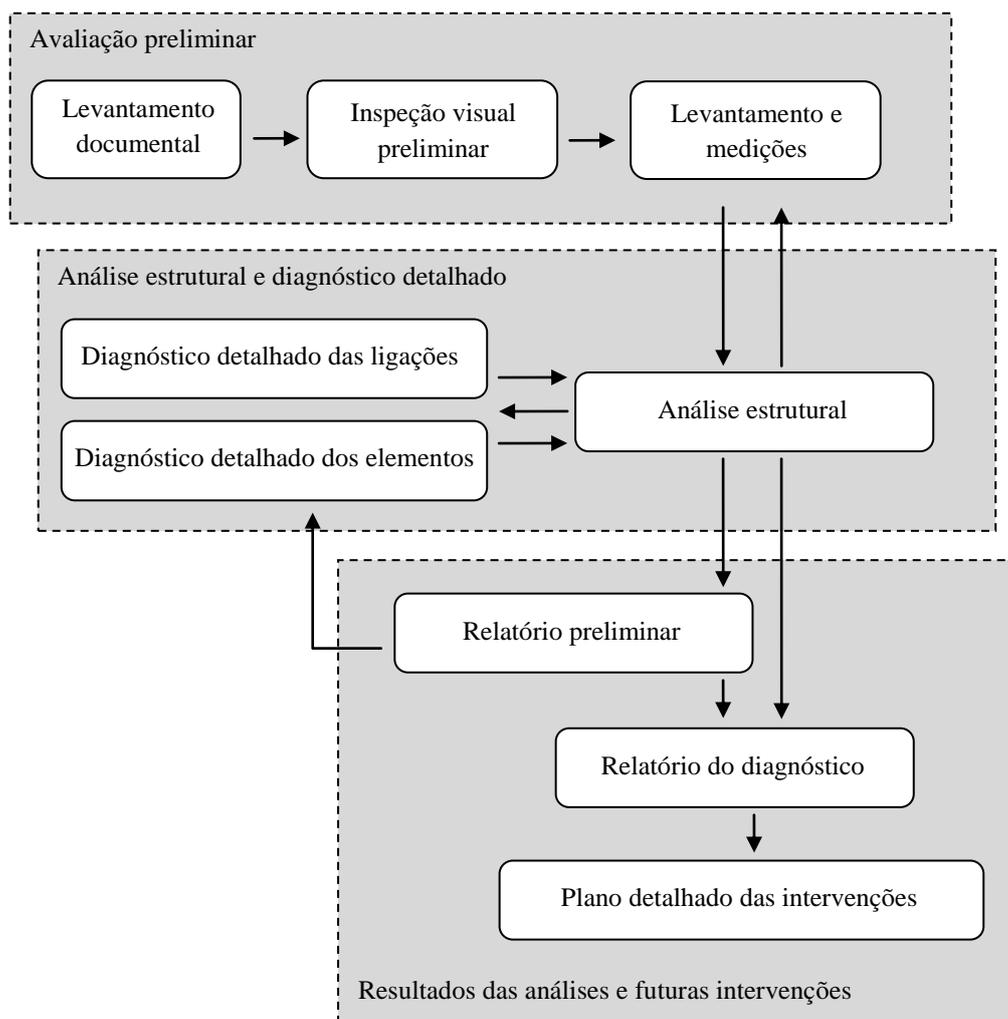


Figura 1 – Fases requeridas para a avaliação e planeamento de intervenções em estruturas históricas em madeira [4].

Inicialmente, na fase de levantamento documental, devem ser consideradas todas as informações possíveis de serem recolhidas (por exemplo através de desenhos, fotografias, arquivos históricos e testemunhos orais) para definição da história da estrutura e para o conhecimento do tipo de carregamento e intervenções a que esta esteve sujeita. Obtendo informação sobre a construção, ocupação, alterações, manutenção, reparação e tratamentos da estrutura permitirá ajudar a esclarecer o desempenho atual desta e sobre as causas de eventuais danos.

Após o levantamento documental, segue-se uma primeira inspeção visual de forma a contextualizar os principais danos visíveis e obter assim uma perspetiva global da estrutura. Assim, será possível definir já nesta fase preliminar o plano de diagnóstico e eventuais medidas preventivas de carácter urgente (Figura 2.a). Nesta fase são também determinadas as condições de trabalho necessárias, tais como acesso, iluminação, segurança e limpeza, para realização das tarefas seguintes (Figura 2.b).



Figura 2 – Medidas preliminares; (a) Colocação de elemento para suporte de uma asna; (b) Uso de andaimes para acesso próximo à estrutura de cobertura.

A fase seguinte, correspondente ao levantamento e medições, engloba as componentes de: i) medição geométrica dos elementos; ii) identificação da espécie de madeira e condições técnicas; iii) levantamento de danos e defeitos.

Na medição geométrica dos elementos é necessário realizar a caracterização das dimensões e variabilidade geométrica de cada elemento, suas respectivas seções transversais, descaio e tipo de método utilizado na serração e colocação dos elementos [5]. Por vezes é igualmente necessário complementar essa informação com desenhos de pormenores construtivos e da interação tridimensional dos elementos.

De igual modo, também é medida a presença e extensão de degradação biológica (devido a fungos ou a ataque de xilófagos), de forma visual (camada superficial do elemento) ou através de ensaios semi ou não destrutivos (análise em profundidade) sendo possível, depois, aferir sobre a seção residual (ou efetiva) sem consideração da parte degradada.

As medições devem ser feitas em intervalos regulares ao longo dos elementos, dependendo a distância entre medições da variabilidade geométrica do elemento. Posteriormente, estas medições permitirão obter as dimensões da seção transversal (aparente e efetiva), sua respetiva inércia e valores de deformações tanto devido ao carregamento atuante como a defeitos do material (secagem, corte inadequado, entre outros) (Figura 3).

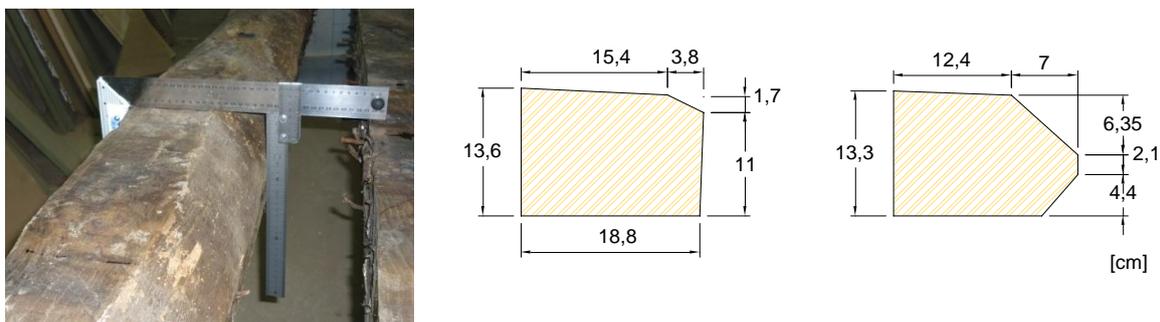


Figura 3 – Exemplo de medição de duas secções transversais afastadas de 40 cm.

A identificação da espécie de madeira dos elementos em obra é usualmente feita através da inspeção visual do aspeto do fio de madeira, anéis de crescimento, coloração e caracterização dos nós (quantidade, forma, dimensões e espaçamento entre nós), e também pelo toque, recorrendo-se assim à experiência do inspetor (Figura 4). Outras indicações sobre a espécie de madeira provêm do conhecimento das madeiras utilizadas na época de construção naquela região e para aqueles fins. Em caso de dúvida, podem ser retiradas amostras para análise microscópica e posterior comparação com bases de dados de espécies de madeira e análise dendrocronológica.



Figura 4 – Inspeção da camada superficial e anéis de crescimento para determinação da espécie de madeira.

Nesta fase, também se procede à medição do teor em água dos elementos, principalmente para zonas que apresentem sinais de humidade ou seja expectável maior valor de teor em água (zonas de apoio de elementos, imediações de aberturas ou de instalações de água, coberturas, entre outras). Medição do teor em água em outros locais e medições das condições ambientais (temperatura e humidade relativa do ar) também devem ser feitas para obtenção de valores de referência e definição de classes de serviço. Estes resultados permitirão aferir sobre o risco de iniciação ou desenvolvimento de fenómenos de degradação biológica.

O levantamento de danos e defeitos é feito com base numa inspeção visual mais criteriosa, sendo esta usualmente acompanhada por uso de ensaios não destrutivos ou recolha de pequenas amostras de madeira. Tendo em conta que usualmente a inspeção visual é considerada a fase mais importante na análise e diagnóstico de estruturas existentes em madeira [6], este tema será detalhado de seguida assim como a referência à utilização de ensaios não destrutivos mais comuns.

## 2.1. Inspeção visual

A inspeção visual é utilizada para identificação das principais características dos elementos de madeira, tais como defeitos, sinais de dano ou degradação, utilizando por vezes instrumentos tradicionais ou tecnologicamente mais avançados. Durante a inspeção visual deverão ser caracterizados os fenómenos que estão na origem de eventuais anomalias e estabelecer as relações de causa-efeito futuras.

Para esse efeito são caracterizados e inventariados, para posterior relatório: i) defeitos naturais, tais como nós, desvio do alinhamento do fio da madeira, descaio, fissuras de secagem e percentagem de cerne na secção; ii) danos induzidos, tais como deformações, fissuras ou roturas devido ao carregamento; ou iii) degradação biológica.

A inspeção visual deverá ser realizada ao nível do elemento estrutural, no entanto deverá ser também considerada a análise individualizada de segmentos críticos tendo em conta a presença de uma maior concentração de defeitos e/ou por ser uma zona de maior concentração de esforços [7]. Quando não é possível aferir visualmente os elementos de madeira, por estes se encontrarem escondidos por outros elementos, mas as condições do elemento suscitarem dúvidas, poderá ser necessário fazer aberturas ou remover parte de outros elementos para se proceder à inspeção (Figura 5).



Figura 5 – Acessibilidade a elementos escondidos através de: (a) Abertura de janelas de inspeção; (b) Remoção de elementos vizinhos.

No caso de defeitos naturais, os nós e o desvio do alinhamento do fio de madeira são os parâmetros que mais influenciam a resistência e rigidez do elemento e como tal devem ser devidamente observados e medidos (Figura 6).



Figura 6 – Inspeção e medição de defeitos; (a) Nós; (b) Fissura ao longo do fio.

Devido a imperfeições no método construtivo ou devido a diferentes situações de carregamento, as estruturas de madeira podem evidenciar danos mais ou menos significativos, desde a deformação de elementos até à rotura parcial (fissuras) ou total de um elemento (Figura 7.a). No caso de estruturas de madeira, especial atenção deve ser dada também ao estado de conservação das ligações (Figura 7.b), pois o comportamento global da estrutura é grandemente influenciado pelo seu desempenho. No entanto existem poucas referências normativas à inspeção de ligações, maioritariamente devido ao abundante número de tipologias de ligações com especificidades próprias.



Figura 7 – Danos e patologias; (a) Rotura de elemento devido à colocação de uma cavilha; (b) Deformação de uma asna com consequência na ligação entre pendural e linha.

Por fim, numa inspeção visual é verificado o estado de conservação da estrutura atendendo ao seu nível de degradação (Figura 8), sendo que esta análise é frequentemente acompanhada pelo uso de ensaios não destrutivos, tais como resistência à penetração por impacto e resistência à perfuração controlada. Atendendo aos resultados destes ensaios, deverá ser considerada uma secção transversal residual de forma a avaliar a perda de resistência nesse elemento. De realçar que quando existe degradação dos elementos, devem ser determinados os agentes de degradação e se esta é presentemente ativa.



Figura 8 – Exemplos de degradação biológica de vigas de madeira.

O resultado final da inspeção visual pode ser traduzida em mapas de danos onde são catalogados, identificados e representados os diferentes tipos de danos e patologias (Figura 9). Dessa forma é possível analisar a localização dos danos e sua concentração ao longo da estrutura e avaliar as zonas críticas desta. Essas zonas críticas serão alvo de maior detalhe na análise de segurança e posteriormente no planeamento de intervenções.

Apesar da existência de normas estabelecidas para a inspeção visual de elementos de madeira, os limites mencionados para cada defeito variam dependendo da espécie da madeira, uso do elemento e mesmo entre normas de diferentes países. No entanto, a maioria destes limites atende à morfologia do defeito tendo em conta a sua posição no elemento e a proporção com a secção transversal deste. Seguindo estas normas é possível atribuir classes de resistência aos elementos sendo que as classes superiores permitem menos defeitos e de menores dimensões.

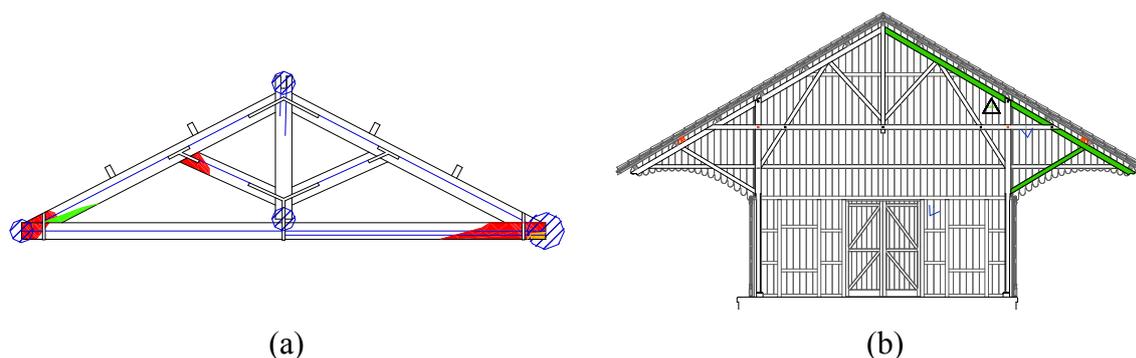


Figura 9 – Exemplos de mapas de danos; (a) Asna de cobertura [8]; (b) Alçado [9].

Em Portugal, existe um número escasso de normas que permitam aferir sobre a classificação visual de elementos de madeira em obra, sendo que por vezes é utilizada a norma NP 4305:1995 [10] destinada para avaliação de elementos de madeira serrada em pinho bravo (*Pinus pinaster*). Esta norma estabelece duas classes de qualidade, designadas como “E” (Estruturas) e “EE” (Especial para Estruturas), que corresponde globalmente às classes C18 e C35 [11]. No entanto, ainda existe escassa regulamentação para espécies de madeira de frondosas (tais como de carvalho e castanheiro) apesar de serem espécies que foram vastamente utilizadas em coberturas, pavimentos e outros sistemas construtivos ao longo do país.

## 2.2. - Ensaios não destrutivos

A inspeção visual deve ser, sempre que possível, complementada por ensaios não destrutivos de uma ou mais natureza, com o objetivo de aferir sobre determinada propriedade que poderá ser posteriormente correlacionada com a rigidez e resistência desse elemento. Independentemente da natureza do teste, este deverá ser o menos invasivo possível de forma a preservar a integridade da estrutura e aparência estética dos elementos. Devido à variabilidade, e por vezes natureza somente qualitativa, dos resultados obtidos por ensaios não destrutivos, é necessário considerar diferentes ensaios de forma a complementar as análises.

Nas últimas décadas, é notório o desenvolvimento de novos métodos e técnicas não destrutivas na avaliação do estado de conservação de elementos de madeira, substituindo ou complementado as técnicas mais tradicionais. Desses métodos, e devido ao seu uso generalizado, destacam-se: i) resistência à penetração por impacto; ii) resistência à perfuração controlada; e iii) uso de ultrassons (Figura 10).

O ensaio de resistência à penetração por impacto funciona através do impacto de uma agulha de metal acionada por uma mola de força constante. A profundidade de penetração é, em teoria, inversamente proporcional à densidade e dureza do elemento em madeira. Devido à sua natureza, este ensaio permite somente uma avaliação superficial do elemento e na sua utilização é necessário ter em conta a variabilidade natural da dureza da madeira. Este ensaio pode ser complementado com o uso ao ensaio de resistência à perfuração, sendo que este último é baseado na resistência providenciada pelo material ao avanço constante de uma broca de pequeno diâmetro. Uma das principais vantagens deste ensaio é possibilitar a deteção de fissuras, vazios ou degradação biológica (superficial e/ou interna), permitindo estimar a secção residual. No entanto, somente permite a obtenção de resultados num ponto específico da estrutura deixando também um pequeno orifício no local do teste.

Por sua vez, o ensaio de ultrassons consiste na medição da velocidade de propagação de ondas mecânicas através de um meio sólido. A partir dessa medição é possível estudar o coeficiente de atenuação do elemento em causa e relacionar esse parâmetro com outras características mecânicas, tais como densidade e rigidez, no entanto é necessário ter em atenção a forte dependência dos resultados com a direção da onda de propagação e o fio da madeira.

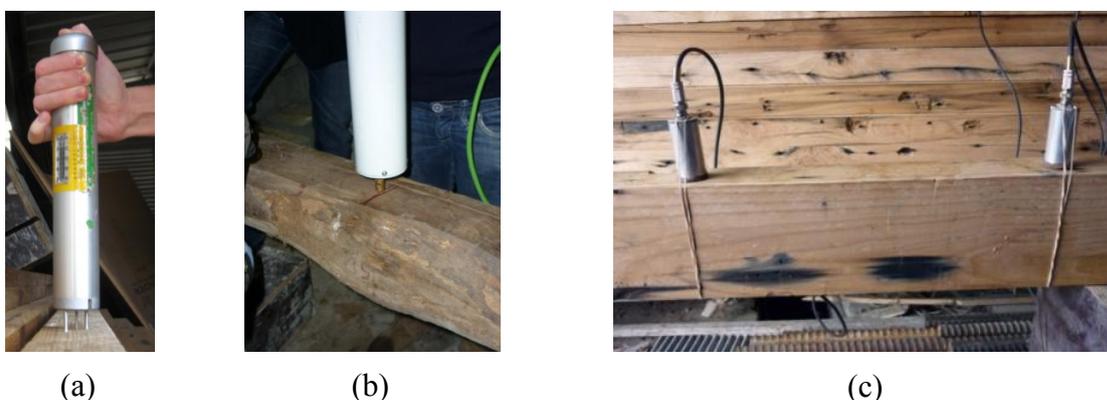


Figura 10 – Ensaio não-destrutivos; (a) Penetração por impacto; (b) Perfuração controlada; (c) Ultrassons.

### 2.3. - Ensaio mecânicos (destrutivos)

No caso de ser necessário conhecer com exatidão as propriedades de determinado elemento, poder-se-á considerar a remoção desse elemento da estrutura ou de provetes de menores dimensões para a realização de ensaios mecânicos destrutivos. Estes ensaios, realizados em laboratório, consistem na determinação da rigidez e resistência dos elementos quando sujeitos a carregamento até à rotura.

Estes ensaios permitem aferir diretamente sobre as propriedades em estudo, ao contrário dos ensaios não destrutivos que somente podem utilizar correlações empíricas para esse mesmo efeito. Mesmo assim, os resultados obtidos para um elemento poderão não ser extrapoláveis para os restantes devido à variabilidade entre elementos, sendo que estes devem portanto ser complementados com os resultados da inspeção visual previamente realizada.

## 3. MÉTODOS DE ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA

Após a definição pormenorizada das ligações e dos elementos de madeira, e tendo em conta o seu estado de conservação e desempenho analisados nas fases prévias de inspeção, é possível iniciar uma análise e avaliação de segurança da estrutura. Independentemente do método considerado para análise, quanto mais plausível for a estimativa das propriedades mecânicas da madeira melhor e mais precisos serão os resultados desta, e consequentemente mais substanciada será o planeamento de intervenções.

No entanto, mesmo após uma primeira fase detalhada, existirá inevitavelmente algumas incertezas na descrição do material que irá afetar a precisão de qualquer processo analítico. Tais incertezas provêm do facto que algumas propriedades poderão ser impossíveis de

obter para o caso de estruturas existentes ou o próprio esquema de carregamento poderá ter-se, inesperadamente, alterado desde a fase inicial de construção da estrutura [12].

Para mitigar essas incertezas, o responsável pela determinação do nível de segurança poderá servir-se de uma análise qualitativa, que irá ter em conta o desempenho de estruturas semelhantes, e aplicá-la no contexto da estrutura em estudo. Isso requer que a história da estrutura e as consequências de eventos passados sejam devidamente conhecidos para determinação precisa das condições atuais da estrutura. No entanto, este método é baseado na experiência do inspetor e poderá não ter em conta eventos não expectáveis que acontecem devido aos danos, defeitos ou degradação da estrutura em estudo. Assim os métodos qualitativos não são um método globalmente aceite, mas no entanto são um importante contributo quando servem de complemento a análises quantitativas.

Independentemente do método escolhido para obtenção do possível estado de tensão a que a estrutura está sujeita (tais como modelação numérica, modelação por elementos finitos ou por simulação), a análise qualitativa ou quantitativa do estado de segurança da estrutura existente em madeira é usualmente levado ao nível da unidade estrutural, ou seja ao nível do elemento de madeira ou da ligação.

De seguida apresentam-se diferentes métodos para a análise e avaliação de segurança de estruturas de madeira.

### 3.1. Métodos semi-determinísticos, caso do Eurocódigo 5

Os métodos correntes para avaliação estrutural são baseados no princípio de utilização de coeficientes parciais de segurança, onde o nível de segurança é obtido deterministicamente pois resulta da consideração de valores fixos (determinísticos) de ações e de resistência (valores médios ou característicos). Neste âmbito, os valores de resistência e ações são considerados de forma conservativa, de modo que a resistência seja considerada suficientemente baixa e as ações suficientemente altas para que se garanta um nível adequado de segurança.

Na Europa, o Eurocódigo 5 [13] descreve diversos procedimentos baseados no conceito de estados limites (tanto últimos como de serviço) e no uso de coeficientes parciais de segurança, para o dimensionamento de estruturas de madeira.

A incerteza nas propriedades do material é considerada através do uso de valores característicos (usualmente o percentil de 5%) e pela aplicação de um coeficiente de segurança para o material,  $\gamma_M$ . Este coeficiente toma em consideração as incertezas do modelo, variações dimensionais e a possibilidade de uma variação desfavorável em relação ao valor característico.

No Eurocódigo 5, o valor de dimensionamento para uma propriedade resistente da madeira deverá também ter em consideração o efeito do teor em água e da duração da carga através do uso de diferentes coeficientes parciais de segurança, como evidenciado na Equação (1):

$$X_d = \frac{k_1}{\gamma_M} \cdot X_k \cdot k_h \quad (1)$$

onde  $X_d$  é o valor de dimensionamento de uma propriedade material,  $k_1$  é o coeficiente parcial de segurança que considera o efeito da duração de carga e do teor em água que assume os valores de  $k_1 = k_{mod}$  para propriedades de resistência ou  $k_1 = 1/(1 + k_{def})$  para propriedades de rigidez,  $\gamma_M$  é coeficiente de segurança do material,  $X_k$  é o valor de característico ou médio da propriedade material e  $k_h$  o factor de escala.

Apesar da sua simplicidade de uso, o Eurocódigo 5 poderá levar a considerações inadequadas quando usado na análise de estruturas existentes, pois estas podem ter sido dimensionadas através de metodologias diferentes. No caso de estruturas históricas é mesmo desaconselhado utilizar tais regulamentos se não for tomado em conta as especificidades da estrutura, do seu projeto inicial e estado atual de conservação. Assim, no caso de elementos de madeira em obra, poder-se-á ter em conta um coeficiente de segurança  $k_{con}$  para atender ao efeito de degradação biológica e um coeficiente de segurança  $k_a$  para atender ao efeito à degradação física e mecânica do material devido ao seu tempo em serviço [14], tal como apresentado na Equação (2).

$$X_d = \frac{k_1}{\gamma_M} \cdot X_k \cdot k_h \cdot k_{con} \cdot k_a \quad (2)$$

Nesse âmbito e com um procedimento análogo ao Eurocódigo 5, em [14] é combinada a avaliação das propriedades mecânicas da madeira com fatores de modificação (Figura 11).

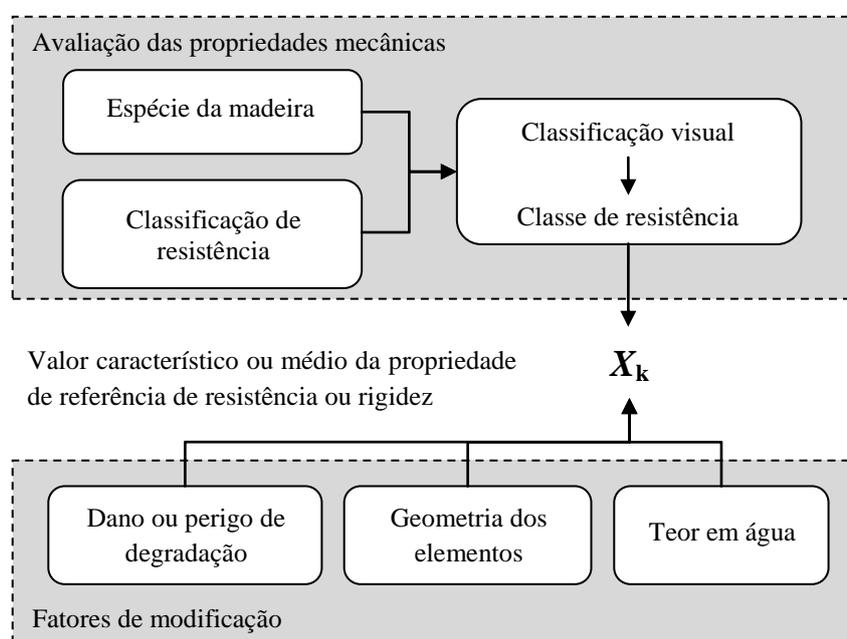


Figura 11 – Fatores correntes para a definição de propriedades mecânicas de elementos de madeira em obra [14].

### 3.2. Métodos probabilísticos de fiabilidade, o caso do Probabilistic Model Code

Nas últimas décadas, é visível um interesse acrescido na análise de fiabilidade estrutural tendo em conta a possibilidade que estes métodos têm de atender e comportar diferentes níveis de incerteza nos modelos [15]. O conceito básico de fiabilidade prende-se com a avaliação da probabilidade de um determinado estado limite não ser cumprido, em função das distribuições de resistência e de ações.

Para o caso de estruturas de madeira, o JCSS (Joint Committee for Structural Safety) concebeu um documento para a avaliação e dimensionamento probabilístico de elementos de madeira, designado por Probabilistic Model Code [16]. Nesse documento são propostas as distribuições de probabilidade e correlações entre propriedades mecânicas para a análise

de elementos de madeira. Informação sobre as propriedades mecânicas em termos de valor são requeridas explicitamente para as propriedades de referência (módulo de elasticidade à flexão, resistência à flexão e densidade), sendo que as restantes são obtidas implicitamente através de correlações empíricas.

A utilização desta metodologia depende, portanto, do conhecimento destas propriedades de referência, e assim é verificada a importância da fase inicial de inspeção para a análise de estruturas existentes. Os modelos dados por este código são meramente genéricos e como tal podem, e devem, ser atualizados atendendo às informações recolhidas previamente, tais como através de inspeção visual ou de ensaios em amostras de pequenas dimensões [17].

#### **4. DIFICULDADES**

O processo de inspeção, diagnóstico e avaliação da segurança de estruturas existentes em madeira é um processo multidisciplinar que, por incontáveis situações, encontra diversas dificuldades. Uma delas depreende-se com o uso de códigos e regulamentos atuais para tentar avaliar estruturas que foram construídas muito antes de estes existirem. Por outro lado, existe ainda uma considerável falta de formação relativamente à reabilitação de estruturas em madeira e às técnicas de construção neste material, sendo também difícil atualmente encontrar em Portugal mão-de-obra especializada para este fim.

Outra situação perante uma obra de reabilitação de uma estrutura de madeira, e porventura aquela que maiores dificuldades apresenta, é a correta atribuição de valores de resistência aos elementos, assim como a definição do seu estado de conservação/degradação.

De mencionar também que por vezes o sistema de carregamento poderá não ser óbvio ou intuitivo numa primeira análise, e alterações durante a vida útil da estrutura poderão fortemente influenciar o desempenho atual da estrutura.

Da metodologia de inspeção e diagnóstico de estruturas em madeira, apresentada anteriormente, deve ser salientado que embora as técnicas tradicionais referidas (inspeção visual e ensaios não destrutivos) puderem ser utilizadas facilmente por pessoal menos especializado, a caracterização da estrutura e de zonas críticas, compreensão do funcionamento estrutural e planeamento das intervenções a efetuar só serão possíveis através da análise de pessoal técnico especializado.

Na fase de verificação de segurança, é comum verificarem-se dificuldades e erros na modelação dos elementos e da interação destes, como por exemplo admitir que as ligações funcionem de uma forma quando estas, devido à sua tipologia e configuração, não permitem transmitir determinados esforços. Assim, por muitas vezes, a dificuldade reside em modelar a estrutura tendo em conta o observado em obra, e não assumindo indiscriminadamente premissas baseadas em códigos ou normas.

#### **5. CONCLUSÕES**

Este trabalho apresentou uma metodologia de inspeção e diagnóstico de estruturas existentes em madeira, salientado a importância de diferentes fases de análise. Especial atenção foi dado à fase de diagnóstico por inspeção visual e ensaios não destrutivos, por se tratarem de prática corrente, apesar de por vezes os seus fundamentos serem mal interpretados e empregues erroneamente.

A partir dos resultados de cada uma das fases de análise foi referido como aferir o nível de segurança da estrutura, através de diferentes métodos de avaliação.

Por fim, foram enumeradas algumas das dificuldades usualmente sentidas no processo de avaliação de segurança de uma estrutura existente de madeira, que deverão ser mitigadas

através do uso de processos metódicos, como o mencionado neste trabalho, de forma a diminuir a possibilidade de intervenções com baixa eficiência ou durabilidade.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] ICOMOS, Principles for the preservation of historic timber structures. *International Council on Monuments and Sites*, Outubro 1999.
- [2] Yeomans D., The Engineer as Detective. *The Mortise and Tenon*, n.º 27, pp. 8-11, 2007.
- [3] Kasal B., Tannert T., In situ assessment of structural timber. *RILEM state of the art reports*, n.º 7, 2010.
- [4] Cruz H., Yeomans D., Tsakanika E., Macchioni N., Jorissen A., Touza M., Mannucci M., Lourenço, P.B., Guidelines for the on-site assessment of historic timber structures. *International Journal of Architectural Heritage*, doi.org/10.1080/15583058.2013.774070, 2013.
- [5] Lourenço P.B., Sousa H.S., Brites R.D., Neves, L.C., In situ measured cross section geometry of old timber structures and its influence on structural safety. *Materials and Structures*, n.º 46, pp. 1193-1208, 2013.
- [6] Kasal B., In Situ Assessment of Structural Timber: State-of-the-Art, Challenges and Future Directions. *Advanced Materials Research*, n.º 133, pp 43-52, 2010.
- [7] UNI 11119, Cultural Heritage - Wooden artifacts - Load-bearing structures - On site inspections for the diagnosis of timber members. *UNI, Milão*, 2004.
- [8] Medeiros P. Sousa H.S., Lourenço P.B., Ferreira F., Plano de reconhecimento e inspeção do futuro Centro Interpretativo do Tapete de Arraiolos - Arraiolos. *Relatório 10-DEC/E-17*, Universidade do Minho, 95 pp., 2010.
- [9] Branco J.M., Sousa H.S., Silva C.V., Inspeção e diagnóstico estrutural do armazém da estação de Foz Tua. *Relatório 11-DEC/E-28*, Universidade do Minho, 58 pp., 2011.
- [10] NP 4305, Madeira serrada de Pinheiro Bravo para estruturas. Classificação visual. *Instituto Português da Qualidade*, 1995.
- [11] EN 338, Structural timber – strength classes. *European Standard, CEN*, Bruxelas, 2009.
- [12] Yeomans D., Saving Structures. *Journal of Architectural Conservation*, n.º 10(3), pp. 59-72, 2004.
- [13] EN 1995-1-1, Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings. *European Standard, CEN, Brussels*, Novembro 2004.
- [14] Machado J.S., Lourenço P.B., Palma P., Assessment of the structural properties of timber members in situ: a probabilistic approach, *SHATIS'11 - International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures*, 16-17/06/2011, Lisboa, Portugal, 2011.
- [15] Brites R.D., Neves L.C., Machado J.S., Lourenço P.B., Sousa H.S., Reliability analysis of a timber truss system subjected to decay. *Engineering Structures*, n.º 46, pp. 184-192, 2013.
- [16] JCSS, JCSS Probabilistic Model Code, Part 3: Resistance models - 3.5 Properties of Timber. *Probabilistic Model Code, Joint Committee on Structural Safety*, Internet Publication: www.jcss.ethz.ch.
- [17] Sousa H.S., Branco J.M., Lourenço P.B. Prediction of global bending stiffness of timber beams by local sampling data and visual inspection, *European Journal of Wood and Wood Products*, doi.org/10.1007/s00107-014-0800-1, 2014.

