

Impacto do Ataque do Nemátodo da Madeira de Pinheiro na Aptidão Tecnológica como Madeira Maciça

Hélène Oliveira*, Abel Rodrigues,
Miguel Casquilho*** e João Bordado******

*Bolseira de Investigação

**Investigador Auxiliar

Instituto Nacional de Investigação Agrária/INRB, IP. Av. da República,
Quinta do Marquês, 2780-159 OEIRAS

***Professor Auxiliar

Centro de Processos Químicos. Instituto Superior Técnico

****Professor Catedrático Convidado

Centro de Engenharia Biológica e Química. IBB. Instituto Superior Técnico.

Av. Rovisco Pais, 1049-001 LISBOA

Sumário. Pretendeu-se, com o presente trabalho, avaliar a influência do ataque do nemátodo da madeira de pinheiro (NMP) bravo (*Pinus pinaster* Ait.) na sua aptidão tecnológica como madeira maciça, por via da caracterização mecânica de provetes, obtidos a partir de lotes de madeira comercial sujeitos a secagem em estufa, com e sem sintomatologia de ataque. A utilidade do trabalho decorre da importância económica do pinheiro bravo em Portugal e do recente surto do ataque no País. Foram estudadas propriedades físicas e mecânicas, nomeadamente densidade; flexão estática; resistência à compressão axial e módulo de elasticidade de flexão estática. Os resultados foram discutidos em função da sintomatologia de ataque de nemátodo, da densidade e do número de anéis de crescimento por comprimento radial unitário (cm). Os resultados foram analisados por via estatística em termos de análise de variância multivariada, correlação entre variáveis e regressão linear. Verificou-se que, com a presença de sintomatologia, diminuíram a densidade e as tensões de ruptura à compressão axial e flexão estática, sucedendo que tal diminuição não foi suficiente para comprometer a aptidão tecnológica da madeira. Constatou-se igualmente serem as tensões de ruptura à compressão axial e à flexão estática, em conjugação com o número de anéis de crescimento por cm, os indicadores mais favoráveis da ocorrência de sintomatologia de ataque.

Palavras-chave: Propriedades mecânicas; nemátodo; pinheiro bravo

Impact of the Attack by Pine Wood Nematode on the Technological aptitude of Solid Timber

Abstract. This work intends to assess the influence of the attack by the pine wood nematode (PWN) on its technological aptitude as wood, through mechanical characterization of specimens, obtained from lots of kiln dried commercial wood, with and without attack symptomatology. The usefulness of this study is due to the economical importance of maritime

pine in Portugal and to the recent outbreak of the attack in the country. Physical and mechanical properties, namely density; static bending, resistance to axial compression and modulus of elasticity of static bending were studied, aiming to evaluate the technological changes of wood. The results were discussed as a function of symptomatology of nematode attack, density and of the number of growth rings per unit radial length (cm). The results were analyzed statistically in terms of multivariate analysis of variance, correlation between variables and linear regression. It was verified that, with the presence of symptomatology, density and rupture stress decreased more significantly, having such decrease not been sufficient to compromise the technological value of wood. It was also noticed that the axial compression rupture stress, and static flexion, in conjugation with the number of growth rings per cm, were the most favorable indicators of the occurrence of attack symptomatology.

Key words: Mechanical properties; nematode; maritime pine

Impact de l'Attaque du Nématode du Bois de Pin sur l'Aptitude Technologique comme Bois Massif

Résumé. Ce travail a comme objectif d'évaluer l'influence de l'attaque du nématode du bois de pin sur son aptitude technologique comme bois massif, par la caractérisation mécanique de spécimens, obtenus de lots de bois commercial séchés en étuve, avec et sans symptomatologie d'attaque. La valeur de ce travail dérive de l'importance économique du pin maritime au Portugal et du récent essor de l'attaque dans le pays. Des propriétés physiques et mécaniques ont été étudiées, notamment: densité; flexion statique; résistance à la compression axiale; et module d'élasticité de flexion statique. Les résultats ont été discutés en fonction de la symptomatologie d'attaque de nématode, de la densité et du nombre d'anneaux de croissance par longueur radiale unitaire (cm). Les résultats ont été analysés par voie statistique en termes d'analyse de variance multivariée, corrélation entre variables et régression linéaire. On a vérifié que, avec la présence de symptomatologie, la densité et les tensions de rupture ont diminué plus significativement, tout en observant que telle diminution n'a pas été suffisante pour compromettre l'aptitude technologique du bois. On a aussi constaté que les tensions de rupture à la compression axiale et à la flexion statique, en conjugaison avec le nombre d'anneaux de croissance par cm, sont les indicateurs les plus favorables de l'occurrence de symptomatologie d'attaque.

Mots clés: Propriétés mécaniques; nématode; pin maritime

Introdução

Considerações gerais sobre o ataque do Nematodo de madeira de pinheiro

O nemátodo de madeira de pinheiro, NMP, *Bursaphelenchus xylophilus* conforme fotografia ampliada na Figura 1, é oriundo da América do Norte, podendo um indivíduo medir até 1 mm. Nos Estados Unidos, a presença de NMP é considerada doença endêmica não epidêmica (PIRES *et al.*, 2002) devido ao facto de as espécies autóctones terem

desenvolvido mecanismos de resistência. Nesse país, verificou-se uma forte incidência de ataque de NMP em 1979 em pinheiros não autóctones no Missouri e no Midwest (*Pinus nigra*, *P. sylvestris*). Países asiáticos, como o Japão (1905), a Formosa (Taiwan) (1985), a China e a Coreia (1989), detectaram NMP em *P. luchuensis*, *P. densiflora* e *P. thunbergii*, respectivamente. Na Europa, o NMP foi classificado como organismo de quarentena, por legislação comunitária de Dezembro de 1976 (Directiva 77/93/CEE). Em Portugal, o NMP foi

detectado em 1999, associado ao insecto vector, *Monochamus galloprovincialis* (Olivier), em pinhal bravo da região da península de Setúbal., (MOTA *et al.*, 1999); (SOUSA *et al.*, 2001).



Figura 1 - Fotografia (ampliada) de *Bursaphelenchus xylophilus*



Figura 2 - Ataque de nemátodo em pinheiro bravo

A doença do nemátodo tem sido responsável por prejuízos anuais muito significativos. No Japão, por exemplo, entre 1994 e 1998, às árvores mortas por NMP corresponderam volumes anuais de madeira oscilando entre 0,8 e 1,0 milhões de m³.

A transmissão de NMP nas várias espécies de *Pinus* spp. pode ocorrer seja por via primária de infecção, provocando a doença da murchidão e a morte rápida da árvore (Fig. 2), seja por via secundária, indirecta, pela simples propagação após deposição de ovos em toros ou árvores mortas (NAVES *et al.* 2007a, 2007b). A morte da árvore pode acontecer em apenas três semanas após a infecção.

A doença do NMP é transmitida à árvore através de um insecto vector, *Monochamus* spp. (DWINELL, 1997), pelo que a propagação da doença será o resultado da interacção entre o NMP, o insecto vector e a árvore em pleno crescimento secundário. Os níveis populacionais de nemátodo na madeira poderão ser da ordem de 3000 indivíduos/g de madeira (PIRES *et al.*, 2002). Pela forma primária de transmissão, o parasita penetra directamente a árvore, tomando partido do facto de o insecto vector se alimentar da casca e do floema dos ramos das copas das árvores. A penetração ocorre após infecção prévia da traqueia do insecto vector, dando-se através das zonas atacadas pelo insecto, ao que sucede a disseminação do parasita pelos canais resiníferos, transversais ou longitudinais. O NMP na árvore alimenta-se de fungos e do citoplasma das células do parênquima, o que dará lugar à cavitação celular nos canais resiníferos e células xilémicas.

Ao induzir cavitação nos traqueídeos o ataque de NMP apresentará consequências ao nível da estrutura anatómica da madeira. Segundo autores como JACOBSEN *et al.* (2005), IKEDA e KIYOHARA (1995) ou IKEDA (1996), a resistência à cavitação estará associada à resistência mecânica do tronco e a características anatómicas relativas à biomecânica celular, como sejam a espessura das paredes celulares dos traqueídeos, o seu teor em lenhina ou o ângulo das microfibrilas de celulose. A cavitação causará uma dobragem interior das células, bem como microfracturas nas paredes celulares. Este padrão global de alterações está inclusivamente mencionado no endereço electrónico do Governo Português (2008).

Pela forma secundária de transmissão, reportada pela primeira vez por Wingfield em 1983 (citado por DWINELL (1997)), o parasita é introduzido no tecido lenhoso através dos ovos depositados pelo insecto vector fêmea em cepos ou em toros de árvores recentemente abatidas. Este modo de transmissão é considerado como a forma mais comum de propagação da infecção. No caso de infecção por transmissão secundária, é difícil indicar o ataque do NMP como causa principal da morte da árvore, uma vez que essa transmissão ocorre ou em indivíduos já mortos ou atacados por qualquer outra via.

Em Portugal, para restringir a dispersão da infecção de nemátodo foram criados pelas autoridades um conjunto de regulamentos, estabelecendo conceitos como o de zonas demarcadas, consideradas como aquelas onde se detectou ocorrência do NMP, e o de zonas tampão, definidas como as adjacentes, num raio de 20 km, às regiões

demarcadas. O transporte da madeira contaminada para o exterior das zonas tampão implica o descasque dos troncos e o tratamento térmico a seguir indicado. Tanto o tratamento térmico como a secagem em estufa são suficientes para erradicar o NMP na madeira (DWINELL, 1997).

A Portaria n.º 103/2006 de 6 de Fevereiro (Diário da República), simultânea à decisão da Comissão Europeia de 13 de Fevereiro do mesmo ano, estabelece um Plano de erradicação de médio prazo para controlo da propagação do NMP, especificando as medidas e conceitos para tal necessários. Os proprietários florestais nessas zonas são obrigados ao corte de todas as árvores, bem como à execução de uma inspecção sanitária para obtenção de um passaporte, documento oficial atestando o cumprimento dos procedimentos sanitários, válido para toda a União Europeia. A Portaria n.º 553-B/2008 de 27 de Junho (D. R.) veio reforçar o disposto na referida Portaria n.º 103/2006, considerando a recente generalização do ataque de NMP à totalidade do território de Portugal Continental, bem como, no respectivo Anexo, proceder à formulação geral de medidas de carácter fitossanitário, de apoio à investigação científica, de extensão florestal e de apoio à indústria.

A cura para a doença ainda não está disponível, pelo que a solução é a neutralização do NMP e do insecto vector presentes na madeira, realizada por tratamento térmico, por forma a que o material lenhoso possa ser utilizado para fins industriais. Esse tratamento consiste no aquecimento das pranchas de madeira em estufa de secagem com controlo de temperatura, para que o seu centro esteja a 56°C durante 30 minutos.

Para verificar se estas metodologias de pasteurização são suficientes para salvaguardar o valor tecnológico da madeira maciça é essencial a realização de estudos relativos ao seu comportamento mecânico.

No presente trabalho foi dado como adquirido o padrão de alteração anatómica acima descrito, tendo-se sido atribuída prioridade ao estudo do comportamento mecânico em amostras de madeira com e sem sintomatologia, após os tratamentos indicados para controlo da infecção de nemátodo, para verificar modificações na aptidão tecnológica da madeira. Pretendeu-se também validar, por via expedita, a qualificação tecnológica do material afectado, após realização dos tratamentos térmicos indicados.

Estas questões assumem particular relevância prática face ao recente surto de ataque de nemátodo no pinheiro bravo em Portugal. É claro que a estratégia desenvolvida no trabalho não invalida a realização de estudos complementares de aprofundamento dos mecanismos de alteração micro-estrutural do material lenhoso em consequência do ataque.

Material e métodos

O material de estudo consistiu em 66 tábuas de madeira de dimensões 250 cm × 40 cm × 5 cm, provenientes de árvores de pinheiro bravo (*Pinus pinaster* Ait.) de zonas demarcadas de infecção, na região da Península de Setúbal. As tábuas foram desfiadas e secas em estufa nas instalações da empresa de serração de madeiras A. Silva & Silva (Seixal, Portugal).

Das 66 tábuas, 33 derivaram de árvores com sintomatologia de doença

de nemátodo (*com*) e as restantes de árvores sem sintomatologia (*sem*). A ocorrência de sintomatologia foi detectada segundo os protocolos relativos à detecção de ataque de nemátodo, os quais, como se referiu, prevêm um isolamento das áreas afectadas, bem como uma monitorização rigorosa do percurso do material lenhoso dessas áreas desde o abate até à recepção na unidade industrial para tratamento térmico. As tábuas foram em seguida convertidas em ripas, das quais se retiraram provetes com diferentes dimensões conforme o ensaio a efectuar. Retiraram-se, por cada tábua, 4 provetes para ensaio de flexão estática, 4 provetes para densidade e 4 provetes para compressão axial, como indicado na Figura 3, aproveitando-se 200 provetes para a flexão estática, 200 para a compressão axial e 200 para a avaliação da densidade e teor em água. O esquema de marcação de provetes para as tábuas seleccionadas é o que se apresenta na citada figura. Os provetes foram retirados de forma a incluírem os anéis de crescimento afastados da medula e a não conterem nós de madeira.

No Quadro 1 são indicadas as dimensões, número de provetes e Normas de execução dos ensaios.

A densidade e o teor de água dos provetes foram determinados segundo

os procedimentos mencionados nas normas NP 616 e NP 614, respectivamente, tendo sido também realizada a contagem dos anéis de crescimento por cm na direcção radial.

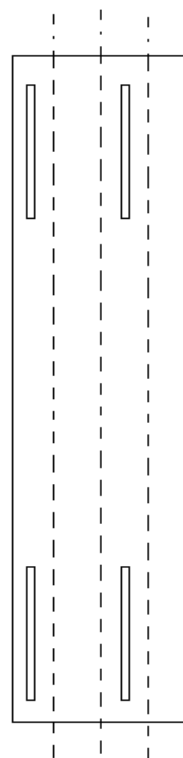


Figura 3 - Esquema de marcação dos provetes de tábuas de madeira de pinheiro (*Pinus pinaster* Ait.) com e sem sintomatologia de ataque de nemátodo

Quadro 1 - Dimensões e número de provetes para cada ensaio

Ensaio	Norma Portuguesa	Dimensões	Numero de Provetes			Velocidade de Ensaio
			Com	Sem	Total	
Resistência à flexão estática	NP 619	20 × 20 × 340 mm	100	100	200	100 N/s
Resistência à compressão axial	NP 618	20 × 20 × 60 mm	100	100	200	100 N/s
Densidade/Teor em água	NP 616/NP 614	20 × 20 × 20 mm	100	100	200	N/A

Os ensaios mecânicos de flexão estática e compressão axial foram efectuados na máquina de ensaios Amsler (Otto Wolpert Werke GmbH, Ludwigshagen, Alemanha), constituída por uma unidade de controlo e de medição 2750 equipada com um dinamómetro de tipo mola Amsler e uma máquina hidráulica TUZ, provida dos acessórios necessários. A máquina de ensaios está acoplada a uma placa de aquisição de dados que permite conjuntamente com o *software* LabView (programação em linguagem gráfica) a extracção e registo dos dados, como a interacção e controlo da força aplicada durante o ensaio, permitindo realizar ensaios estáticos e dinâmicos.

Cada ensaio mecânico foi programado em LabView, mediante a aplicação da carga em rampa, de modo a cumprir o requisito das Normas Portuguesas, segundo o qual a duração do ensaio estático seria aproximadamente de 3 minutos.

As técnicas adoptadas para os ensaios de flexão estática e compressão axial seguem as directivas estipuladas nas Normas Portuguesas NP 619 e NP 618, respectivamente. Considera-se que o teor de água dos provetes é de 12%.

A tensão de ruptura à compressão axial σ_{CA} (MPa) é dada por

$$\sigma_{CA} = \frac{F}{w^2} \quad \{1\}$$

sendo F a compressão axial (N) e w^2 a área da secção do provete (mm^2). A tensão de ruptura à flexão estática, σ_f (MPa), é dada por

$$\sigma_f = \frac{3P_{\max}\ell}{sbh^2} \quad \{2\}$$

em que P_{\max} é a carga máxima de ruptura (N), ℓ é a distância entre os pontos de suporte do provete (mm), b e h (mm) as

dimensões da área seccional do provete.

O módulo de elasticidade MOE (MPa), é dado por

$$MOE = \frac{P'\ell^3}{4bh^3f} \quad \{3\}$$

sendo b , h e ℓ as dimensões já definidas, P' a carga no limite do comportamento elástico (N) e f a deformação vertical linear (flecha, mm) do provete no limite elástico. Os parâmetros adicionais que foram registados são a cota estática,

$$C_{est} = \frac{\sigma_{CA}}{100\rho_{12}} \quad \{4\}$$

sendo ρ_{12} a massa volúmica relativa ao teor em água de 12%. A cota específica é dada por,

$$C_{est} = \frac{\sigma_{CA}}{100\rho_{12}^2} \quad \{5\}$$

a cota de flexão,

$$C_{flexão} = \frac{\sigma_F}{100\rho_{12}} \quad \{6\}$$

e a cota de tenacidade,

$$C_{tenacidade} = \frac{\sigma_F}{100\rho_{CA}} \quad \{7\}$$

A cota de tenacidade representa a razão entre a resistência à flexão estática e a resistência à compressão axial, sendo o seu valor típico para cada espécie de madeira. Os valores mais habituais situam-se entre 2,2 e 2,7. Valores inferiores a 2 são raros, podendo significar a presença de defeitos como fio diagonal da madeira ou madeira ardida (CARVALHO, 1996).

$$C_{rigidez} = \frac{l}{f} \quad \{8\}$$

A cota de rigidez mede a flexibilidade da madeira, sendo extremamente influenciada pela seu teor em água (CARVALHO, 1996).

O tratamento estatístico dos resultados foi realizado por recurso ao PROC GLM (do pacote informático SAS versão

9.1) e ao Programa STATISTICA (Release 6). Efectuou-se a avaliação da variabilidade das principais propriedades mecânicas, densidade (D) e número de anéis (A), em presença e ausência de sintomatologia (S), bem como à análise da significância da diferença de médias. Procedeu-se à avaliação da variabilidade das principais propriedades mecânicas com os valores médios dos quartis de densidade e número de anéis/cm. Procedeu-se ao cálculo da matriz de correlação englobando as variáveis: densidade, sintomatologia, n.º de anéis/cm, tensão de ruptura à compressão axial, tensão de ruptura à flexão estática e trabalho até à ruptura por flexão. A introdução da sintomatologia para o cálculo da matriz de correlação foi feita pela utilização de uma variável binária "sint" correspondente a 1 e 0, consoante o provete considerado apresentasse ou não sintomatologia. Efectuaram-se as análises bi- e trivariadas da resistência à flexão estática e resistência à compressão axial em função da densidade, número de anéis/cm e sintomatologia, considerando as respectivas interacções.

Finalmente, estabeleceram-se as regressões mais significativas das propriedades mecânicas, envolvendo as tensões de ruptura à compressão axial e flexão estática em função do número de anéis e densidade, para os provetes com e sem sintomatologia.

Resultados e discussão

Valores médios de propriedades físicas e mecânicas

O teor em água médio global

determinado foi de 11,9%. A determinação dos resultados de propriedades mecânicas e da densidade foram assim realizados ao teor em água de referência (12%) referida nas Normas Portuguesas indicadas.

No Quadro 2 são indicados os valores médios das propriedades estudadas para as classes de provetes de madeira com e sem sintomatologia de ataque.

No mesmo Quadro são também indicadas as diferenças percentuais entre os valores médios das classes de provetes com e sem sintomatologia, bem como os respectivos testes de significância de diferença de médias. Os resultados dos testes são considerados significativos quando o respectivo valor de prova é inferior a 0,05.

Pode observar-se que, em regra, os valores médios obtidos para provetes com sintomatologia de doença de nemátodo eram inferiores aos valores obtidos em provetes de madeira sem sintomatologia, sendo excepção a cota de tenacidade, em que os valores médios são iguais. Também as diferenças entre médias das propriedades, correspondentes a provetes com e sem sintomatologia de ataque, são em geral significativas. Pelo Quadro 2 pode também verificar-se que a ocorrência de sintomatologia esteve associada a um acréscimo significativo do número de anéis/cm (+42%) e a um decréscimo igualmente significativo da densidade (-4%). As cotas estática, de flexão, de tenacidade e de rigidez foram obtidas usando as unidades de massa (kg), força (kg_f) e comprimento (cm) referidas por CARVALHO (1996).

Quadro 2 - Médias e teste de diferenças de médias para as classes de provetes com e sem sintomatologia

	Total ($\mu \pm \sigma$) (CV(%))	Com ($\mu \pm \sigma$) (CV(%))	Sem ($\mu \pm \sigma$) (CV(%))	Varição com a Presença de NMP (%)	P-Value do Teste da Significância da Diferença entre as Médias
Densidade (kg/m ³)	548 ± 74 (14%)	537 ± 96 (18%)	559 ± 52 (9%)	- 4%	0,04
Nº Anéis/cm	9 ± 3 (30%)	8 ± 2 (30%)	11 ± 3 (31%)	+ 42%	0,00
Tensão de ruptura à flexão Estática (MPa)	131 ± 24 (18%)	125 ± 25 (20%)	138 ± 23 (17%)	-10%	0,00
Módulo de elasticidade (MPa)	28557 ± 5215 (18%)	27150 ± 5337 (20%)	29964 ± 5093 (17%)	- 10%	0,00
Tensão de ruptura à compressão axial (MPa)	58 ± 10 (17%)	55 ± 11 (20%)	62 ± 9 (15%)	- 13%	0,00
Trabalho até à ruptura de flexão estática (kJ/m ³)	99 ± 36 (37%)	95 ± 36 (38%)	103 ± 37 (36%)	- 8%	0,12
Cota específica (m ³ /Kg)	19,4 ± 3,1 (18%)	19,2 ± 4,3 (22%)	19,6 ± 3 (16%)	-2%	0,68
Cota estática	10,4 ± 2 (14%)	10 ± 1 (14%)	10,8 ± 1 (12%)	- 8%	0,00
Cota de flexão	23,5 ± 4 (16%)	23 ± 4 (15%)	24 ± 3 (13%)	- 5%	0,02
Cota de tenacidade	2,3 + 0,4 (17%)	2,3 + 0,3 (14%)	2,3 + 0,4 (19%)	-	-
Cota de rigidez	35 + 12 (33%)	33 + 10 (31%)	38 + 13 (36%)	- 14%	0,01

Densidade

A densidade da madeira de pinheiro bravo, tanto no conjunto total de provetes analisados como para cada sintomatologia, apresenta valores dentro da gama de valores publicados na literatura obtidos por exemplo por CARVALHO (1996) e FONSECA (1989). A densidade da madeira com ataque de nemátodo é inferior em 4% à densidade de madeira sem ataque. Pode constatar-

se pelo Quadro 2 que o decréscimo dos valores da densidade da madeira foi menos significativo que o decréscimo dos valores de propriedades mecânicas como o módulo de elasticidade, as tensões de ruptura à flexão estática e compressão axial.

Os valores de densidade obtidos neste estudo são da mesma ordem de grandeza dos valores de madeira de pinheiro bravo indicados em referências

como CARVALHO (1996, 1970) e FONSECA (1989). Esses valores permitem classificar a madeira de pinheiro bravo estudada como moderadamente pesada, de acordo com a Norma NP-614.

Tensão de ruptura à flexão estática e módulo de elasticidade

A partir das curvas de carga - deformação dos provetes, foi possível determinar a tensão de ruptura à flexão estática bem como o módulo de elasticidade, de acordo com as Eqs. {2} e {3}. Estabeleceu-se que a carga de ruptura ocorria quando houvesse mais de 30% de variação de deformação entre dois valores registados consecutivos de carga. O módulo de elasticidade foi determinado a partir da análise da zona de declive constante das curvas de carga-deformação.

A resistência à flexão estática e o módulo de elasticidade diminuíram cerca de 10% para madeira com sintomatologia de NMP, em comparação com madeira sem sintomatologia. Ambas as diminuições foram significativas. Os valores de tensão de ruptura à flexão estática obtidos, com média global de 131 MPa, são comparáveis com os valores médios de 135 MPa para pinheiro bravo de Viana do Castelo, citados por CARVALHO (1996).

A madeira de pinheiro bravo estudada, com ou sem sintomatologia, é classificada como média, segundo a Norma NP 619 relativa à tensão de ruptura à flexão estática.

Tensão de ruptura à compressão axial

A resistência à compressão axial, com média global de 58 MPa, foi inferior à resistência à flexão estática, com média global de 131 MPa. Pelo Quadro 2, pode

observar-se que os valores médios obtidos para madeira com sintomatologia de ataque são inferiores em 13% em relação a madeira sem sintomatologia. Essa diferença foi significativa. Os valores de tensão de ruptura à compressão axial obtidos, com média global de 58 MPa, são comparáveis com os valores de 59 MPa, para pinheiro bravo de Viana do Castelo, citados por CARVALHO (1996).

Pelo Quadro 2 verifica-se também que a variabilidade da resistência à compressão axial medida pelo coeficiente de variação é superior em madeira com sintomatologia, 20%, à de 15% que se verifica em madeira sem NMP.

A madeira de pinheiro bravo estudada, com ou sem sintomatologia, é classificada como forte, segundo a Norma NP 618, relativa à tensão de ruptura à compressão axial.

Cota estática

De acordo com o Quadro 2, os valores médios de cota estática obtidos para provetes com sintomatologia de ataque com NMP são inferiores em 8% aos valores obtidos para provetes de madeira sem sintomatologia. A variabilidade de 14% observada em provetes provenientes de madeira com sintomatologia de ataque é por outro lado ligeiramente superior à de 12% observada em provetes de madeira sem sintomatologia.

A cota estática é uma grandeza que contribui para a caracterização de uma espécie em função do seu comportamento à compressão axial. Os valores médios de cota estática obtidos para os provetes de madeira com e sem sintomatologia, respectivamente 10 e 11, permitem uma classificação tecnológica da madeira de leve na classe superior (Quadro 3).

Quadro 3 - Classificação tecnológica portuguesa da madeira de resinosas através de valores de cota estática (adaptada de CARVALHO (1996))

Classe		Cota Estática
Inferior	Leve	< 8
	Moderadamente pesada	< 7
	Pesada	< 6
Média	Leve	8 a 9,6
	Moderadamente pesada	7 a 8,5
	Pesada	6 a 7,5
Superior	Leve	> 9,5
	Moderadamente pesada	> 8,5
	Pesada	> 7,5

Cota específica

A cota específica é um parâmetro que também possibilita a caracterização de uma espécie em função do seu comportamento à compressão axial.

Os valores médios obtidos neste estudo foram compreendidos entre 19,2 e 19,6, sendo que o valor mais elevado, em 2%, correspondeu à madeira sem sintomatologia. Segundo o Quadro 4, considera-se como branda a classificação tecnológica da madeira.

Quadro 4 - Classificação tecnológica portuguesa da madeira de resinosas através de valores de cota específica (adaptada de CARVALHO (1996))

Classe	Cota Específica
Branda	Entre 15 e 20
Moderadamente dura	Entre 12,5 e 15
Dura	Entre 10 e 12,5
Muito dura	-

Também se pode observar pelo Quadro 2 que a variabilidade da madeira em termos de cota específica foi superior para a madeira com sintomatologia de NMP, com coeficiente de variação de

22%, relativamente à madeira sem sintomatologia com coeficiente de variação de 16%.

Cota de flexão

De acordo com o Quadro 2, a cota de flexão média, 23, obtida para madeira com sintomatologia de NMP é inferior em 5% ao valor médio de 24 para a cota de flexão de madeira sem sintomatologia de NMP. Por outro lado, a variabilidade em cota de flexão observada em madeira sem sintomatologia de NMP (CV = 13%) é inferior à variabilidade observada em madeira com NMP (CV = 15%).

Os valores médios atribuem, segundo o Quadro 5, a designação de forte, podendo ser considerada madeira boa para carpintaria.

Cota de tenacidade

Pelo Quadro 2, os valores médios obtidos para a cota de tenacidade para provetes com e sem sintomatologia são de 2,3, podendo a madeira ser classificada, de acordo com o Quadro 6, como tenaz.

Cota de rigidez

Os valores de cota de rigidez são, de acordo com o Quadro 2, mais elevados, em cerca de 14%, na madeira sem sintomatologia relativamente à madeira com sintomatologia. Os valores médios de cota de rigidez são de 33 para madeira com sintomatologia e de 38 para madeira sem sintomatologia. A diferença foi considerada como significativa.

A variabilidade dos valores de cota de rigidez em madeira com sintomatologia de NMP é mais elevada do que a variabilidade observada em madeira sem

sintomatologia de NMP. Os valores médios obtidos correspondem a uma classificação como madeira moderadamente elástica (Quadro 7).

Variabilidade de propriedades mecânicas e densidade em função dos quartis do número de anéis/cm

Procedeu-se também ao estudo da variabilidade da densidade, tensões de ruptura à flexão estática e compressão axial e módulo de elasticidade em função dos quartis do número de anéis por cm.

Quadro 5 - Classificação tecnológica portuguesa da madeira de resinosas através de valores de cota de flexão (adaptada de CARVALHO (1996))

Classe	Cota de Flexão	Aptidão
Fraca	10 a 15	Inapropriada para carpintaria
Média	15 a 20	Aceitável para carpintaria
Forte	20 a 25	Boa para carpintaria

Quadro 6 - Classificação tecnológica portuguesa da madeira de resinosas através de valores de cota de tenacidade (adaptada de CARVALHO (1996))

Classe	Cota de Tenacidade	Aptidão
Pouco tenaz	< 2	Pouco apta para marcenaria
Tenaz	2 a 3	Utilizável em marcenaria
Muito tenaz	3 a 4	Boa para recorte e talha

Quadro 7 - Classificação tecnológica Portuguesa da madeira de resinosas através de valores de cota de rigidez (adaptada de CARVALHO, 1996)

Classe	Cota de Rigidez	Aptidão
Pouco elástica (rígida)	50 a 40	Madeiras "assadas" ou nodosas
Moderadamente elástica	40 a 30	Madeira para carpintaria
Elástica	30 a 20	Madeira para moldagem

No Quadro 8 estão indicados os valores médios e desvios-padrão das diversas propriedades, correspondentes aos quartis do número de anéis/cm. No Quadro 8 consideraram-se as classes de madeira com sintomatologia, sem sintomatologia e totais.

Como regra, os valores médios tiveram uma tendência ascendente, sendo em geral significativas as diferenças entre as médias das diversas propriedades relativas aos quarto e primeiro quadrantes de número de

anéis/cm.

As Figuras 4 a 8 ilustram alguns dos resultados indicados no Quadro 8. Na Figura 4 é indicada a evolução dos quartis do número de anéis/cm. Nas Figuras 5 a 8 são ilustradas as variações, com os quartis de n.º de anéis de crescimento/cm da madeira a 12% de teor em água, da densidade, das tensões de ruptura de compressão axial e flexão estática e módulo de elasticidade, respectivamente.

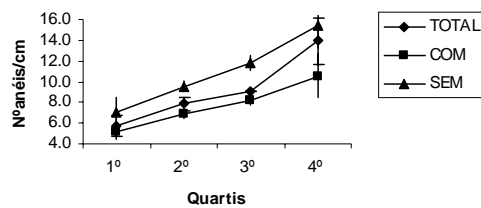


Figura 4 - Variação do n.º de quartis de anéis/cm

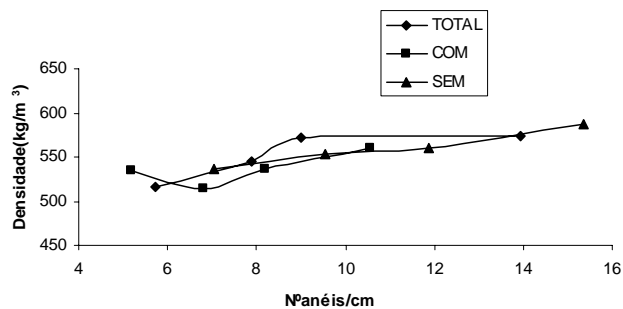


Figura 5 - Variação da densidade da madeira a 12% de teor em água com os quartis do n.º de anéis/cm

Quadro 8 – Variabilidade das propriedades com os quartis do número de anéis/cm

	Número de Anéis/cm ($\mu \pm \sigma$)			Densidade (kg/m ³) ($\mu \pm \sigma$)			Tensão de Ruptura à Compressão Axial (MPa) ($\mu \pm \sigma$)			Módulo de Elasticidade (MPa) ($\mu \pm \sigma$)			Tensão de Ruptura à Flexão Estática (MPa) ($\mu \pm \sigma$)		
	Sint.	Sem sint.	TOTAL	Sint.	Sem sint.	TOTAL	Sint.	Sem sint.	TOTAL	Sint.	Sem sint.	TOTAL	Sint.	Sem sint.	TOTAL
1.º quartil	5,2±0,8	7,0±1,5	5,7±1,0	535,3± 116,1	535,7± 56,1	516,4± 191,6	49,23± 10,49	56,92± 8,37	50,73± 10,53	25398,3± 5422,1	27386,9± 8366,3	25280,9± 4514,6	116,625 + 20,73	125,76 19,89	116,09 ± 15,24
2.º quartil	6,8±0,4	6,8±0,4	7,9±0,6	515,0± 91,1	553,9± 46,5	544,9± 81	53,73± 9,66	61,41± 8,08	57,28± 9,66	25277,9± 4018,0	29902,3± 8082,6	27674,1± 4990,1	116,07 ± 22,91	137,31 25,68	127,07 ± 19,93
3.º quartil	8,2±0,4	8,2±0,4	9,0±0,0	536,7± 100,1	559,5± 40,2	571,8± 52,6	56,15± 7,43	62,27± 8,30	62,57± 7,43	27846,8± 5346,0	29928,3± 8296,7	30868,1± 4666,4	127,87 ± 21,43	137,43 19,05	141,74 ± 15,25
4.º quartil	10,6±2,0	10,6±2,0	13,9±2,2	560,2± 69,6	586,6± 51,9	573,4± 47,9	59,17± 7,65	65,78± 10,01	63,45± 9,55	30076,7± 5209,5	32638,2± 10005,7	31098,2± 5233,0	138,11 ± 23,90	149,87 23,13	142,80 ± 26,05
Valor de prova das diferenças de médias entre o 1º e o 4º quartil	0,000	0,000	0,000	0,395	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000

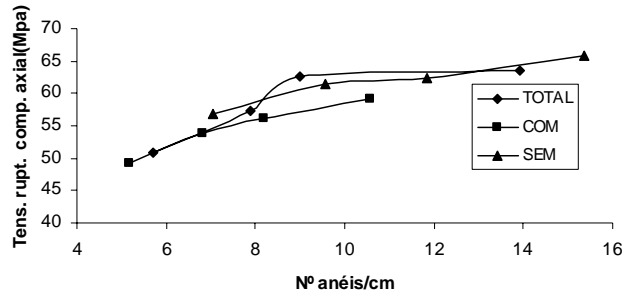


Figura 6 - Variação da tensão de ruptura à compressão axial com os quartis do n.º de anéis/cm

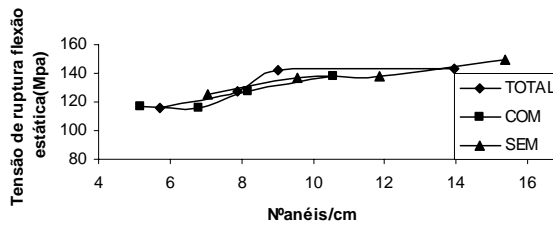


Figura 7 - Variação da tensão de ruptura à flexão estática em função do n.º de anéis/cm

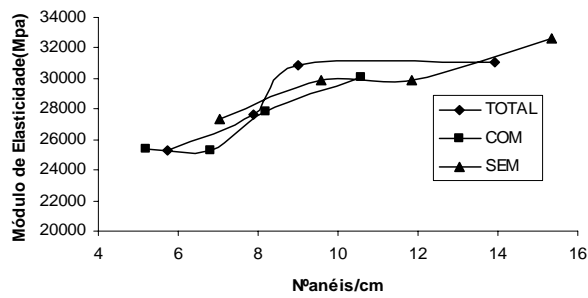


Figura 8 - Variação do módulo de elasticidade com os quartis de n.º de anéis/cm

Nos Quadros 9, 10, 11 e 12 são apresentadas as equações relativas às variações ascendentes da densidade a 12% de teor em água, das tensões de ruptura, compressão axial, flexão estática e módulo de elasticidade relativamente aos quartis dos anéis, respectivamente. Essas equações são em geral polinômios de segundo grau.

Quadro 9 - Equações polinomiais relativas à variação da densidade de madeira a 12% de teor em água com os quartis do número de anéis/cm

Total	$y = -1,6948x^2 + 40,523x + 338,23$ $R^2 = 0,9547$
Com	$y = -2,0581x^3 + 50,989x^2 - 400,6x + 1528,4$ $R^2 = 1$
Sem	$y = 0,1327x^2 + 2,8877x + 510,11$ $R^2 = 0,9767$

Quadro 10 - Equações polinomiais relativas à variação da tensão de ruptura à compressão axial (MPa) com os quartis de anéis/cm

Total	$y = -0,3616x^2 + 8,7056x + 12,436$ $R^2 = 0,9703$
Com	$y = -0,2116x^2 + 5,1619x + 28,214$ $R^2 = 0,9992$
Sem	$y = -0,0556x^2 + 2,2562x + 44,073$ $R^2 = 0,9653$

Quadro 11 - Equações polinomiais relativas à variação da tensão de ruptura à flexão estática (MPa) com os quartis do número de anéis/cm

Total	$y = -0,7243x^2 + 17,667x + 37,54$ $R^2 = 0,9199$
Com	$y = 0,4921x^2 - 3,4547x + 120,22$ $R^2 = 0,9316$
Sem	$y = -0,0275x^2 + 3,3037x + 104,95$ $R^2 = 0,9296$

Quadro 12 - Equações polinomiais relativas à variação do módulo de elasticidade (MPa) com os quartis do número de anéis/cm

Total	$y = -157,73x^2 + 3847,5x + 8175,4$ $R^2 = 0,9199$
Com	$y = 107,17x^2 - 752,36x + 26181$ $R^2 = 0,9316$
Sem	$y = -5,9815x^2 + 719,47x + 22856$ $R^2 = 0,9296$

A partir das Figuras 5 a 8 e dos Quadros 9 a 12 podemos inferir que os valores médios de densidade da madeira aumentaram com o número de anéis/cm, tendência acompanhada de um aumento simultâneo do módulo de elasticidade e das tensões de ruptura à flexão estática e compressão axial. Estas tendências são comuns às classes de madeira, total, com e sem sintomatologia.

Variabilidade de propriedades mecânicas e densidade em função dos quartis da densidade da madeira a 12% de teor em água

Foi igualmente estudada a variabilidade do número de anéis/cm, tensões de ruptura à flexão estática e compressão axial e módulo de elasticidade em função dos quartis da densidade da madeira. No Quadro 13, estão indicados os valores médios e desvios-padrão das diversas propriedades para os quartis da densidade da madeira com 12% de teor em água.

As Figuras 9 a 13 ilustram alguns dos resultados indicados no Quadro 13. Na Figura 9 está indicada a variação dos quartis de densidade. Nas Figuras 10 a 13 estão indicadas, respectivamente, as variações do número de anéis de crescimento/cm, das tensões de ruptura à compressão axial e flexão estática e do módulo de elasticidade com os quartis de densidade.

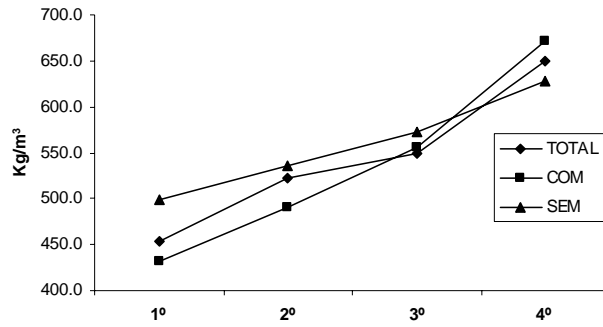


Figura 9 - Variação dos quartis da densidade

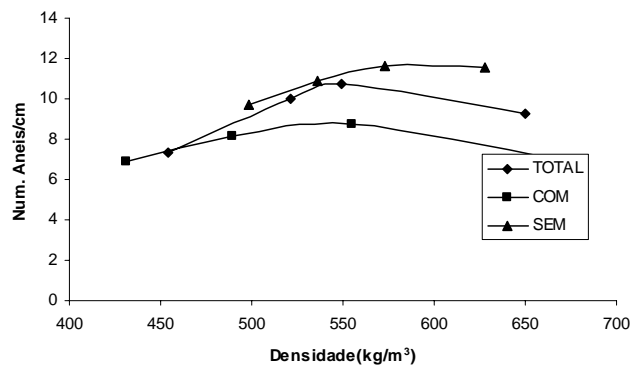


Figura 10 - Variação do número de anéis/cm com os quartis de densidade da madeira a 12% de teor de água

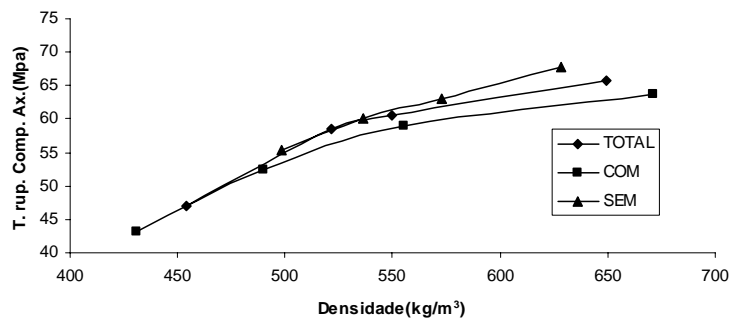


Figura 11 - Variação da tensão de ruptura à compressão axial (MPa) com os quartis de densidade da madeira a 12% de teor em água

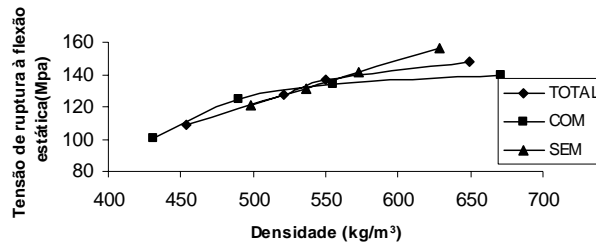


Figura 12 - Variação da tensão de ruptura à flexão estática (MPa) com os quartis de densidade da madeira a 12% de teor de água

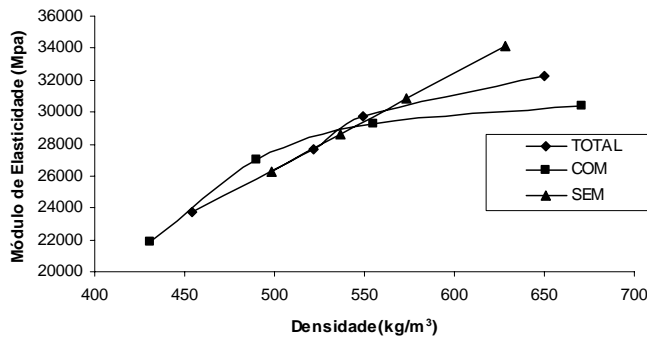


Figura 13 - Variação do módulo de elasticidade (MPa) com os quartis de densidade da madeira a 12% de teor em água

Quadro 14 - Equações polinomiais representativas da variação do número de anéis/cm com os quartis de densidade da madeira a 12% de teor de água

Total	$y = -0,0002x^2 + 0,2841x - 70,514$ $R^2 = 0,9962$
Com	$y = -0,0001x^2 + 0,1373x - 29,276$ $R^2 = 0,9985$
Sem	$y = -0,0002x^2 + 0,2329x - 58,217$ $R^2 = 0,9973$

Os Quadros 14 a 17 apresentam respectivamente as equações polinomiais

relativas às variações com os quartis de densidade do número de anéis de crescimento/cm, das tensões de ruptura à compressão axial e flexão estática e do módulo de elasticidade, respectivamente. As três últimas variações são em regra ascendentes.

A variação ascendente é consequência do aumento, que é usual, dos valores médios das propriedades mecânicas com a densidade da madeira. A referida tendência ascendente é comum às classes de madeira total, com e sem sintomatologia.

Quadro 15 - Equações polinomiais relativas à variação da compressão axial (MPa) vs. densidade da madeira a 12% de teor em água

Total	$y = -0,0005x^2 + 0,6641x - 148,22$ $R^2 = 0,9976$
Sem	$y = -0,0002x^2 + 0,2933x - 46,809$ $R^2 = 0,9979$
Com	$y = -0,0004x^2 + 0,4916x - 99,92$ $R^2 = 0,9996$

Quadro 16 - Equações polinomiais relativas à variação da tensão de ruptura à flexão estática (MPa) vs. quartis de densidade

Total	$y = -0,0007x^2 + 1,0085x - 198,32$ $R^2 = 0,9944$
Com	$y = -0,0011x^2 + 1,3226x - 272,32$ $R^2 = 0,989$
Sem	$y = -3E-05x^2 + 0,3094x - 26,062$ $R^2 = 1$

Quadro 17 - Equações polinomiais relativas à variação do módulo de elasticidade (MPa) vs. quartis de densidade de madeira a 12% de teor em água

Total	$y = -0,1592x^2 + 219,63x - 43191$ $R^2 = 0,9944$
Com	$y = -0,2302x^2 + 288,02x - 59306$ $R^2 = 0,989$
Sem	$y = 60,146x - 3652,3$ $R^2 = 1$

São exceções ao padrão de variação ascendente geral as variações entre o número de anéis de crescimento/cm e a densidade expressas nas Figuras 5 e 12. Nessas Figuras, pode notar-se, para as três classes de madeira (com sintomatologia, sem sintomatologia e total) uma estabilização do aumento da densidade da madeira a 12% de teor em água para valores do número de anéis de

crescimento/cm superiores a 10 (Figura 12) e do aumento do número de anéis de crescimento/cm para valores de densidade superiores a 550 kg/m³.

Matriz de correlação

No Quadro 18 são indicados os valores das correlações relativamente às propriedades sintomatologia, densidade, número de anéis/cm, tensões de ruptura à compressão axial e flexão estática e trabalho de ruptura à flexão estática, para a totalidade dos provetes estudados com e sem sintomatologia. Pode constatar-se que o número de anéis/cm e as tensões de ruptura à compressão axial e flexão estática são as variáveis com maior correlação, respectivamente 0,5, 0,34 e 0,26 com a sintomatologia. As tensões de ruptura à flexão estática e à compressão axial são as propriedades mecânicas com maior correlação, respectivamente de 0,59 e 0,63 com a densidade. Estes resultados da matriz de correlação permitem atribuir relevância às tensões de ruptura à compressão axial, flexão estática e número de anéis de crescimento/cm, para uma modelação estatística relativa ao impacto da sintomatologia de nemátodo na madeira de pinheiro.

Análise de variância

Realizou-se o estudo de análise de variância trivariada (Quadro 19) para interpretar a variabilidade dos resultados médios relativos à compressão axial, flexão estática e módulo de elasticidade com a densidade da madeira a 12% de teor em água, número de anéis de crescimento/cm e sintomatologia. Verificou-se que a compressão axial foi a propriedade em que, simultaneamente,

as contribuições das três interacções entre variáveis (Quadro 18), em que a biviariadas para a variação total não foram significativas e as contribuições devidas às três variáveis dependentes o número de anéis de crescimento / cm eram as variáveis com maior correlação foram. Esta conclusão está conforme ao relativamente à presença de verificado com a matriz de correlação sintomatologia.

Quadro 18 - Matriz de correlação das principais variáveis

	Sinto	Densidade	Anéis	Comp. Axial	Fl. Estática	Trab. Rupt. Flexão
Sint.	1,00	0,14	0,50	0,34	0,26	0,11
Dens.	0,14	1,00	0,15	0,63	0,59	0,09
Anéis	0,50	0,15	1,00	0,36	0,33	0,17
Comp. axial	0,34	0,63	0,36	1,00	0,61	0,11
Fl. estática	0,26	0,59	0,33	0,61	1,00	0,53
Trab. rup. fl.	0,11	0,09	0,17	0,11	0,53	1,00

Quadro 19 - Estudo de análise de variância relativo às tensões de ruptura à flexão estática e compressão axial considerando como factores a sintomatologia(S), a densidade(D) e o número de anéis de crescimento/cm (A) e respectivas interacções

Fonte de Variação	Tipo 1			
	SS1	% VAR	F	Valor de Prova
Flexão Estática Modelo global	5,7E+10	47%	24,5	<0,0001
S	8,3E+09	7%	24,9	<0,0001
D	3,9E+10	32%	115	<0,0001
A	4E+09	3%	11,9	0,0007
D*S	2E+09	2%	6,04	0,0149
A*S	2,4E+08	0%	0,71	0,401
D*A	2,8E+09	2%	8,36	0,0043
D*A*S	1,5E+09	1%	4,51	0,035
Total	1,2E+11	-	-	-
Compressão Axial Modelo global	1,2E+10	52%	30,1	<0,0001
S	2,5E+09	11%	45,2	<0,0001
D	7,7E+09	35%	141	<0,0001
A	6,3E+08	3%	11,6	0,0008
D*S	3,2E+07	0%	0,58	0,4474
A*S	8,5E+07	0%	1,55	0,2144
D*A	1,2E+07	0%	0,22	0,643
D*A*S	5,9E+08	3%	10,7	0,0012
Total	2,2E+10	-	-	-

Os estudos de análise de variância bivariada confirmaram a adequação dos resultados da tensão de ruptura à compressão axial para possível indicação de ocorrência de sintomatologia de ataque de nemátodo. No Quadro 20 estão indicadas as análises de variância para os modelos bivariados em que a tensão de ruptura à compressão axial é a variável dependente, podendo verificarse a significância das contribuições devidas à sintomatologia, bem com a ausência de significância da contribuição dos efeitos de interacção Sintomatologia *Número de anéis/cm, Sintomatologia

*Densidade e Número de anéis/cm *Densidade para a variabilidade total dos resultados médios de tensão de ruptura à compressão axial. As interacções correspondentes para os estudos de análise de variância bivariada, não mostradas, em que a variável dependente foi a tensão de ruptura à flexão estática, revelaram que as interacções Sintomatologia * número de anéis/cm não eram significativas, sendo que foram significativos os efeitos isolados das variáveis sintomatologia, densidade e número anéis de crescimento/cm.

Quadro 20 - Estudo de análise de variância relativo à compressão axial considerando como factores a sintomatologia(S), a densidade(D) e o número de anéis de crescimento / cm(A) e respectivas interacções

	% VAR	F	Valor de Prova
CA = f (S, A, S*A)	16,18%	12,61	<0,0001
S	11,23%	26,26	<0,0001
A	4,93%	11,52	0,0008
S*A	0,01%	0,03	0,8564
CA = f (S, D, S*D)	46,66%	57,16	<0,0001
S	11,23%	41,28	<0,0001
D	34,96%	128,47	<0,0001
S*D	0,47%	1,74	00,1886
CA = f (A, D, A*D)	47,47%	59,04	<0,0001
A	12,90%	48,13	<0,0001
D	34,39%	128,31	<0,0001
A*D	0,18%	0,67	0,4149
CA = f (A, D, A*D) com sintomatologia	53,88%	37,39	<0,0001
A	3,54%	7,37	0,0079
D	47,00%	97,83	<0,0001
A*D	3,34%	6,96	0,0097
CA = f (A, D, A*D) sem sintomatologia	36,03%	18,02	<0,0001
A	8,31%	12,47	0,0006
D	25,03%	37,56	<0,0001
A*D	2,69%	4,04	0,0472

Equações de regressão

Efectuou-se igualmente o ajustamento de modelos de regressão linear em que as variáveis dependentes eram a tensão de ruptura à compressão axial, a tensão de ruptura à flexão estática. Pelo Quadro 21, pode verificar-se que a equação que relacionava a tensão de ruptura à compressão axial com o número de anéis de crescimento/cm e o logaritmo neperiano da densidade da madeira a 12 % de teor em água, foi a que se revelou mais adequada para caracterizar o comportamento mecânico da madeira com sintomatologia.

Conclusões

Os resultados mostraram que as alterações nas propriedades físicas e mecânicas do material lenhoso com sintomatologia de ataque de nemátodo não foram suficientes para alterar o seu valor tecnológico. Considerando estabelecido o padrão de autores como JACOBSEN *et al.* (2005) de alteração de estrutura anatómica do material lenhoso, importava quantificar o

impacto de tal alteração no comportamento mecânico e aptidão tecnológica da madeira.

O ataque traduziu-se por uma degradação das principais propriedades mecânicas, sem comprometimento da qualificação tecnológica da madeira, sendo que a diminuição da densidade do material lenhoso com o ataque não foi tão significativa. Tal facto permitirá inferir que as modificações induzidas pela população de nemátodo poderão ter sido de enfraquecimento, derivado por exemplo da cavitação celular, ou ataque pontual da estrutura secundária das paredes celulares. Tais modificações, insuficientes para induzir reduções substanciais na densidade da madeira, terão permitido algum colapso na estrutura das paredes celulares sob carga mecânica. A maior variabilidade dos resultados mecânicos na madeira com sintomatologia poderá resultar de heterogeneidade espacial da intensidade do ataque, induzindo, ou reforçando, um enfraquecimento diferencial na estrutura do material lenhoso.

Quadro 21 - Coeficientes de regressão para os diversos modelos lineares

Tensão de Ruptura à Compressão Axial (MPa)					
	Termo de Intercepção ($\mu \pm \sigma$)	Número de Anéis de Crescimento/cm ($\mu \pm \sigma$)	Intensidade (kg/m^3) ($\mu \pm \sigma$)	Valor de Prova	Coefficiente de Determinação
Total	-237,95 ± 23,98	0,79 ± 0,16	45,84±3,84	< 0,0000	0,49
Madeira sem Sintomatologia	-269,86±53,30	0,42 ± 0,23	51,70±8,53	< 0,0000	0,34
Madeira com Sintomatologia	-223,87± 26,75	0,85 ± 0,32	43,37± 4,25	< 0,0000	0,54
Tensão de Ruptura à Flexão Estática (MPa)					
Total	-521,58 ± 59,99	1,7 ± 0,41	101,15 ± 9,62	< 0,0000	0,43
Madeira sem Sintomatologia	-798,83 ± 129,51	1,05 ± 0,57	146,31 ± 20,72	< 0,0000	0,4
Madeira com Sintomatologia	-442,28 ± 68,84	1,74± 0,83	88,2±10,94	< 0,0000	0,42

A matriz de correlação entre variáveis e os resultados de análise de variância e regressão, revelaram as tensões de ruptura à compressão axial e à flexão estática, em conjugação com o número de anéis de crescimento por cm, como os indicadores mais favoráveis da ocorrência de sintomatologia de ataque do nemátodo.

Como regra, a um maior número de anéis de crescimento por cm correspondeu um aumento da densidade da madeira, bem como da sua resistência mecânica em termos das tensões de ruptura à compressão axial, flexão estática e módulo de elasticidade.

Esta tendência verificou-se independentemente da presença de sintomatologia de ataque.

Finalmente, pode ainda ser concluído que a estabilização térmica da madeira por secagem em estufa, permitindo a neutralização do NMP, permitiu a manutenção da sua validade para utilizações tecnológicas enquanto material para carpintaria, marcenaria e construção.

O trabalho realizado deverá obviamente ser complementado por estudos específicos relativos às alterações anatómicas micro-estruturais da madeira, de modo a melhor ser verificada a interacção entre a alteração da estrutura do material lenhoso e o seu comportamento físico-mecânico.

Agradecimentos

Agradecemos aos colegas do Instituto Nacional dos Recursos Biológicos, António de Almeida Francisco, Isabel Tinoco de Faria dos Santos, Pedro Naves e Edmundo Sousa pelo apoio dado à elaboração dos provetes, contagem do

número de anéis de crescimento e delineamento experi-mental do trabalho. O trabalho foi financiado pelo projecto PIDDAC 205 "Estudo das alterações estruturais do material lenhoso de *Pinus Pinaster* (Ait.) em consequência do ataque de nemátodo de madeira (*Bursaphelenchus xylophyllus*" do ex- INIAP e enquadrou-se nas actividades dos Centros de Processos Químicos e de Eng.^a Biológica e Química (IST).

Bibliografia

- CARVALHO, A., 1996. Estrutura anatómica, Propriedades, Utilizações. *Madeiras Portuguesas* Vol. I e II.
- CARVALHO, A., 1970. Produção e exploração de madeiras - aspectos tecnológicos. Instituto Nacional de Investigação Industrial. *Colecção Madeira* nº 4.
- CONFAGRI, 2007. <http://www.confagri.pt/PoliticaAgricola/Sectores/Floresta/Pragas/-doc97.htm>.
- DWINELL, L.D., 1997. The Pinewood Nematode: Regulation and Mitigation. *Annu. Rev. Phytopathol.* **35** : 153-166.
- FONSECA, F.M.A.F., 1989. *Varição de algumas características na madeira de Pinus pinaster Ait.*. Dissertação de doutoramento em Engenharia Florestal, UTAD, Vila Real.
- IKEDA, T., KIYOHARA T., 1995. Water relations, xylem embolism and histological features of *Pinus thunbergii* inoculated with virulent or avirulent pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. *Journal of Experimental Botany* **46**(285): 441-449.
- IKEDA, T., 1996. Xylem Dysfunction in *Bursaphelenchus xylophilus*-infected *Pinus thunbergii* in Relation to Xylem Cavitation and Water Status. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* **63**: 554-558.
- JACOBSEN, A.L., EWERS, W.F., PRATT, B.R., PADDOCK III, DAVIS, W.A., STEPHEN D., 2005. Do Xylem Fibers Affect Vessel Cavitation Resistance? *Plant Physiology* **139**: 546-556.

- KURODA, K., 1991. Mechanism of cavitation development in the pine wilt disease. *Eur. J. For. Path.* **21**: 82-89.
- MACHADO, J.M.S.R.S., 2000. *Avaliação da variação das propriedades mecânicas de pinho bravo (Pinus Pinaster Ait.) por meio de ultrasons*. Tese de doutoramento em Engenharia Florestal, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- MOTA, M.M., BRAASCH, H., BRAVO, M.A., PENAS, A.C., BURGERMEISTER, W., METGE, K., SOUSA, E., 1999. First report of *Bursaphelenchus xylophilus* in Portugal and Europe. *Nematology* **1**: 727-734.
- NAVES, P., CAMACHO, S., SOUSA, E., QUARTAU, J., 2007a. Transmission of the pine wood nematode *Bursaphelenchus xylophilus* through oviposition activity of *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera: Cerambycidae). *Entomologica Fennica* **18**: 193-198.
- NAVES, P., CAMACHO, S., SOUSA, E., QUARTAU, J., 2007b. Transmission of the pine wood nematode *Bursaphelenchus xylophilus* through feeding activity of *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera; Cerambycidae). *Journal of Applied Entomology* **131**: 21-25.
- OLIVEIRA, H.C., 2005. *Propriedades físicas e mecânicas de madeiras de várias espécies, Relações hipsométricas para árvores de Pinheiro bravo (Pinus pinaster Aiton)*. Relatório de estágio da licenciatura em Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- PIRES, J., PENAS, A.C., BRAVO, M.A., 2002. O nemátodo da madeira do pinheiro em Portugal. *Investigação Agrária* **IV**(6): 74-75.
- Portal do Governo, 2008. http://www.portugal.gov.pt/portal/pt/governos/governos_constitucionais/gc17/ministerios/madrp/comunicacao/outros_documentos/20080506_madrp_doc_nematodo_pinheiro.htm
- RODRIGUES, A.M., 1983. *A aptidão da rolaria degradada do pinho bravo para o fabrico de placas de aglomerado – Contribuição para o seu estudo*. Trabalho final de curso, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- SHAHEEN, F., WINTER, R.E.K., BOLLA, R.I., 1984. Phytotoxin production in *Bursaphelenchus xylophilus*-infected *Pinus sylvestris*. *Journal of Nematology* **16**, **381**(1): 57-61.
- SOUSA, E., BRAVO, M., PIRES, J., NAVES, P., PENAS, A., BONIFÁCIO, L., MOTA, M., 2001. *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda; Aphelenchoididae) associated with *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera; Cerambycidae) in Portugal. *Nematology* **3**: 89-91.
- Entregue para publicação em Julho de 2008
Aceite para publicação em Outubro de 2008