

## UMA NOVA METODOLOGIA PARA CONTROLO DE QUALIDADE (RESISTÊNCIA) DE MADEIRA EM OBRA

José Machado<sup>1</sup>, André Marques<sup>2</sup>, Alfredo Dias<sup>3</sup>, Pedro Santos<sup>3</sup>

1: Núcleo de Comportamento de Estruturas  
Departamento de Estruturas  
Laboratório Nacional de Engenharia Civil  
e-mail: saporiti@lnec.pt, web: <http://www.lnec.pt>

2: SerQ – Centro de Inovação e Competências da Floresta  
e-mail: [amarques@serq.pt](mailto:amarques@serq.pt), web: <http://www.serq.pt>

3: ISISE – Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural, Departamento de Engenharia Civil  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Universidade de Coimbra  
e-mail: [alfgdias@dec.uc.pt](mailto:alfgdias@dec.uc.pt), [uc2006107489@student.uc.pt](mailto:uc2006107489@student.uc.pt), web: <http://www.isise.net>

**Palavras-chave:** Pinheiro bravo, Classificação Mecânica, Classes de Resistência, Estruturas de Madeira, Reabilitação

**Resumo.** *Os produtos à base de madeira têm cada vez mais um papel relevante na construção, em particular no caso da reabilitação. Tal resulta não só das vantagens tradicionais da madeira, como o seu desempenho mecânico ou impacto ambiental, mas também das tecnologias inovadoras que abriram perspetivas completamente novas a este material, como é o caso da construção em altura com CLT. Relacionadas com estas características surgem também algumas desvantagens importantes, nomeadamente a variabilidade de propriedades e a dificuldade de controlo de qualidade. Tradicionalmente a madeira é selecionada tendo por base uma análise visual (classificação visual) a qual tem uma correlação bastante limitada com as propriedades mecânicas. Por estas razões torna-se bastante difícil realizar um controlo de qualidade em obra rigoroso com um nível de custo e complexidade adequado às condições aí existentes. Tal introduz custos acrescidos ao processo, gera dificuldade na gestão do processo construtivo e pode conduzir a erros, ainda que involuntários, com consequências graves, por exemplo através da troca da classe resistente entre elementos construtivos. Neste campo foram desenvolvidas soluções que permitem um mais eficaz e rigoroso controlo de qualidade. Nesta comunicação apresenta-se uma dessas técnicas que consiste numa abordagem dinâmica para ensaio não-destrutivo da madeira. A técnica é passível de aplicação a elementos de diferentes espécies sendo apresentados resultados da sua validação para o pinho bravo. O SerQ – Centro de Inovação e Competências da Floresta, em colaboração com a Universidade de Coimbra e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil desenvolveu um sistema que, comparativamente ao processo normalizado preconizado pela normalização europeia, permite um processo de verificação da qualidade em obra rápido e fiável. Este processo será apresentado nomeadamente ao nível de potencial e limitações.*



## 1. INTRODUÇÃO

A mais recente crise no setor da construção em Portugal levou a algumas alterações de comportamento por parte dos agentes do setor, resultando não só na procura de novas soluções construtivas, capazes de dinamizar o setor, mas também num redirecionar do setor para a reconstrução e reabilitação do património edificado.

Nestas vertentes, os produtos à base de madeira têm tido um papel cada vez mais relevante, devido às suas características que permitem versatilidade na sua utilização e inclusão em várias soluções, e também devido às vantagens tradicionais da madeira, nomeadamente o seu desempenho mecânico, térmico e acústico e o seu impacto ambiental.

Estes aspetos, aliados ao crescente e constante desenvolvimento de tecnologias inovadoras, permitiram e impulsionaram a utilização da madeira, e produtos derivados, em novas soluções inovadoras e arrojadas, como é o caso, por exemplo, da construção em altura com CLT (*Cross-Laminated-Timber*). Na vertente da reabilitação, dados do INE (Instituto Nacional de Estatística, I.P.) de 2011 revelam que cerca de 37% do parque habitacional em Portugal tem data de construção anterior a 1970, década a partir da qual a construção em betão armado registou um grande crescimento [1]. Portanto, e tendo em conta as soluções construtivas à data, numa parte significativa do edificado em Portugal é altamente provável encontrar elementos estruturais de madeira na sua construção, principalmente em coberturas e pavimentos.

De acordo com a regulamentação atualmente em vigor, a madeira para fins estruturais tem de cumprir determinados requisitos de desempenho mecânico, de forma a garantir a segurança da estrutura, pessoas e bens. Para tal, deve ser utilizada madeira com qualidade certificada. Esta certificação pode ser obtida recorrendo à classificação da madeira, que pode ser efetuada através de uma avaliação visual ou avaliação mecânica, permitindo direta ou indiretamente a atribuição de uma classe de resistência (CR) ao elemento. Em Portugal, na esmagadora maioria dos casos, é utilizada a avaliação visual para classificar a madeira, no entanto, esta alternativa apresenta uma correlação bastante limitada com as propriedades mecânicas da madeira, logo um baixo rendimento em termos de aproveitamento. Por outro lado, a avaliação mecânica permite obter melhores rendimentos, uma vez que apresenta correlações mais elevadas entre as características/propriedades medidas e as propriedades mecânicas dos elementos de madeira.

Atualmente existem soluções desenvolvidas para a classificação mecânica, com recurso a técnicas não-destrutivas. Com o desenvolvimento expectável do mercado da reabilitação e, particularmente, da reabilitação de estruturas de madeira, estas soluções, podem também ser ferramentas importantes para um controlo de qualidade rápido e fiável em obra, garantindo uma maior confiança no material e com ganhos potenciais em termos de comportamento estrutural.

A introdução de novos elementos de madeira, em construção nova ou em obras de reabilitação/reconstrução, implica o uso de madeira qualificada (e.g. marcação CE) que exige evidência do seu desempenho mecânico. No entanto, frequentemente verifica-se a existência de dúvidas acerca desse desempenho, nomeadamente sobre a espécie da madeira e as propriedades mecânicas. A opção de verificação da resistência dos elementos de madeira preconizada na normalização europeia implica a seleção de uma amostra de dimensão considerável (no mínimo 34, no caso do módulo de elasticidade, ou 40 vigas no caso da massa volúmica ou tensão de rotura – EN 14358 [2]) e o seu transporte para um laboratório de forma a proceder-se ao seu ensaio destrutivo. Esta operação caracteriza-se pelo seu caráter disruptivo do processo construtivo, pelo tempo necessário da operação e pelo acréscimo considerável dos custos associados à intervenção.

A presente comunicação pretende apresentar um processo de classificação mecânica, o qual pode ser aplicado em serração, ou em obra. A técnica apresentada está validada para muitas das espécies correntemente utilizadas na construção, tendo um estudo realizado pelo Centro de Inovação e Competências da Floresta (SerQ) em colaboração com a Universidade de Coimbra (UC) tornado possível a sua aplicação ao Pinheiro bravo, espécie que apresenta um grande potencial para aplicações

estruturais. Pretende-se com a presente comunicação apresentar o processo de um ponto-de-vista prático, referindo o seu potencial e possíveis limitações para aplicação em obra.

## 2. METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO

A classificação mecânica ganhou popularidade nos últimos anos, no entanto, devido ao desconhecimento e custos de adaptação exigidos, em Portugal, as empresas optam ainda pelo recurso à classificação visual. Tradicionalmente, o processo de classificação é realizado em fábrica, no entanto, com o desenvolvimento de diferentes tecnologias utilizando métodos não-destrutivos, têm sido desenvolvidos dispositivos portáteis para avaliação da qualidade da madeira. Estes dispositivos apenas nos últimos anos têm sido aprovados pelos comités europeus de normalização para poderem ser utilizados para classificação mecânica de madeira.

Este tipo de equipamentos abre novas portas para a qualificação de madeiras para fins estruturais permitindo a sua classificação fora das unidades de produção. Este tipo de equipamento pode ser utilizado, com grande potencial, para a avaliação de qualidade (classificação) de elementos de madeira em obra, de forma fiável e rápida (numa ótica de suporte à fiscalização).

O processo que se pretende apresentar recorre ao equipamento *Machine Timber Grader (MTG)*, que é um dispositivo portátil de fácil utilização e que apenas requer uma ligação *Bluetooth* a um computador. Este equipamento utiliza o método de vibração longitudinal para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico – propriedade indicadora (IP).

O equipamento é composto por uma esfera acoplada a uma mola e por um sensor de vibração. A esfera acoplada à mola serve para criar o impacto no elemento de madeira enquanto o sensor permite a leitura e aquisição do movimento de vibração livre do elemento, introduzido pelo impacto da esfera.

O equipamento funciona em conjunto com um software próprio, no qual é necessária a introdução de alguma informação como *input*, a qual é necessária para poder determinar o módulo de elasticidade dinâmico. Os dados necessários são as dimensões geométricas – largura e altura da secção transversal e comprimento do elemento – a massa e o teor de água do elemento. Deve também indicar-se o acabamento das faces – serrado ou aplainado, existindo também a possibilidade de indicar um número para identificação do elemento. Além destes dados, é necessário também indicar a espécie e a sua origem. Deve também selecionar-se a combinação a utilizar para a classificação, tendo em conta o objetivo da classificação.

Após a introdução das informações necessárias, é então possível realizar-se o ensaio, respeitando as condições de apoio – deve garantir-se que o ensaio é realizado no elemento isolado, simplesmente apoiado e que não sejam transferidas outras vibrações para o elemento – e acabamento dos topos – devem ter um acabamento perpendicular à direção longitudinal e não muito rugoso – indicados pelo fabricante do equipamento [3]. Alguns exemplos de possíveis esquemas de apoios são apresentados na Figura 1. Os elementos a classificar deverão apresentar um teor de água no intervalo 10% - 25%.

Este procedimento pode ser utilizado para elementos de madeira serrada com dimensões disponíveis no mercado e mesmo para outras dimensões não standards, desde que se encontrem dentro dos seguintes intervalos:

- Largura: 36 – 110 mm
- Altura: 63 – 242 mm
- Comprimento: 1500 – 8000 mm

Os dados do ensaio, adquiridos através do sensor do equipamento, são enviados para o computador e tratados em software próprio, a partir dos quais é possível obter a frequência própria de vibração, usada para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico. Assim, a informação de *output* do software e do equipamento será o módulo de elasticidade dinâmico, bem como a classe de resistência do elemento, de acordo com a EN 338 [4].

Em suma, os passos necessários para o procedimento de classificação de um elemento de madeira (Pinho bravo nacional) podem ser esquematizados da seguinte forma:

1. Medições:
  - a. Dimensões
  - b. Massa
  - c. Teor de água
2. *Input* de dados e informação:
  - a. Espécie
  - b. Origem
  - c. Combinação de classificação
3. Ensaio para classificação do elemento



Figura 1. Exemplos de esquemas de apoio possíveis para realização do procedimento de classificação de elementos de madeira com recurso ao *Machine Timber Grader* (MTG) [3].

### 3. ENQUADRAMENTO E VALIDAÇÃO PARA O PINHEIRO BRAVO

#### 3.1. Enquadramento Normativo

Os requisitos e procedimentos para classificação visual e mecânica de madeira para aplicação estrutural estão definidos na norma harmonizada EN 14081, a qual se divide em 3 partes. Os procedimentos para cada um dos sistemas de classificação são, naturalmente, diferentes [5].

No caso da classificação visual, têm que existir normas nacionais que permitam a atribuição de uma classe de qualidade, através de uma avaliação visual individual de cada elemento, em que são medidas e avaliadas as suas propriedades e características, indicadas na norma relevante que, para o caso do Pinheiro bravo, é a NP 4305 [6]. Estas normas nacionais têm, ainda assim, que satisfazer os requisitos gerais presentes no Anexo A da EN 14081-1 [7]. Atribuída a classe de qualidade, esta pode ser associada a uma classe de resistência, definida na EN 338 [4]. Para tal, esta associação deve também estar aprovada a nível Europeu, sendo que as correspondências aprovadas estão indicadas na norma EN 1912 [8].

Para a classificação mecânica, são utilizados métodos não-destrutivos que permitem a medição/avaliação de características/propriedades as quais são correlacionadas com as propriedades mecânicas. Esta metodologia, regra geral, apresenta melhores resultados, ou seja, um melhor aproveitamento do material, quando comparados com a classificação visual. O procedimento de classificação mecânica requer, no entanto, e de acordo com a EN 14081, uma inspeção visual (“*visual override*”) para despistar a presença, nos elementos, de características que possam reduzir a sua resistência e que não tenham sido detetadas pela classificação mecânica. Os requisitos desta inspeção visual estão também definidos na EN 14081-1 (Tabela 1 da norma).

A Figura 2 apresenta uma representação esquemática dos procedimentos de classificação de madeira – visual e mecânica – onde se verifica que, mesmo em termos de processo, a classificação mecânica requer menos passos até à classificação final e consequente obtenção de uma classe de resistência de acordo com a EN 338.

Além disso, a classificação visual tem inerente outra grande desvantagem. Para efeitos de classificação em classes de qualidade, a NP 4305 tem prevista a atribuição de duas classes: classe E – Estruturas e

classe EE – Especial para Estruturas, no entanto, a norma EN 1912, apenas considera a classe de qualidade E para a atribuição de uma classe de resistência da EN 338. Portanto, toda a madeira com classe de qualidade E, é classificada como madeira da classe de resistência C18, o que resulta num enorme subaproveitamento das propriedades resistentes da madeira de Pinho bravo e não permite a verificação da qualidade da madeira em obra, onde muitas vezes é especificada uma CR C22 ou superior.

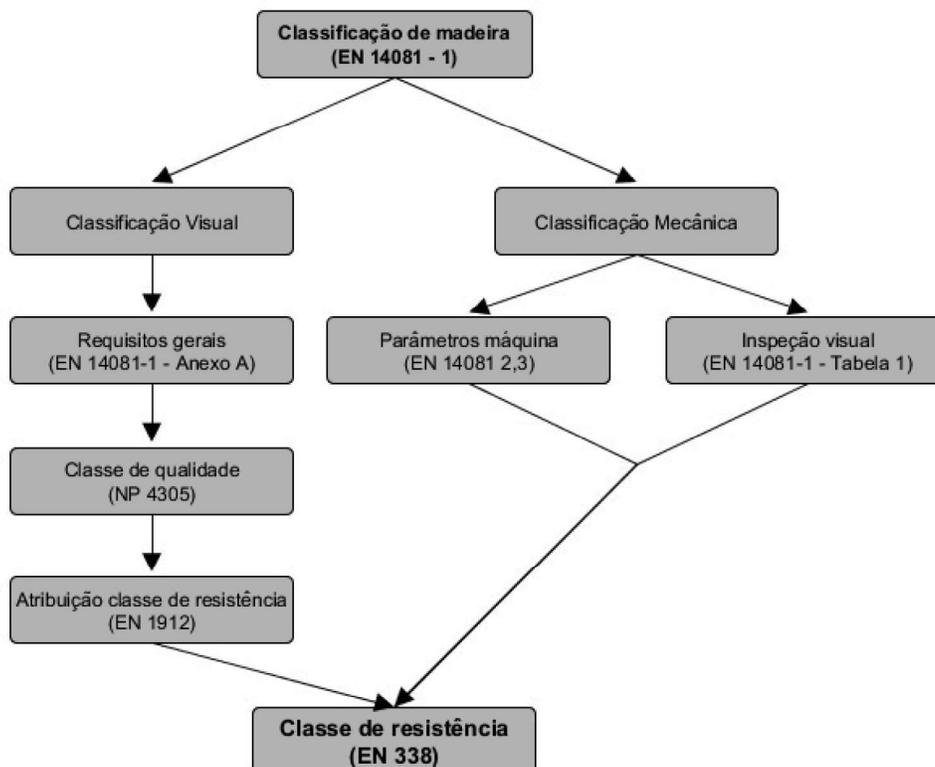


Figura 2. Procedimentos para classificação de madeira: classificação mecânica vs. classificação visual.

### 3.2. Validação para o Pinheiro Bravo

Para a implementação de um processo de classificação mecânica, é inicialmente necessária a definição e validação da técnica a utilizar nesse processo. Os primeiros sistemas de classificação mecânica tinham por base o ensaio estático não-destrutivo, apoiado numa boa correlação entre a rigidez e a resistência do elemento de madeira [9] [10]. Atualmente, existem outras metodologias não-destrutivas que podem ser aplicadas para a implementação de um sistema de classificação mecânica de madeira, nomeadamente velocidade de propagação das ondas, vibração, entre outros [11]. No caso do sistema que se pretende apresentar, é utilizada a vibração longitudinal, em que é aplicado um impulso na direção longitudinal do elemento e medida a sua frequência própria de vibração nessa direção.

Esta técnica foi utilizada num estudo, realizado pelo SerQ em colaboração com a UC, para o desenvolvimento de um sistema de classificação mecânica versátil, rápido e fácil de utilizar, para o Pinheiro bravo nacional. Neste estudo foram recolhidas várias amostras representativas da disponibilidade de matéria-prima, em termos de localização (regiões Norte e Centro de Portugal), sazonalidade (recolha das amostras com intervalos temporais de seis meses) e disponibilidade no mercado de secções transversais para aplicação em estruturas [12].

Para o desenvolvimento e validação do sistema de classificação mecânico, foram realizados, primeiramente ensaios não-destrutivos: utilizando a técnica de vibração longitudinal, para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico, e o ensaio de flexão, para determinação do módulo de elasticidade estático. Posteriormente, foi realizado o ensaio de flexão destrutivo para determinação da resistência à flexão.

De acordo com o indicado nas partes relevantes da EN 14081, um sistema de classificação mecânica pressupõe a medição de uma característica/propriedade indicadora (*“Indicating Property” – IP*) que posteriormente é correlacionada com as propriedades mecânicas do elemento de madeira. Para esse efeito, e tendo por base resultados anteriores [11], e as características do equipamento para o qual se pretendia validar as definições para classificação de Pinho bravo, foi utilizada a técnica de vibração longitudinal para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico, que é, neste caso, a característica indicadora. Com base nas correlações estabelecidas, foi possível a classificação dos elementos de madeira em classes de resistência, de acordo com a EN 338.

Tendo em consideração várias especificidades do setor e da matéria-prima disponível, no estudo realizado foram definidas três combinações de classificação, cujo objetivo principal era maximizar o aproveitamento da madeira de Pinho bravo para aplicações estruturais exigentes, e logo, com mais valor acrescentado:

- C24/Rejeitado
- C35/C24/C18/Rejeitado
- C40/C24/C18/Rejeitado

A definição destas combinações e o estudo realizado permitiram concluir que a madeira de Pinho bravo apresenta enorme potencialidade para aplicações estruturais de elevada exigência. Esta potencialidade é comprovada pelos resultados apresentados na Tabela 1, em que se verifica, para cada uma das combinações, que, pelo menos, cerca de 80% da madeira foi classificada como pertencendo a uma classe de resistência superior a C18 (atualmente colocada no mercado através da classificação visual). Daqui se constata também o enorme subaproveitamento, potencial, existente da madeira de Pinho bravo.

No setor da construção em Portugal, dependendo da localização, têm sido utilizadas várias espécies de madeira, desde o Carvalho, Castanheiro, Eucalipto e o próprio Pinho. Mais recentemente, a utilização dessas madeiras tem vindo a ser substituída pela importação de outras espécies, essencialmente de origem Europeia, que trazem já marcação CE e veem a sua introdução e utilização no mercado europeu facilitada devido a este facto.

Em Portugal, com a entrada em vigor do Regulamento dos Produtos da Construção, que condiciona a colocação no mercado a produtos que obedecem a determinados requisitos de desempenho, o Pinho, na vertente de produtos estruturais, é a espécie com maior potencial de mercado a nível nacional. Para tal, têm de ser criadas as condições adequadas, para que esse potencial possa ser aproveitado. Tal passa nomeadamente, por apostar num sistema de classificação mecânico que possibilite tirar mais rendimento da madeira de Pinho bravo, contribuindo ainda para uma utilização mais racional e sustentável.

<b>COMB. 1</b>	C24		Rejeitado	
	94,7%		5,3%	
<b>COMB. 2</b>	C35	C24	C18	Rejeitado
	67,7%	9,6%	19,0%	3,7%
<b>COMB. 3</b>	C40	C24	C18	Rejeitado
	51,6%	27,0%	17,0%	4,4%

Tabela 1. Rendimentos obtidos para as combinações de classificação [12].



## 4. APLICAÇÃO EM OBRA

### 4.1. Potencial

Tendo em conta a versatilidade e facilidade de utilização do equipamento, o procedimento apresenta um potencial interessante para utilização em obra, nomeadamente no controlo da qualidade, em duas vertentes: i) avaliação da qualidade (classificação) de novos elementos de Pinheiro bravo que tenham sido entregues em obra sem marcação CE; ii) fiscalização – validação (confirmação) da qualidade (classificação) de novos elementos de Pinheiro bravo entregues em obra e sobre os quais existam dúvidas, ainda que os mesmos tenham sido alvo de uma classificação prévia.

Em ambas as situações os dados necessários para *input* no software do equipamento são facilmente obtidos, quer através da medição direta no elemento, ou também através da consulta da documentação da marcação CE (caso cumpram) ou dos documentos comerciais. Alternativamente, em situação de dúvida, poderá recorrer-se a análises (identificação da espécie e da origem geográfica da madeira).

Com a informação obtida será então possível a classificação (incluindo a determinação do módulo de elasticidade dinâmico) e atribuição de uma classe de resistência. Para efeitos de comportamento estrutural e projeto, esta informação pode ser relevante, pois poderá direcionar e aplicar os elementos classificados com uma classe de resistência superior, para os locais na estrutura sujeitos a um maior nível de esforços. Esta abordagem permite uma maior otimização da utilização dos recursos e uma eventual melhoria do comportamento estrutural.

O processo de classificação para atribuição de uma classe de resistência, apenas pode ser realizado para as espécies, para as quais existem definições devidamente aprovadas pelas entidades competentes para o equipamento em questão. Em Portugal, atualmente, apenas foi realizado o estudo para o Pinheiro bravo, pelo que, das espécies nacionais, está é a única onde se poderá utilizar este procedimento de classificação. No entanto, o equipamento permite a determinação do módulo de elasticidade dinâmico para qualquer espécie. Estudos realizados em várias espécies demonstram que existe uma boa correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico, determinado pelo MTG, e o módulo de elasticidade estático, determinado através do ensaio de flexão [13] [14], pelo que este procedimento pode ainda ser utilizado para uma avaliação de qualidade dos elementos, em termos da sua rigidez. Este aspeto pode ser uma mais-valia, para utilização em obra, principalmente no mercado da reabilitação, em que se encontra alguma variedade de espécies nos elementos estruturais.

Além de permitir a avaliação de qualidade, com este procedimento de classificação, é possível também identificar convenientemente os elementos e permitir a sua rastreabilidade futura. Ou seja, poderá ser possível consultar as características de um determinado elemento, caso o mesmo não tenha sofrido degradação.

### 4.2. Limitações

Apesar de ser um procedimento bastante versátil e fiável, para classificação de madeira de Pinheiro bravo nacional, e para a avaliação de qualidade de elementos de outras espécies, através da determinação do módulo de elasticidade dinâmico, apresenta também algumas limitações na utilização em obra. Tendo em conta os passos necessários para o procedimento de classificação, poderão encontrar-se os seguintes constrangimentos:

- Identificação da espécie e origem da mesma (caso se trate de uma espécie passível de ser classificada através deste procedimento);
- Dificuldade na obtenção dos dados necessários, com especial ênfase na massa do elemento, em determinadas situações;



- A aplicação requer que o elemento esteja isolado, não podendo ter ligações a outros elementos, de forma a evitar transmissão de outras vibrações para o elemento.

## 5. CONCLUSÕES

Os recentes desenvolvimentos tecnológicos permitiram o surgimento e melhoramento dos métodos para a classificação de madeira, neste caso particular, a classificação mecânica por ensaio dinâmico, como alternativa ao método habitualmente utilizado (ensaio estático). O investimento de instalação deste método mais tradicional é avultado o que desencoraja as empresas, nomeadamente a nível nacional, levando a que a classificação visual seja ainda a metodologia mais utilizada.

Estudos realizados demonstraram que a madeira de Pinho bravo com origem nacional tem um grande potencial para utilização em estruturas onde a identificação de elementos com elevado desempenho tenha relevância. No entanto, devido também a limitações na regulamentação a nível Europeu, a madeira desta espécie, quando classificada visualmente, é colocada no mercado com uma classe de resistência tipicamente inferior à sua real resistência.

O estudo apresentado demonstra claramente que, recorrendo a novas metodologias e tecnologias, para classificação mecânica, nomeadamente através de ensaios não-destrutivos, conseguem-se correlações bastante superiores com as reais propriedades mecânicas dos elementos de madeira.

O recurso à classificação mecânica permite ganhos consideráveis em termos de rendimentos em cada classe. Em termos práticos isto significa que, enquanto que com a classificação visual, a madeira de Pinho bravo nacional é atualmente colocada no mercado classificada unicamente como C18, com a classificação mecânica, para a combinação C24/Rejeitado, 94,7% dos elementos ensaiados foram classificados como C24 ou superior. Para as combinações de classificações C35/C24/C18/Rejeitado e C40/C24/C18/Rejeitado, 67,7% e 51,6% dos elementos foram classificados como C35 ou superior e C40 ou superior, respetivamente.

Atualmente estas tecnologias podem ser utilizadas com equipamentos portáteis para classificação mecânica de madeira, o que alarga o horizonte de aplicação destes procedimentos. Um exemplo claro é a sua utilização em obra, para avaliação da qualidade e classificação de elementos de madeira. Nesta perspetiva, este procedimento pode ser uma opção eficaz e que pode servir de apoio para tomadas de decisão e fiscalização em obra, na receção de novos elementos de madeira. Ainda na vertente de utilização em obra, este procedimento, além de permitir a avaliação de qualidade, através da classificação da madeira, permite a sua rastreabilidade, no sentido em que, será possível verificar, futuramente, e caso não haja degradação do elemento, as suas características.

Como alternativa aos métodos tradicionais de classificação de madeira, este é um método rigoroso e que pode ter custos de operação relativamente baixos. Apresentou-se aqui, de um ponto de vista prático, o procedimento necessário para a sua utilização em obra, em que, para elementos novos, permite rapidamente e com grande confiança avaliar a qualidade de determinado elemento. Para determinadas espécies, como o Pinheiro bravo, permite obter classes de resistência, de acordo com a EN 338.

## 6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado por fundos FEDER através do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização – COMPETE e por fundos nacionais FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do projeto POCI-01-0145-FEDER-007633.

Foi também parcialmente financiado por fundos FEDER através do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização – COMPETE, no âmbito do projeto POCI-02-0853-FEDER-026587: Certificação e Classificação de Madeira Serrada - Implementação de Técnicas Inovadoras e Promoção.

## REFERÊNCIAS

- [1] "O Parque habitacional e a sua reabilitação - análise e evolução 2001-2011," INE, I.P., Lisboa, 2013.
- [2] CEN, "EN 14358: Timber Structures - Calculation and verification of characteristic values," ed. Brussels, Belgium: Comité Européen de Normalisation, 2016.
- [3] "Timber Grader MTG - Operating instructions," ed. Enschede, The Netherlands, 2015.
- [4] CEN, "EN 338: Structural timber - Strength classes," ed. Brussels, Belgium: Comité Européen de Normalisation, 2016.
- [5] D. Ridley-Ellis, P. Stapel, and V. Baño, "Strength grading of sawn timber in Europe: an explanation for engineers and researchers," *European Journal of Wood and Wood Products*, vol. 74, pp. 291-306, 2016.
- [6] IPQ, "NP 4305: Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas - Classificação visual," ed. Lisboa: Instituto Português da Qualidade, I.P., 1995.
- [7] CEN, "EN 14081-1: Timber Structures - Strength graded structural timber with rectangular cross section," in Part 1: General requirements, ed. Brussels, Belgium: Comité Européen de Normalisation, 2016.
- [8] CEN, "EN 1912: Structural Timber - Strength classes - Assignment of visual grades and species," ed. Brussels, Belgium: Comité Européen de Normalisation, 2012.
- [9] T. F. M. Morgado, J. S. Machado, A. M. P. G. Dias, H. Cruz, and J. N. A. Rodrigues, "Grading and testing of Maritime Pine roundwood," presented at the WCTE - World Conference on Timber Engineering, Trento, Italy, 2010.
- [10] J. P. R. Balsa, "Avaliação destrutiva e não destrutiva de elementos de madeira de pinho bravo," Mestre, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Universidade de Coimbra, 2013.
- [11] T. F. M. Morgado, "Classificação e Aplicação Estrutural da Madeira de Secção Circular de Pinheiro Bravo," Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 2013.
- [12] A. M. P. G. Dias, J. S. Machado, and P. Santos, "Uso de produtos de madeira de alto desempenho em aplicações estruturais," in JPEE 2014 - 5as Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, Lisboa, 2014.
- [13] M. Hodoušek, A. M. P. G. Dias, C. Martins, A. Marques, and M. Böhm, "Comparison of Non-Destructive Methods Based on Natural Frequency for Determining the Modulus of Elasticity of *Cupressus lusitanica* and *Populus x canadensis*," *BioResources*, vol. 12, pp. 270-282, 11/14/2017.
- [14] M. J. R. Martins, "Caracterização do Eucalipto globulus para aplicação estrutural," Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 2015.

