

INSPECÇÃO, AVALIAÇÃO E CONSERVAÇÃO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA



HELENA CRUZ

PhD, Investigadora Principal
Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Lisboa – Portugal

SUMÁRIO

A avaliação de estruturas de madeira em serviço requer conhecimentos específicos e experiência, suscitando muitas vezes dificuldades aos agentes envolvidos na reabilitação de edifícios. Esta comunicação apresenta uma metodologia para inspecção, avaliação e quantificação da segurança de estruturas de madeira em serviço e refere alguns princípios que devem reger as intervenções de conservação subsequentes.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação de estruturas de madeira em serviço requer conhecimentos específicos e experiência, suscitando muitas vezes dificuldades aos agentes envolvidos na reabilitação de edifícios. Por um lado, os engenheiros e arquitectos envolvidos na reabilitação debatem-se geralmente com falta de formação relativamente à madeira e às técnicas de construção tradicionais, que lhes permitam interpretar as estruturas e estimar os efeitos de eventuais anomalias que estas apresentem. Por outro lado, não existem actualmente em Portugal carpinteiros profissionais experientes, como era prática entre nós antigamente e é corrente ainda hoje em muitos países europeus.

Estas limitações acabam muitas vezes por permitir intervenções de reabilitação em que a recuperação das estruturas de madeira não recebe, infelizmente, a mesma atenção nem é detalhada ao mesmo nível que outras partes da construção, mas entregue ao critério e capacidades do empreiteiro, ou sub-empreiteiro, sem a correcta avaliação do existente, a especificação cuidada de materiais e tratamentos e a pormenorização das ligações.

As dificuldades acabam assim por se traduzir frequentemente numa baixa eficiência ou durabilidade das intervenções, mas também por motivar frequentemente a demolição de estruturas que poderiam com vantagem ser mantidas em serviço, ainda que requerendo algum tipo de intervenção.

2. INSPECÇÃO PRELIMINAR E DELINEAMENTO DAS INTERVENÇÕES

2.1 Aspectos gerais

A madeira é um material com uma grande variabilidade natural (entre espécies diferentes e mesmo dentro de uma mesma espécie), fortemente anisotrópica, higroscópica e susceptível de degradação por agentes biológicos [1]. Tem sido aplicada na construção numa grande variedade de situações, nem sempre com os cuidados adequados de construção e de manutenção, sendo frequentemente os elementos de madeira os primeiros a denunciar deficiências de estanquidade da envolvente e consequentes problemas de humidade excessiva na construção, que têm de ser resolvidos.

Por maioria de razão, comparativamente a outros materiais, é fundamental prever a realização de campanhas de inspecção periódicas para avaliar o estado de conservação da madeira aplicada em edifícios, com função estrutural ou não estrutural, e levar a cabo prontamente as acções de manutenção necessárias.

Quando uma estrutura de madeira se encontra aparentemente em bom estado (Fig.1), sem indícios de problemas estruturais e sem degradação significativa, e não se prevê a alteração das condições de exploração (ambiente e cargas), é legítimo realizar eventuais acertos ou reparações pontuais – “substituindo igual por igual” – sem necessidade de grandes verificações estruturais.



Figura 1: Estrutura em razoável estado de conservação.

Pelo contrário, caso haja indícios de deficiências estruturais ou esteja prevista a alteração das condições de apoio ou de carregamento, ou quando em presença de degradação extensa da madeira que obrigue a uma intervenção profunda, é fundamental proceder a uma avaliação criteriosa das condições de segurança (Fig.2).



Figura 2: Alteração do sistema estrutural devido a remoção de paredes no piso inferior.

2.2 Inspeção preliminar

A inspeção preliminar deverá permitir tomar decisões quanto à eventual necessidade de medidas de emergência (por exemplo evacuar um edifício, restringir o acesso a determinadas zonas e/ou escorar as estruturas). Permitirá também avaliar a necessidade e a viabilidade de realizar uma inspeção mais detalhada, delinear a estratégia e definir os meios necessários para a avaliação subsequente.

As estruturas de madeira podem constituir uma parte significativa da construção, sendo sobretudo empregues em coberturas e pavimentos, mas também no interior de paredes estruturais ou de compartimentação, sucedendo que muitas vezes estão ocultas por revestimentos de madeira, argamassa ou estuque.

Numa inspeção preliminar [2] devem ser procurados indícios de má conservação dos elementos de madeira, mesmo que ocultos, frequentemente traduzidos por vibrações ou deformações acentuadas (salientadas por exemplo por fendas nos estuques que os revestem), ou sintomas diversos associados a humedificação frequente ou continuada dos materiais da construção (por exemplo manchas de humidade ou cheiro a mofo). Estas situações, bem como outras potencialmente perigosas, como por exemplo madeira na proximidade de redes antigas de água ou esgotos, caves mal ventiladas, paredes húmidas, beirados ou outros pontos singulares da cobertura, devem seguidamente ser investigadas, mediante a realização de prospecções e, sempre que possível, do acesso directo aos elementos de madeira.

Quando detectados problemas de degradação numa parte da estrutura, deve procurar-se apreciar sumariamente o estado de conservação do resto do edifício, já que muitas vezes os problemas estão interligados e podem encontrar-se disseminados.

Convém não esquecer que, embora o ataque biológico esteja na origem da maioria das situações de deterioração e frequente rotura dos elementos de madeira aplicados em edifícios, os problemas estruturais requerem igualmente análise e medidas correctivas adequadas.

Importa ter em conta que as estruturas antigas, incluindo aquelas a que atribuímos valor histórico, podem apresentar deficiências estruturais, seja devido a erros de projecto e/ou de execução, seja em consequência de solicitações excepcionais a que tenham estado sujeitas (sismo ou incêndio), ou ainda em resultado de intervenções anteriores (Fig. 3).



Figura 3: Elemento principal da asna cortado.

3. INSPECÇÃO DETALHADA PARA AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA

3.1 Princípios gerais

A verificação da segurança implica, antes de mais, a compreensão do funcionamento da estrutura para poder julgar a importância das eventuais anomalias presentes, bem como para identificar os elementos críticos ou as secções críticas da estrutura, cuja qualidade e estado de conservação deverão ser alvo de atenção especial.

É necessário criar condições de acesso à estrutura em segurança e prever iluminação adequada, pelo menos no que se refere às zonas críticas da estrutura. Devem ser removidos, sempre que possível, materiais e revestimentos que dificultem a observação da estrutura.

Além da inspecção global do edifício, deve reunir-se a informação disponível sobre a sua história, incluindo aspectos relacionados com a construção, a ocupação, alterações realizadas, acções de manutenção, reparações e tratamentos. Esse conhecimento ajudará a esclarecer eventuais incoerências e alertar para possíveis situações transitórias que possam ter introduzido danos na estrutura.

Aspectos particulares, como sejam o eventual interesse histórico do edifício ou parte dele poderão impor restrições ao trabalho de prospecção e à subsequente intervenção a realizar, devendo naturalmente ser consideradas caso a caso.

3.2 Objectivos específicos

A avaliação das condições de segurança de uma estrutura implica normalmente [2]:

- compreender genericamente o sistema estrutural original;
- identificar e julgar os efeitos de eventuais alterações intencionais ou acidentais à estrutura original;
- compreender o modo de funcionamento das ligações e avaliar as implicações de eventuais erros de execução ou degradação dos materiais no seu desempenho;
- reconhecer eventuais agentes de degradação, designadamente biológicos, e a sua gravidade;
- assumir valores plausíveis para as propriedades mecânicas da madeira e para as secções úteis dos elementos, representativas da generalidade dos elementos;
- julgar a importância de casos pontuais de elementos com pior qualidade ou maior nível de degradação do que as que são assumidas para a generalidade da estrutura.

Isto permitirá não penalizar toda a estrutura em função de problemas locais bem individualizados, que poderão ter uma intervenção específica; ou verificar se, para os elementos críticos, pode ser assumida uma qualidade, e consequentemente uma resistência, superiores à da generalidade dos elementos, o que por vezes acontece em resultado de ter havido durante a construção uma selecção criteriosa da madeira, tendo em conta a função de cada elemento.

Reconhece-se que as maiores dificuldades residem precisamente na atribuição de valores de resistência à madeira e na quantificação dos efeitos da eventual degradação biológica, aspectos discutidos seguidamente.

A inspecção detalhada permitirá estabelecer com rigor as eventuais necessidades de substituição, reparações, reorganização ou reforço estrutural.

Um aspecto que importa não esquecer é que numa situação de degradação biológica em curso, a avaliação da segurança se reporta especificamente ao instante de tempo em que foi feita. Na ausência de medidas de tratamento, passivas ou activas, capazes de sustentar o processo de degradação, deve ser tida em conta a natural evolução desse processo e a deterioração da estrutura a médio e longo prazo, para além do que foi observado.

4. ALGUNS DEFEITOS ESTRUTURAIS COMUNS

4.1 Em coberturas

- geometria inadequada;
- excentricidade nos apoios;
- madres posicionadas longe dos nós das asnas;

- falta de contraventamento das asnas;
- remoção de elementos no âmbito de intervenções anteriores.

4.2 Em pavimentos

- apoio insuficiente das vigas;
- tarugamento em falta ou ineficaz;
- remoção de paredes de apoio do pavimento;
- introdução de paredes de compartimentação sobre o pavimento (Fig.4).

4.3 Em ligações

- geometria incorrecta (Fig.5);
- corrosão acentuada ou rotura de elementos metálicos de ligação;
- ligações frouxas;
- esmagamento ou fendas da madeira na zona afectada pelos ligadores;
- chapas metálicas ou parafusos em falta;
- insuficiente espaçamento e/ou afastamentos dos ligadores aos topos e bordos do elemento de madeira;
- anilhas demasiado pequenas;
- afastamento entre elementos que deveriam estar em contacto;
- contacto entre elementos que deveriam estar afastados.



Figura 4: Parede acrescentada sobre o pavimento.



Figura 5: Geometria da ligação incorrecta.

5. ATRIBUIÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS À MADEIRA

5.1 Amostragem

A recolha de amostras de madeira da estrutura, embora seja útil para verificar a espécie florestal empregue, confirmar se a densidade da madeira se situa dentro dos valores de

referência para essa espécie, ou identificar o(s) agente(s) de degradação presentes, não permite por si só obter valores de resistência mecânica adequados para a verificação da segurança. Contudo, a densidade da madeira poderá ser usada em conjunto com alguns métodos de avaliação não destrutivos, que apresentem boa correlação com a resistência da madeira.

Com efeito, face à sua grande variabilidade natural [3], a determinação de valores característicos das propriedades mecânicas de uma madeira com base em ensaios requer o ensaio de várias amostras, com pelo menos quarenta peças cada, em dimensão estrutural e incluindo os defeitos típicos de determinada classe de qualidade. Não quer isto dizer que se recomenda a obtenção de tamanho número de amostras de estruturas em serviço, mas salientar apenas a reduzida utilidade, por si só, do ensaio mecânico de provetes colhidos em obra, necessariamente limitados em número e em representatividade.

Além disso, a amostragem de provetes “limpos” (ou seja, sem defeitos apreciáveis) – em geral, a única viável nestas situações – ignora por completo a influência determinante, na resistência, da qualidade dos elementos aplicados, entendida como os defeitos presentes (nós, fio inclinado, fendas) ou da eventual degradação biológica, a qual pode variar consideravelmente de ponto para ponto da estrutura.

5.2 Classificação da madeira

As propriedades mecânicas da madeira podem ser estimadas através da identificação da espécie florestal empregue e da avaliação da qualidade dos elementos (avaliação visual dos defeitos), tendo em vista a sua inclusão numa das classes de qualidade para utilização estrutural aplicáveis a essa espécie.

Tendo sido feita uma análise preliminar da estrutura que permita identificar as respectivas zonas críticas, bem como estimar o tipo e a magnitude dos esforços presentes em cada barra, a classificação deverá incidir essencialmente sobre essas zonas, o que agiliza o processo.

Embora as várias normas de classificação visual existentes tenham sido estabelecidas a pensar na classificação de madeira nova em serrações e imponham limites máximos para um grande número de defeitos [4], é reconhecido que defeitos como descaio e empenhos são limitados unicamente por complicarem a fixação das peças e não por reduzirem significativamente a resistência dos elementos de madeira. Por essa razão, a classificação visual de elementos em serviço pode ser feita aplicando unicamente os critérios estabelecidos nessas normas em relação a nós, medula, fio inclinado e densidade. Em relação às fendas, não faz sentido aplicar estritamente os critérios definidos nas normas de classificação de madeira nova, devendo a sua importância ser julgada caso a caso, em função da respectiva dimensão, localização dentro da peça, tipo de esforço(s) a que a peça está sujeita e eventual associação com outros defeitos.

Para efectuar a verificação da segurança da estrutura pode assumir-se para todos os elementos a classe de qualidade dos elementos piores. Em alternativa, pode ser assumida, para efeitos da verificação estrutural, a qualidade média da madeira aplicada na estrutura, seguida de uma verificação mais fina para os elementos de pior qualidade, tendo em conta a sua importância na estrutura e o nível de tensões aí instaladas.

5.3 Ensaaios de carga

Os ensaios de carga realizados sobre a estrutura ou partes dela podem fornecer informação relevante, embora sejam geralmente demorados e dispendiosos. São também mais complexos de realizar no caso de coberturas do que de pavimentos e pressupõem que a estrutura tem condições de segurança suficientes para suportar o ensaio de carga sem colocar em risco pessoas e equipamento.

No caso mais corrente, a flecha resultante da aplicação de cargas, tidas como estáticas, é comparada com a flecha prevista pela aplicação de modelos estruturais, o que permite calibrar as propriedades mecânicas adoptadas para os elementos e o comportamento das ligações estruturais. Os valores assim estimados para a densidade e o módulo de elasticidade da madeira permitem derivar valores para a resistência mecânica, com base em correlações conhecidas.

No caso de ensaios dinâmicos, as frequências de vibração da estrutura resultantes da aplicação de uma acção dinâmica são função da geometria, condições de apoio e propriedades dos materiais, especialmente o módulo de elasticidade. Este valor é subsequentemente usado para derivar as restantes propriedades.

5.4 Outros métodos não destrutivos

A utilização de equipamentos baseados em técnicas não destrutivas (TND) não tradicionais, para estimar a resistência de elementos de madeira é uma prática corrente em muitos países europeus e da América do norte. Embora decorram estudos sobre diversas técnicas para a avaliação de elementos de madeira *in situ*, apenas algumas delas e correspondentes equipamentos têm sido empregues. Destacam-se para este efeito os equipamentos baseados em técnicas de medição da velocidade de propagação de ondas de choque.

A medição da velocidade de propagação ao longo das fibras da madeira e da sua massa volúmica permitem estimar o módulo de elasticidade dinâmico da madeira [5, 6]. É também possível obter um perfil de variação longitudinal, detectando deste modo zonas degradadas ou apresentando defeitos (fendas) no interior dos elementos. Embora grande parte das metodologias existentes recorra à propagação ao longo das fibras, no caso de elementos *in situ* geralmente os topos não estão acessíveis, limitando portanto a utilização desta técnica. Outra limitação é a forte dependência dos resultados da direcção de propagação da onda (longitudinal, radial ou tangencial).

Uma limitação assinalável comum a todos estes equipamentos é a necessidade da sua calibração, atendendo nomeadamente: à espécie de madeira; ao teor de água; à massa volúmica e à direcção de condução da análise (longitudinal, radial ou tangencial).

Embora auxiliares preciosos para uma definição mais rigorosa da resistência residual dos elementos de madeira, a utilização eficaz destes equipamentos resulta da sua interacção com as TND tradicionais, não fazendo sentido a sua utilização independente. A inspecção de estruturas de madeira unicamente com recurso a TND não tradicionais, torna muitas vezes inevitável que o responsável pela decisão final se veja confrontado com um número insuficiente de dados ou, pelo contrário, com um manancial de informação que não consegue interpretar correctamente.

A caracterização inicial do estado da estrutura e consequente planeamento do tipo de técnica a empregar, frequência e localização das inspecções, bem como a interpretação do significado das medições efectuadas serão necessariamente realizadas por pessoal técnico especializado, apoiado numa primeira observação com emprego de TND tradicionais.

6. DEGRADAÇÃO BIOLÓGICA E SECÇÃO TRANSVERSAL ÚTIL

Os efeitos da eventual degradação biológica da madeira na resistência e na rigidez dos elementos e das ligações devem ser devidamente considerados. As técnicas não destrutivas podem aqui ter uma acção importante, quer na detecção do ataque quer na percepção da extensão e profundidade da zona deteriorada [5].

A utilização de uma lâmina metálica é eficaz para detectar perdas de massa junto à superfície, expor a madeira atacada e fazer a identificação do agente de degradação, permitindo ainda estimar a profundidade da zona afectada. A manipulação de um martelo pode também ser útil, por exemplo, na detecção de vazios, ligados à ocorrência de degradação biológica no interior da madeira. Estas técnicas não destrutivas tradicionais estão ao alcance de todos, mas requerem conhecimento e prática.

A utilização do equipamento Resistograph® [7], baseado na medição da resistência da madeira à penetração de uma broca fina, é muito útil sobretudo para a detecção de fendas, vazios ou bolsas de degradação biológica, em particular em zonas afastadas da superfície ou em elementos ocultos por outros. O avaliador terá de ter em atenção aspectos como a orientação dos anéis de crescimento, a presença de medula ou lenho juvenil e a estrutura interna da madeira na leitura correcta dos perfis de resistência obtidos.

A avaliação da dureza superficial média da madeira com equipamentos como o Pilodyn® permite estimar a massa volúmica média do elemento e sobretudo avaliar a presença de degradação superficial, sendo particularmente útil no caso de ataque por fungos de podridão. A avaliação requer em geral um grande número de medições, para ter em conta variações locais devidas à alternância dos anéis de Outono e de Primavera.

No caso de **podridão** (Fig.6), cujos efeitos são difíceis de quantificar com rigor, é prudente (embora possa ser demasiado conservativo em alguns casos) desprezar a contribuição de toda a secção afectada. A distinção entre madeira com podridão e madeira simplesmente suja ou com manchas de humidade tem de ser claramente feita, o que justifica a necessidade de acesso directo aos elementos e a utilização de métodos não destrutivos.



Figura 6: Madeira atacada por fungos de podridão.

No caso de ataque por **carunchos**, a redução da resistência do elemento deriva de uma perda de secção, a qual se limita frequentemente à camada periférica de borne, muitas vezes de pequena espessura, cuja profundidade pode também ser averiguada com a ajuda de métodos não destrutivos (Fig.7 e Fig.8). Isto permitirá estimar a secção residual dos elementos a considerar para efeitos de dimensionamento. Pode assumir-se a mesma redução de secção para todos os elementos da estrutura, e seguidamente fazer uma verificação mais fina para elementos especialmente degradados ou cuja importância ou nível de tensões o justifiquem.

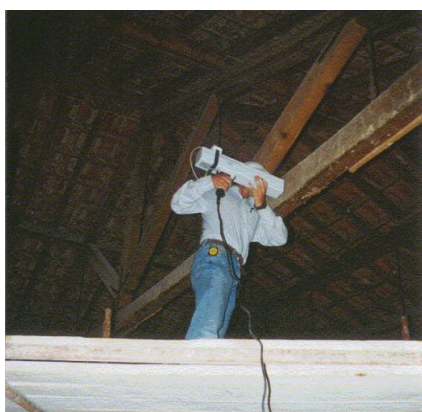


Figura 7: Utilização do Resistograph®.

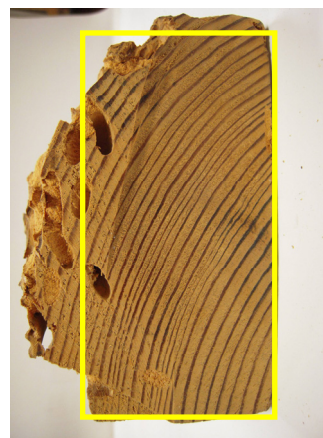


Figura 8: Ataque por caruncho.
Secção residual estimada.

A avaliação da secção residual no caso de ataque por **térmitas subterrâneas** poderá ser mais complexa e difícil, dada a forma mais irregular como estas abrem galerias no interior dos elementos, muitas vezes sem que se dê pelo ataque até fases muito avançadas de destruição.

Importa salientar que em presença de degradação biológica, as intervenções devem sempre incluir medidas capazes de sustentar a progressão da degradação, sob pena de repetição das anomalias a curto prazo [8].

Em ambos os casos (fungos ou carunchos), os critérios de quantificação das consequências apresentados são conservativos, mas de alguma forma contrabalançam o facto das medidas correctivas ou dos tratamentos preservadores curativos aplicados à madeira poderem não garantir a cessação imediata da degradação em curso.

7. TRATAMENTO DA MADEIRA

Face ao ataque da madeira por agentes biológicos, é necessário sustentar a progressão da degradação (acção curativa) e impedir a recorrência dos problemas (acção preventiva).

Em termos gerais, devem ser consideradas as seguintes acções:

- secagem da madeira, se aplicável;
- limpeza;
- eventual tratamento preservador insecticida e/ou fungicida da madeira que permanece no local;
- eventual tratamento preservador da madeira susceptível de ataque que venha a ser introduzida na obra.

A escolha e a especificação de características das madeiras a introduzir no edifício (resistência, durabilidade/tratabilidade, tratamento preservador, teor de água e estabilidade dimensional) devem ter em conta as normas relevantes e as condições de aplicação específicas.

Resta referir que só após a identificação e a resolução dos problemas, incluindo a secagem dos materiais e o eventual tratamento preservador das madeiras a manter no local, é que as reparações e substituições deverão ser realizadas.

8. REPARAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL

A eventual necessidade de reparação e/ou reforço e as técnicas e materiais a aplicar deverão ser ponderadas em função dos objectivos da intervenção e das características do edifício.

Em intervenções ligeiras, em que a estrutura se apresenta globalmente bem conservada e não se prevê a alteração do uso do edifício, é razoável pretender repor as condições de segurança originais, apenas reparando pontualmente os elementos deteriorados. Pelo contrário, se a deterioração da estrutura implicar uma intervenção profunda ou se estiver prevista uma alteração do uso, é habitual exigir que o edifício recuperado obedeça aos regulamentos em vigor.

No caso de estruturas com interesse histórico deseja-se geralmente operar alterações reduzidamente intrusivas, mantendo-se a traça, os materiais e as técnicas de construção originais, tarefas nem sempre compatíveis entre si.

Além da degradação dos materiais, são mais frequentes do que se possa pensar os erros básicos de concepção estrutural e o mau dimensionamento das estruturas originais, julgando-se imprescindível nestes casos corrigir as deficiências, mesmo em intervenções que se pretendem pouco intrusivas e fiéis ao original, por forma a garantir a sobrevivência do próprio edifício e sobretudo a segurança dos seus ocupantes.

9. CONCLUSÕES

A avaliação de estruturas de madeira requer conhecimentos básicos sobre o material e as técnicas de construção e de ligação empregues. A utilização de técnicas não destrutivas mais ou menos sofisticadas constitui uma ferramenta útil, mas não dispensa o julgamento de um avaliador experiente, quer no delineamento da inspecção quer na interpretação dos resultados.

A classe de qualidade da madeira pode ser determinada pela observação visual dos elementos estruturais, mediante a avaliação dos defeitos naturais da madeira. A classe de qualidade e a espécie permitem estabelecer valores característicos de resistência mecânica a ter em conta para efeito de verificação da segurança.

A determinação da resistência pode ainda, dependendo da espécie de madeira, ser realizada através de técnicas não destrutivas tendo em conta correlações existentes entre os parâmetros medidos e as propriedades mecânicas da madeira.

A degradação biológica, englobando a identificação do tipo de agente causador e o seu estado de actividade, só pode ser aferida através da observação visual dos elementos de madeira (percepção das alterações da madeira) e dos agentes de degradação (carunchos, térmitas, fungos). A identificação correcta dos agentes de degradação é determinante no sentido de avaliar correctamente as consequências da sua actividade, prever a eventual evolução do problema e delinear uma estratégia de tratamento curativo e protecção adequada.

A questão da extensão da degradação encontra-se ligada à determinação da secção residual. Recomenda-se uma primeira avaliação através da utilização de uma lâmina metálica (requerendo sempre um operador experiente). Esta técnica permite uma primeira aproximação, quanto ao estado de coesão superficial do elemento e à perda de secção e igualmente aferir a percentagem aproximada de borne, facto que muitas vezes condiciona a extensão máxima do ataque. Posteriormente poder-se-á utilizar um equipamento baseado na resistência à furação ou à penetração, de forma a avaliar a perda de secção de forma mais precisa [7].

Apesar da relativa complexidade do processo, dispomos de conhecimento, meios e procedimentos que nos permitem estimar a resistência das estruturas de madeira em serviço, e adoptar soluções de manutenção, reparação ou reforço técnica e economicamente adequadas.

REFERÊNCIAS

- [1] Cruz, H; Nunes, L. – “Madeira. In Materiais de Construção. Guia de Utilização.” Coordenação: M B Gonçalves, F C Margarido e R C Colaço. *Loja da Imagem. Arquitectura e Vida /Engenharia e Vida*, Lisboa. pp. 76-94. (ISBN 972-98882-3-X). 2005.
- [2] (vários) – “Avaliação, Conservação e Reforço de Estruturas de Madeira”. Ed J Saporiti Machado. *Verlag Dashofer*. 2009
- [3] Machado, J. S.; Cruz, H. – “Within-stem variation of maritime pine timber mechanical properties. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 63 (2005) p. 154-159.
- [4] IPQ – “NP 4305 – Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas. Classificação visual. 1995
- [5] Machado, J. S.; Cruz, H.; Nunes, L. – “Inspeção de elementos estruturais de madeira. Selecção das técnicas não destrutivas a aplicar in-situ”. *Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas – REPAR*. LNEC, Lisboa, 2000. pp265-274
- [6] Machado, J. S.; Sardinha, R.; Cruz, H. – “Knots detection and evaluation by ultrasounds”. *Wood and Fibre Science*, 2005.
- [7] Machado, J. S.; Cruz H – “Avaliação do estado de conservação de estruturas de madeira. Determinação do perfil densidade por métodos não destrutivos”. *Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas*; nº 42. LNEC; Setembro de 1997. p15-18
- [8] Nunes, L.; Cruz, H. – “Fungal degradation of wood in buildings. Microbial impact on building materials”. *RILEM Ed. By M. Ribas Silva Publications SARL, Baneux, França*, pag.84-93. Setembro 2003.

