

A RIQUEZA DAS MADEIRAS PORTUGUESAS.

TRANSFORMAÇÃO E DERIVADOS



aimmp

Associação das Indústrias de Madeira
e Mobiliário de Portugal

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO	11
2. TRANSFORMAÇÕES DA MADEIRA MACIÇA	17
2.1 Serragem	20
2.2 Padrão de serragem da madeira	25
2.3 Desenrolamento	26
2.4 Corte plano	27
2.5 Secagem da madeira	29
2.5.1 Princípios básicos da secagem	32
2.5.2 Secagem ao ar	35
2.5.3 Secagem artificial	38
2.5.4 Gradiente de secagem	40
2.5.5 Relação entre padrões de serragem e retrações	41
2.5.6 Defeitos resultantes da operação de secagem	42
2.5.7 Controlo final do gradiente de teor de água	43
2.5.8 Fendas de secagem	46
2.5.9 Colapso	48
2.5.10 Empenos	49
2.5.11 Condições básicas para boa condução prática de um processo de secagem	51
3. DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA E AGENTES DE DEGRADAÇÃO	55
4. ESTABILIZAÇÃO DIMENSIONAL DA MADEIRA	65
5. PROTEÇÃO SUPERFICIAL DA MADEIRA - ACABAMENTOS	71
6. MADEIRA MODIFICADA	77

6.1 Madeiras modificadas	79
6.2 Madeira furfurilada	79
6.3 Madeira termo-modificada	80
7. DERIVADOS DA MADEIRA	83
7.1 Contraplacados	85
7.2 Aglomerado de partículas	86
7.3 Aglomerado de fibras de alta densidade (HDF)	88
7.4 Aglomerado de fibras de média densidade (MDF)	89
7.5 OSB	90
7.6 MFC	92
8. BIBLIOGRAFIA	95
9. ÍNDICE DE FIGURAS	101
10. ÍNDICE REMISSIVO	107

1

INTRODUÇÃO





O material a que chamamos madeira foi aperfeiçoado pela natureza com uma finalidade muito concreta que foi o de sustentar uma copa de grandes dimensões e volume de folhagem, sujeita a grandes forças laterais do vento e por vezes da inclinação dos terrenos onde se encontra implantada. Para além destas exigências junta-se a necessidade de ter acesso a água do subsolo e à luz solar na zona das folhas. A competição mútua entre várias espécies florestais obrigou cada uma delas a procurar elevar-se mais alto para obter radiação solar em primeiro lugar. Por este motivo as árvores são os seres vegetais mais bem-sucedidos na estratégia competitiva do reino vegetal para conseguir as controversas condições vitais. As árvores tiveram de construir uma estrutura com grande resistência, de grandes dimensões em altura, flexível quanto baste, condutora de líquidos e compostos para alimentar a criação de mais material e compostos químicos que permitem defender-se do outros predadores animais e vegetais. É desta complexidade que surge o lenho que constitui o fuste das árvores e que mais tarde se transforma sucessivamente em troncos abatidos, pranchas e tábuas e finalmente na infinidade de produtos que chamamos de madeira, incluindo todos os seus derivados.

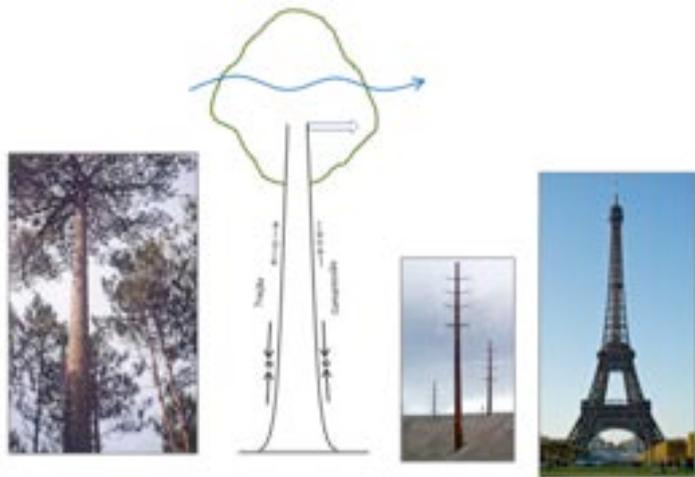
A madeira revelou desde tempos muito antigos ter as propriedades básicas para ajudar na vida cotidiana dos nossos antepassados, por variadíssimas razões destacando-se como as principais a sua disponibilidade, a facilidade ser trabalhada e as boas propriedades físicas e mecânicas. Foi assim que os primeiros abrigos de qualidade e conforto foram fabricados tendo a madeira como elemento fundamental para a estrutura das paredes e das coberturas. Depois terão vindo as utilizações para fabrico de armas de caça e toda a imensa variedade de artigos utilitários. Nalgumas regiões do Mundo a madeira constituiu até meados do

século XX a principal matéria-prima para a construção de habitações, tanto no campo como em grandes cidades como Tóquio.

Na figura 1 vê-se a razão da elevada eficiência do perfil dos troncos das árvores, mais tarde imitado em todos os tipos de estruturas elevadas, postes e torres.

Figura 1

Perfil otimizado de resistência à flexão.



2



TRANSFORMAÇÕES

DA MADEIRA

MACIÇA



A transformação da madeira consiste em utilizar um certo conjunto de equipamentos e operações tecnológicas que permitem obter materiais e produtos utilizáveis a partir da matéria-prima lenho acabado retirado do tronco de uma planta arbórea. Basicamente teremos de partir de um material com geometria tronco cilíndrica e com todo o seu espaço interior, de não lenho, saturado em água.

Tradicionalmente designam-se operações de 1ª transformação as que se realizam com amadeira ainda verde (designação usada quando a madeira está saturada ou quase saturada de água). A chamada 2ª transformação é a que corresponde às operações com a madeira já seca. Fica muitas vezes em dúvida qual a fronteira destas duas classificações. Seguindo a definição utilizada vamos considerar a secagem como 1ª transformação embora seja na realidade a fronteira das duas. Na figura 2 mostra-se um esquema das principais fases de transformação da madeira.

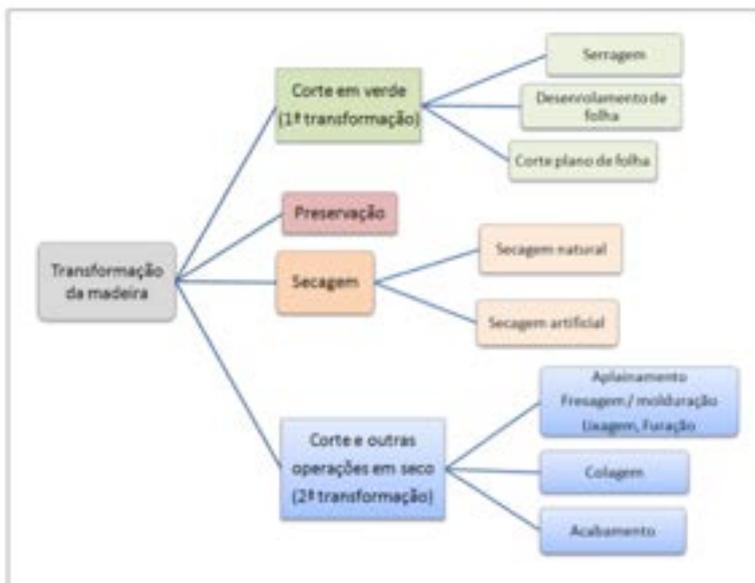


Figura 2

Designações para as diferentes fases e operações de transformação da madeira.

2.1 SERRAGEM

Embora seja habitual considerar-se a serragem como a primeira operação de transformação da madeira, por ser realizada em fábrica, na realidade há duas operações prévias que têm de ser realizadas ainda na floresta. A primeira é o abate da árvore e a segunda a toragem, figura 3. Estas operações têm implicações no processamento futuro, primeiro porque se mal realizadas podem induzir fendilhamentos internos e perdas de rendimento no aproveitamento da madeira, mas também que o tempo que medeia entre estas operações prévias e a serragem podem provocar nalgumas espécies uma secagem prematura dos extremos e também causar defeitos, tensões internas e perdas de material. Para uma boa serragem é recomendável que a serragem venha a ser realizada num intervalo de tempo não muito distante (alguns dias ou poucas semanas). Para os maiores intervalos de tempo devem os topos dos toros ser protegidos com algum tipo proteção contra a perda de humidade ou contaminação com fungos ou outros agentes biológicos.

Figura 3

Operação de toragem realizado na floresta.



A serragem consiste basicamente em transformar a madeira contida um perfil geométrico tronco-cilíndrico em pranchas de geometria de linhas direitas (essencialmente faces planas e paralelas).

A serragem é normalmente feita em serra de fita com carro (chamado "charriot"). Aos sucessivos planos de corte dá-se o nome de fios de corte. Nas figuras seguintes faz-se uma descrição do procedimento recomendado para abertura e toros de grande diâmetro, de forma a minimizar as perdas de material, permitir obter a maior quantidade possível de peças com o padrão de corte mais favorável e mais facilmente segregar as zonas de pior qualidade (lenho juvenil e medula). Estas operações otimizadas só são economicamente viáveis para toros de diâmetro acima e um determinados valor, digamos 35 cm.

Na Figura 4 mostram-se os primeiros cortes. O chamado primeiro fio consiste em tirar a primeira costaneira com uma profundidade que permita logo de seguida obter uma largura de peças com possibilidades de aproveitamento (2º fio).

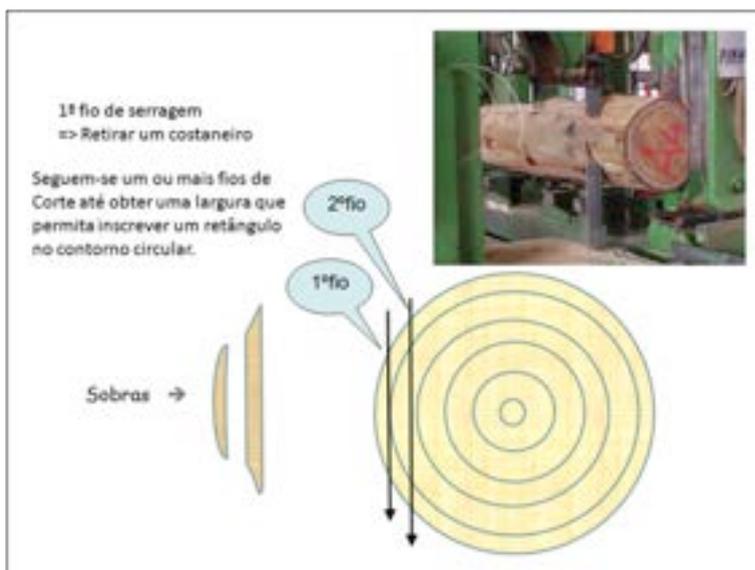


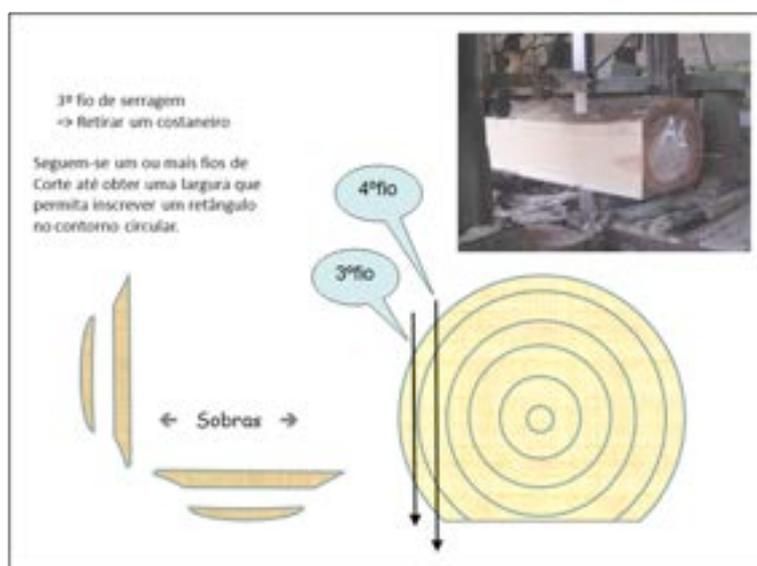
Figura 4

Operação de abertura otimizada de toros de grande diâmetro, primeiro e segundo fio.

Nos processos mais simples e com menos exigência de qualidade e/ou menores diâmetros, os planos de corte mantêm-se paralelos a estes primeiros até ao fim do toro. Para diâmetros suficientemente elevados recomenda-se uma rotação do toro de 90° e iniciar-se um procedimento semelhante ao anteriormente descrito. Na Figura 5 mostra-se um exemplo do corte do 3º e 4º fio. Obtém-se também um costaneiro e as pranchas seguintes começam a partir de um certo ponto já a ter um dos cantos retos.

Figura 5

Operação de abertura otimizada de toros de grande diâmetro, terceiro e quarto fio.



Na Figura 6 mostra-se a sequência de mais uma rotação de 90° voltando a retirar um costaneiro e algumas peças até atingir a largura de face pretendida para as tábuas a obter. Se o diâmetro do toro o permitir recomenda-se um fio de corte passando pela medula, 7º fio de corte na representação do modelo da Figura 6.

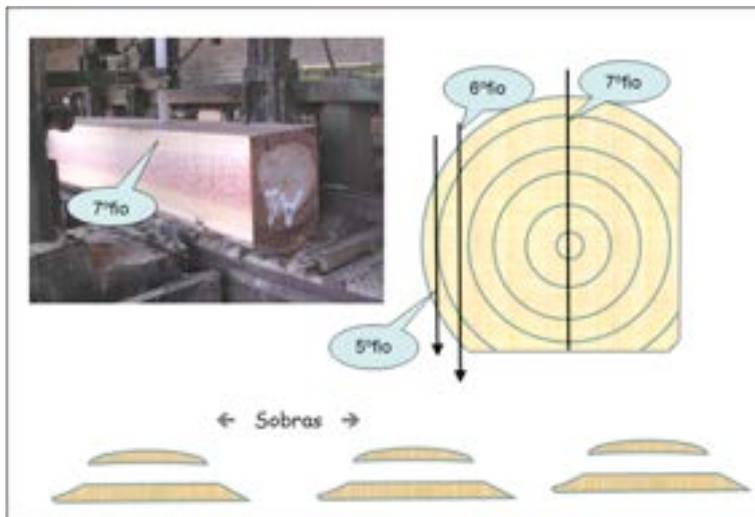


Figura 6

Operação de abertura otimizada de toros de grande diâmetro, terceiro e quarto fio.

Na sequência dos cortes anteriores obtêm-se um ou dois pranchões com espessura bem definida e quatro faces. O que permite de seguida retirar outras peças que ficam todas com a mesma largura, equivalendo a madeira alinhada e galgada, tal como representado no modelo da Figura 7.

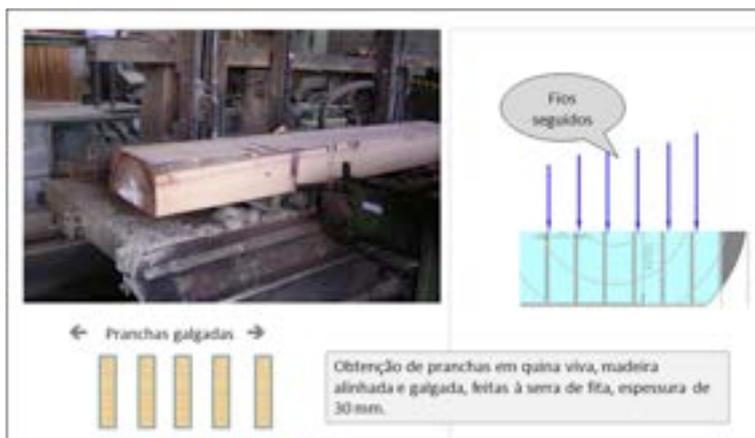


Figura 7

Operação de abertura otimizada de toros de grande diâmetro, terceiro e quarto fio.

Na Figura 8 vêem-se as três fases principais da operação de 1ª transformação da madeira maciça, a serragem propriamente dita e o empilhamento das pranchas com separadores como preparação para a operação de secagem.

Figura 8

Abertura de um toro por serragem, produção de tábuas e empilhamento para secagem.



No que diz respeito à qualidade temos de ter em conta que a zona central ao redor da medula é formada pelo lenho juvenil que dá madeira de características inferiores no que diz respeito à estabilidade dimensional, à resistência e também à durabilidade natural. O lenho juvenil que engloba as primeiras camadas de crescimento em redor da medula (até 4 a 6 camadas), deve ser rejeitado sempre que possível em madeiras onde se exige maior qualidade. Também a zona de borne ou transição entre cerne e borne apresenta anomalias comportamentais, razão pela qual se faz a recomendação de em toros de elevado diâmetro se rejeitar, ou pelo menos não lhe dar utilizações mais nobres, às zonas representadas pela mancha vermelha da Figura 9.

Figura 9

As zonas sombreadas a vermelho são de evitar para componentes com exigência de qualidade quanto a fendas e empenos, ou peças de elevados comprimentos.



2.2 PADRÃO DE SERRAGEM DA MADEIRA

Tal como referido na seção anterior, dependendo da forma como as pranchas ou tábuas são retiradas dos troncos de origem por serragem, as peças podem ficar com as camadas de crescimento predominantemente paralelas às maiores superfícies (o chamado corte tangencial), ou com as camadas de crescimento predominantemente perpendiculares às maiores superfícies (chamado corte radial). Entre estes dois padrões há uma infinidade de situações intermédias (padrão diagonal, mais ou menos próximo do tangencial e do radial), ver Figura 10.

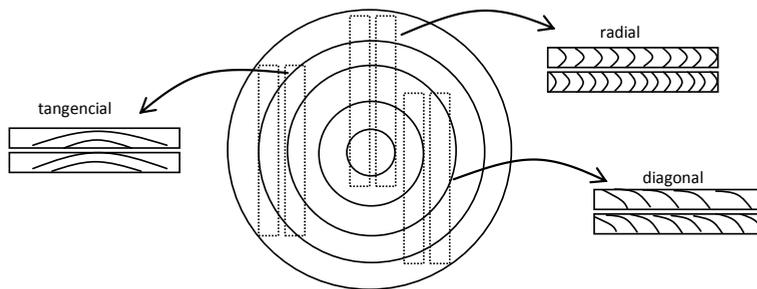


Figura 10

Padrões de serragem em função da origem das peças cortadas dos toros cilíndricos.

Para além dos efeitos nas retrações, inchamentos e empenos, a importância desta distinção entre corte tangencial e corte radial faz-se também ao nível do desenho das superfícies, podendo ser motivo de opção apenas por razões estéticas. Mas o mais importante é o comportamento dimensional que é muito diferente para as duas situações. Os movimentos da madeira (retrações e inchamentos) são, para a grande maioria das diferentes espécies de madeira natural, entre 1,5 a 2 vezes maiores na direção tangencial do que na direção radial. Isto tem fortes e negativas im-

plicações no comportamento em serviço, sendo provavelmente a primeira causa de não-conformidades e reclamações. Sempre que tecnicamente possível deve privilegiar o padrão de corte radial.

Existem variadíssimos padrões de serragem, cada um com especificações para cada tipo de produto, diâmetro do toro inicial, grau de exigência da qualidade, rendimento de matéria-prima ou tempo e custo de operação. Alguns exemplos mais comuns são os mostrados na Figura 11.

Figura 11

Outros exemplos de padrões de serragem



2.3 DESENROLAMENTO

O desenrolamento consiste em fazer rodar um toro de geometria cilíndrica quase perfeita, contra uma lâmina alinhada com a geratriz da superfície cilíndrica e assim obter folha de forma contínua até o diâmetro disponível o permitir, Figura 12. Neste tipo de operação os toros são em geral saturados em água e para algumas espécies são aquecidos em vapor para facilitar o corte. Existem outros acessórios de segurança do toro e barras de pressão junto ao gume de corte para impedir o rasgamento da folha.

Esta transformação tem muito pouco desperdício de matéria-prima, pois não geração de serrim ou aparas, apenas fica como subproduto o núcleo central que corresponde à pior qualidade da madeira (medula e lenho juvenil).

A folha obtida por este processo tem um desenho acentuadamente tangencial, com largas zonas faixas de lenho inicial e de lenho final. É o material ideal para a fabricação de contraplacados.

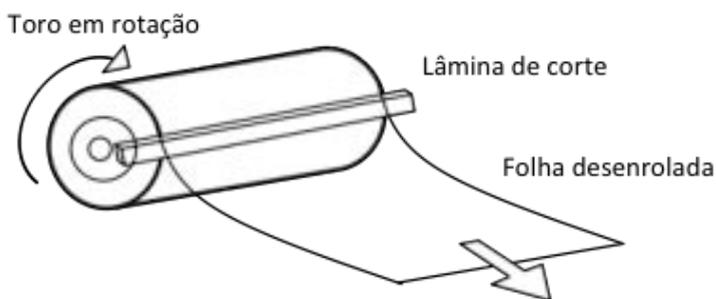


Figura 12
Desenrolamento de folha de madeira.

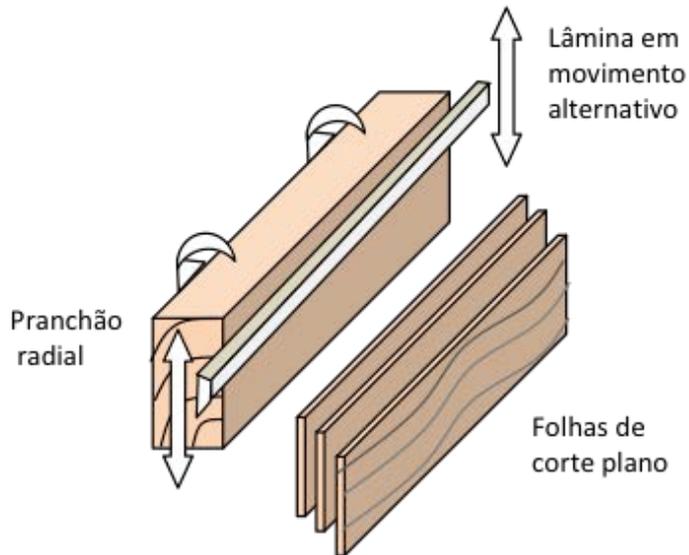
2.4 CORTE PLANO

O corte plano consiste em retirar folhas a partir do movimento alternativo de uma lâmina de corte que se desloca num mesmo plano enquanto a madeira vai avançando na medida da espessura da folha a retirar. Para este tipo de corte o toro inicial é preparado para que o corte siga determinados planos que permitam otimizar o desenho final da folha, habitualmente o desenho listado (corte num plano radial). Um esquema simplificado do processo é mostrado na Figura 13.

A folha obtida por corte plano consiste em elementos separados que podem ser de muito reduzida espessura (0,50 mm a 0,80 mm). A folha de corte plano está especialmente indicada para revestimentos de superfície de outras placas e derivados, portanto é feita com madeiras de muito boa qualidade.

Figura 13

Corte plano de folha de madeira.



Tanto as folhas obtidas por desenrolamento como as obtidas por corte plano têm de seguir um processo de secagem com os cuidados necessários para impedir empenos, rasgões ou fendas. Em determinados processos de fabrico as folhas individuais são cortadas e coladas entre si antes de aplicadas para o interior de contraplacados ou laminados, ou para revestimentos finais de superfícies, sobre outra madeira, sobre aglomerados de partículas ou de fibras.

2.5 SECAGEM DA MADEIRA

A secagem da madeira resulta da conjugação de dois fenómenos, nomeadamente da evaporação de água nas superfícies das pranchas e da circulação da água no interior da madeira até chegar à superfície. O primeiro pode ser regulado por condições exteriores como a ventilação, a humidade do ar exterior, a temperatura, que por sua vez dependem do local onde a madeira se encontra e da forma de empilhamento. O segundo depende intrinsecamente da constituição interna da madeira. Madeiras muito densas têm muito mais dificuldade em secar porque os espaços para circular a água são muito reduzidos.

Inicialmente o processo de secagem consiste numa rápida evaporação da água livre, não havendo por isso variação na dimensão das peças. Abaixo do P.S.F. as paredes celulares contraem-se devido à perda de água, o que resulta numa diminuição de espessura (fenómeno de retração).

O teor de água da madeira é definido na norma NP EN 13183-1:2002-pt, calculado pela expressão matemática (1)

$$H \% = \frac{P_H - P_0}{P_0} \times 100\% \quad (1)$$

Em que H % é o valor do teor de água, P_H o peso da madeira com a humidade H% e P₀ o peso da madeira após secagem a 100 °C até peso constante (peso anidro). No quadro I indicam-se as designações mais universalmente aceites para determinados limites do teor de água.

Quadro I

Designações correspondentes a determinados valores do teor de água da madeira.

- Madeira verde > 30 % (água livre + ligada)
- Madeira com teor em água do ponto de saturação das fibras PSF – 30 % (água ligada)
- Madeira comercialmente seca – 18 %
- Madeira seca - 12 a 16 %
- Madeira no estado anidro – 0 %

A operação de secagem tem obrigatoriamente que ser monitorizada. Quando não há disponibilidade de colocar instrumentação elétrica, ou monitorizar através de amostras padrão pesadas regularmente, uma forma expedita de saber se a secagem corre normalmente ou se está a criar defeitos é a observação visual das superfícies. O aparecimento de fendas superficiais é uma indicação segura de que o processo está a decorrer demasiado rápido, com elevado gradiente entre o teor de água na camada superficial e as camadas interiores.

Com se referiu anteriormente a madeira tem um comportamento higroscópico, ou seja, perde água para o ar mas também absorve humidade do ar, aumentando o seu grau de teor de água. Esta relação entre a temperatura ambiente, a humidade do ar ambiente e o teor de água da madeira encontra-se determinada experimentalmente e é tradicionalmente representada graficamente nas chamadas curvas de equilíbrio higrométrico da madeira, representadas na Figura 14.



Figura 14

Curvas de equilíbrio higrométrico na sua forma de apresentação mais tradicional.

A representação gráfica referida na Figura 14 oferece uma vasta gama de temperaturas do ar, mas na prática diária, com a madeira aplicada no interior das habitações ou climas temperados, podemos simplificar a representação para a forma mostrada na Figura 15, com linhas apenas para duas temperaturas, 10 °C e 20 °C. Na realidade as linhas estão tão próximas que os valores dentro daqueles limites podem ser avaliados no mesmo gráfico. O que na realidade influencia fortemente o teor de água é a humidade relativa do ar.

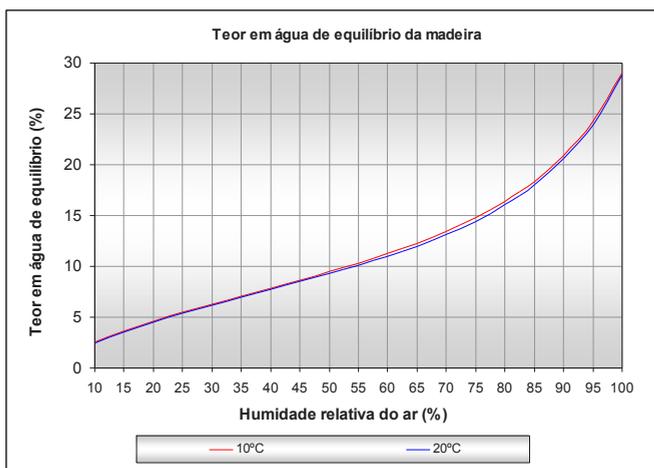


Figura 15

Curvas de equilíbrio higrométrico numa forma de leitura mais amigável.

2.5.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DA SECAGEM

O fenómeno da secagem é um dos mais complexos no processamento da madeira e nem sempre as suas regras são de compreensão intuitiva. Por exemplo, é de esperar que uma madeira de menor densidade tenha inicialmente, quando no estado saturado, maior quantidade total de água do que uma madeira de elevada densidade. Isto porque a densidade é um conceito aparente, seja, considera a massa num determinado volume e no caso da madeira os valores de referência tomam como base a madeira seca a 12 % de teor de água. A madeira menos densa tem mais espaços vazios no seu interior, ver o primeiro conjunto de imagens da Figura 16. O que já não é muito intuitivo é o facto de a 60 % de teor de água a madeira de maior densidade ter ainda mais água a retirar do que a madeira de menor densidade, ver o segundo conjunto de imagens do modelo da Figura 16. É também por este motivo que as espécies de elevada densidade, tendo menos água inicial, são mais difíceis de secar do que as de baixa densidade, o que também é potenciado pelo maior espaço para a água se movimentar.

Figura 16

Modelo da relação entre o teor de água e a quantidade de água a retirar durante a secagem.



Na Figura 17 explica-se a localização da água em diferentes estágios da secagem. Quando a madeira tem valores de teor de água acima do ponto de saturação das fibras a água preenche total ou parcialmente os espaços vazios do interior das células. Nesta situação diz-se que a madeira está no estado verde. A madeira meio seca corresponde a um estado em que o teor de água se encontra mais baixo do que o ponto de saturação das fibras ($\pm 30\%$) até cerca de 12% . Já não existe água no interior dos espaços vazios das células e a água está contida nos componentes das paredes celulares. À medida que esta água sai da madeira as espessuras das paredes das células vai encolhendo, dando lugar à diminuição de volume e dimensão a que chamamos retração. Chama-se madeira seca à madeira com valores de teor de água à volta dos 12% . Embora ainda exista alguma água esta mantém o equilíbrio para as condições ambientais envolventes, correspondentes à situação mais habituais no interior das habitações. Este equilíbrio é mantido segundo as condições representadas no gráfico das Figura 14 e 15.

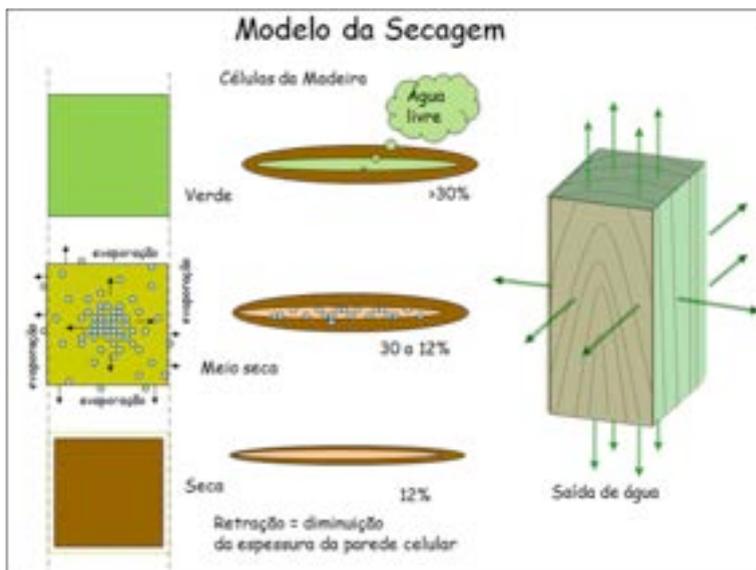


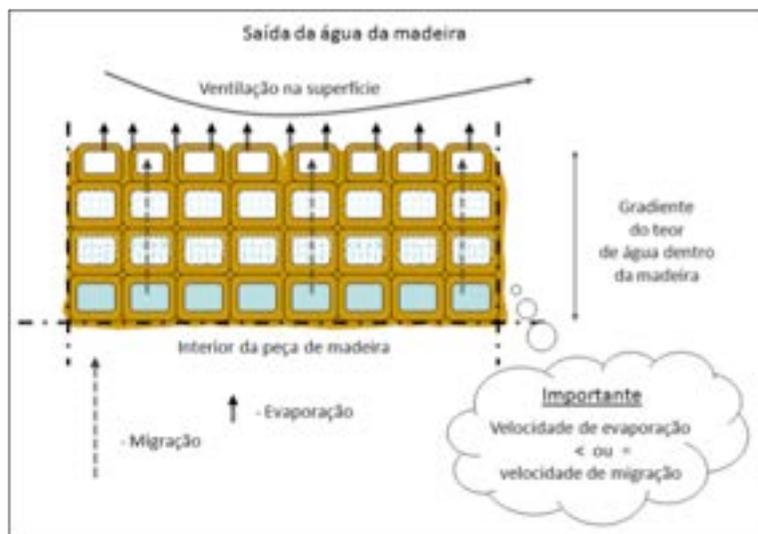
Figura 17

Modelo da secagem ao nível de uma célula da madeira.

Durante o processo de secagem a água só tem uma forma de sair do interior da madeira, que é através da sua evaporação nas superfícies envolventes do volume da madeira. Para a secagem ser efetiva em toda massa tem de haver simultaneamente a migração da água do interior até às superfícies de evaporação. É aqui que se encontra a chave de uma boa secagem. Tal como se vê no modelo da Figura 18, a evaporação superficial não pode ser um processo muito mais rápido do que a migração do interior até à superfície, sob pena da superfície ficar muito mais seca do que o interior e se criarem elevados gradientes de teor de água (também chamados gradientes de humidade), dando origem a fendas e empenos. A velocidade de migração pode ser influenciada pela temperatura, sendo uma das razões das secagens mais rápidas serem feitas a temperaturas mais elevadas, ou então baixando muito a pressão do ambiente envolvente (o que é feito nos secadores por vácuo).

Figura 18

Modelo do mecanismo de saída de água da madeira.



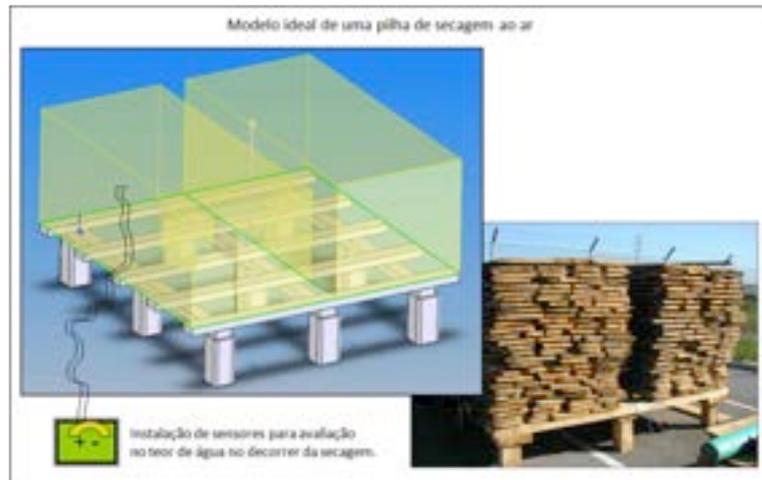
A regulação da secagem é feita tanto pela velocidade do ar, como da sua temperatura e da humidade do ar.

2.5.2 SECAGEM AO AR

O processo mais simples de secagem é a chamada secagem ao ar, por vezes também designada por secagem natural. Na realidade, mesmo que não haja um processo de secagem bem identificado como tal, qualquer peça de madeira depois de separada do tronco de origem e colocada em ambiente ventilado e com temperaturas ambientes normais inicia inevitavelmente um processo de perda de água até um ponto de equilíbrio bem definido para cada conjunto das condições termo higrométricas envolventes. No entanto a secagem ao ar pode e deve ser objeto de procedimentos otimizados, no sentido de garantia da qualidade da madeira seca e uma maior eficiência na duração do processo. A formação da pilha de secagem e a escolha do local onde é instalada são os primeiros passos fundamentais. As pranchas ou tábuas são separadas entre si por réguas de empilhamento (sarrafos) que têm a função de permitir a passagem do ar entre as faces das peças empilhadas. A pilha deve ser colocada num espaço com alguma ventilação natural, elevada em relação ao solo para evitar concentrações de humidade nas camadas inferiores. Se a quantidade de madeira o justificar, são feitas várias pilhas, deixando-se uma separação entre elas que permita o mais fácil arrastamento de ar húmido para fora da zona de empilhamento. É ainda aconselhável providenciar algum método de monitorização do evoluir da secagem, quer através de pesagem de testemunhos em locais bem definidos, quer através de colocação de sensores elétricos. Um exemplo simples do modelo de uma pilha de secagem ao ar é o representado na Figura 19.

Figura 19

Formação da pilha já na configuração para secagem ao ar.



No caso de madeiras de secagem lenta, como é o caso dos carvalhos e dos eucaliptos, em que a migração da água do interior até às superfícies se faz muito lentamente, há o risco das zonas próximas da superfície ficarem com uma grande diferença de teor de água relativamente às camadas do interior, tendo como consequência a abertura de muitas, inicialmente pequenas e pouco profundas, fendas superficiais. Assim, uma forma de evitar tensões de secagem e fendas profundas é humidificar ou mesmo molhar abundantemente as madeiras sempre que se observem as pequenas fendas superficiais. Isto é particularmente importante em períodos secos ou zonas demasiado ventosas.

A formação das pilhas de secagem constitui uma fase importante para o bom desenvolvimento do processo. As pranchas devem ficar bem alinhadas com as régua de separação regularmente distribuídas e bem alinhadas verticalmente, com um correspondente apoio de barroto na base, Figura 20. Para segurança de transporte e impedir deformações, as pilhas devem ser cintadas.



Figura 20

Formação da pilha já na configuração que segue para a fase de secagem.

Tendo em conta a extrema dificuldade em secar com qualidade madeiras de algumas espécies mais difíceis como o eucalipto e carvalhos, evitando os defeitos provocados por uma secagem demasiado rápida, recomenda-se a colocação das pilhas num local abrigado da chuva e do Sol diretos, mas com ligeiro arejamento.

É fortemente recomendado colocar pesos sobre as pilhas de madeira, se possível cerca de 1000 kg por cada metro quadrado. Uma alternativa a esta operação é colocar cintas com regulação de aperto. Na prática, não se fazendo nada, o próprio peso das madeiras empilhadas condiciona as camadas mais baixas, mas há elevadas perdas de rendimento no aproveitamento das pranchas das camadas superiores, devido a fortes empenos e deformações.

Na fase final da secagem pode ser vantajoso ser feito um tratamento de recondicionamento e reequilibragem dos gradientes de humidade, preferencialmente através da injeção de vapor saturado a 100 °C, durante cerca de 4 horas. A temperatura da madeira não deve superar os 60 a 75 °C.

2.5.3 SECAGEM ARTIFICIAL

Designa-se por secagem artificial ou secagem em secador, o processo em que as pilhas de madeira são colocadas em compartimentos fechados, com uma configuração e equipamentos que permitem uma ventilação controlada, temperaturas e humidades bem definidas e sistemas de regulação automáticos que impõem as condições otimizadas segundo programas adequados às características de cada espécie. Os programas permitem também um registo das condições de evolução do processo, constituindo um valioso contributo para o próprio aperfeiçoamento do programa através do acumular de um histórico de operações anteriores.

O esquema mais tradicional do secador de madeiras é o representado na Figura 21, num sistema com teto falso acima do qual se encontram os ventiladores e as baterias de aquecimento. Em cada extremo na direção da ventilação existem chaminés que se abrem ou fecham em simultâneo para maiores ou menores trocas de ar com o exterior, permitindo assim regular a humidade relativa do ar no interior do secador para os valores programados. Em câmaras de grandes dimensões o sistema de ventilação é reversível, permitindo maior homogeneidade entre as madeiras que se encontram mais perto da porta e as que se encontram no fundo do secador. Para a situação em que o aquecimento possa provocar uma descida da humidade relativa do ar para valores inferiores aos desejados para cumprir o programa, existe um sistema de aspersão de água ou de vapor de água, fazendo assim a humificação da câmara.

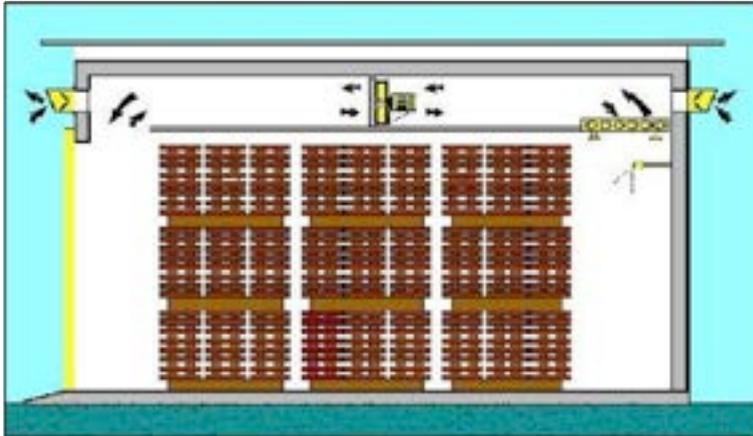


Figura 21

Esquema tradicional de um secador de madeira.

A eficiência do processo depende em muito dos cuidados de empilhamento da madeira. O ar em movimento tende sempre a seguir os caminhos mais fáceis. Por este motivo devem ser obstruídos todos os espaços entre as pilhas de madeira e destas às paredes e teto do secador. Um bom exemplo é o que é mostrado na Figura 22.



Figura 22

Formação da pilha já na configuração que segue para a fase de secagem.

2.5.4 GRADIENTE DE SECAGEM

Um dos segredos de uma boa secagem de madeiras, que permite realizar o processo no mais curto espaço de tempo possível, mas mantendo a qualidade final da madeira, é a escolha da regulação. Um dos princípios mais fiáveis é estabelecer uma relação entre o teor de água da madeira em cada instante do processo e relacioná-lo com as condições de equilíbrio higroscópico do ambiente circundante da madeira. Seja, o valor real da secagem e o valor para o qual segue a evolução se nada se alterasse. Esta relação é designada por gradiente de secagem. Na prática o cumprimento do gradiente adequado permite garantir que não haja uma grande diferença entre o teor de água à superfície das peças (teor mais próximo do valor do equilíbrio exterior) e o valor do teor de água ainda existente no interior das peças de maior espessura. Para madeiras fáceis de secar como pinho bravo este gradiente situa-se entre 3 e 4, mas para madeiras de secagem lenta o gradiente mais recomendado situa-se ao redor de 1,5 a 2,5.

Como exemplo prático vamos supor que um lote de madeira de pinheiro entra no secador com o teor de água médio de 80 %. A regulação inicial do secador deve ser para valores do teor de água de equilíbrio de cerca de $(80/2,5 = 32\%)$. Neste mesmo ciclo de secagem, quando a madeira já se encontrar a 15 % a regulação deve ser feita para valores próximos de $(15/2,5 = 6\%)$. Como resultado desta regulação é possível que a superfície de algumas peças fiquem com valores de teor de água próximos dos 6 %, o que não é desejável por ainda haver diferença para o interior. Todos ou quase todos os ciclos de secagem terminam com uma fase de estabilização que consiste em fazer uma ligeira humificação da superfície das peças, para fazer igualar do modo mais homogéneo possível tanto a humidade entre a superfície e o in-

terior da cada peça como entre diferentes peças de diferentes espessuras ou diferentes localizações dentro do secador.

2.5.5 - RELAÇÃO ENTRE PADRÕES DE SERRAGEM E RETRAÇÕES

Durante as fases de secagem, ou mesmo durante o ciclo de vida útil, a madeira sofre variações de humidificação e secagem, acabando por vezes acontecer quando as variações são rápidas, que o interior da madeira fique com um teor de água muito superior ao da superfície. Neste caso há uma retração diferencial que quando ultrapassa a elasticidade da própria madeira causa roturas por tração, que são na realidade as fissuras superficiais. Por motivo da retração tangencial ser muito mais acentuada do que a radial, a fissuração superficial acontece com muita frequência nas tábuas de corte tangencial, sobretudo na sua zona central e muito raramente e pouco pronunciadas nas peças de corte radial, (a) e (b) respetivamente na Figura 23.

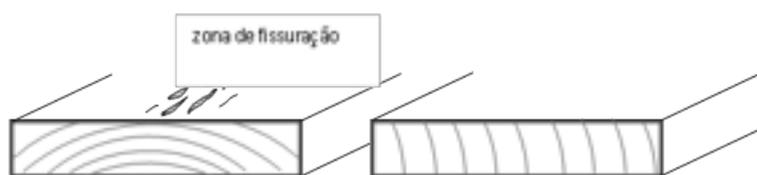


Figura 23

Padrões de serragem da madeira: (a) Tangencial; (b) Radial.

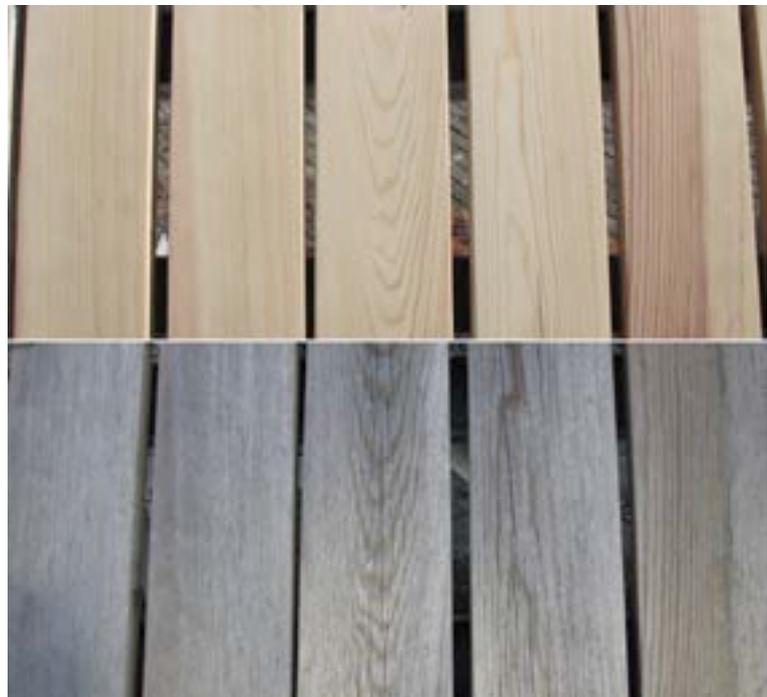
Este fenómeno da fissuração acontece nas madeiras naturais, com maior ou menos gravidade dependendo das suas propriedades próprias, mas acaba por acontecer também nas madeiras modificadas ou com acabamentos superficiais. É uma questão de tempo e de intensidade.

Na Figura 24 mostra-se o resultado comparativo de amostras de pinho bravo com diferentes no padrão de corte e presença

ou ausência de cerne, antes e depois de 8 meses de exposição ao exterior na região de Lisboa (agosto a fevereiro). As amostras de corte radial não apresentam fissuração superficial enquanto as amostras de corte tangencial apresentam forte fissuração na região central, fissuração esta mais intensa na amostra de borne do que na amostra de cerne. Regista-se também a forte alteração de cor. Posteriormente, mais um ano, e o aspeto das superfícies e fendilhação não se alteraram significativamente em relação ao que estava aos primeiros 8 meses.

Figura 24

Superfícies de madeira natural expostas ao exterior durante cerca de 8 meses: (a) (b) Borne radial; (c) (d) Borne tangencial; (e) Cerne e borne



2.5.6 DEFEITOS RESULTANTES DA OPERAÇÃO DE SECAGEM

No final da operação de secagem, para além das verificações dos teores de água pretendidos há necessidade de verificar outros

parâmetros que possam ter resultado de uma secagem incorretamente conduzida com o aparecimento de defeitos na madeira que podem levar à sua inutilização para transformação industrial. Entre os parâmetros a avaliar encontram-se as diferenças de humidade entre o interior e a superfície, as variações de humidade ao longo das pranchas, as fendas de secagem, o colapso, os empenos e por vezes manchas, conforme esquema simplificado na Figura 25

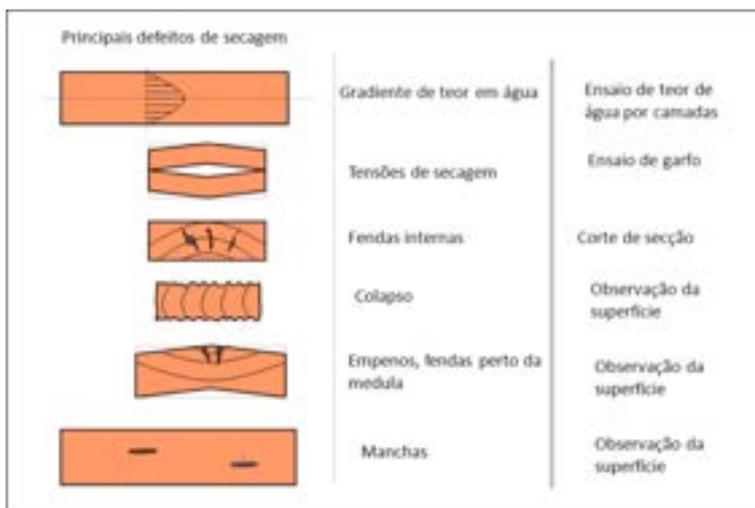


Figura 25

Principais defeitos originados durante a secagem da madeira e modo da sua avaliação.

2.5.7 CONTROLO FINAL DO GRADIENTE DE TEOR DE ÁGUA

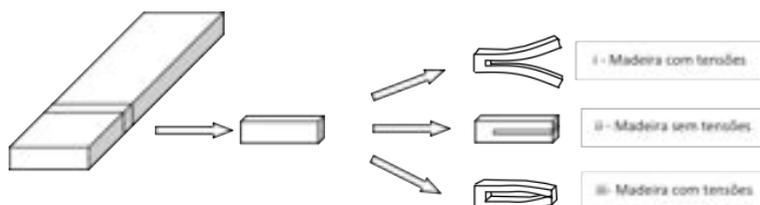
O gradiente de teor de água consiste na existência de valores diferenciados do teor de água entre a superfície das pranchas e o seu interior. A verificação dos gradientes pode ser feita através de aparelhos de medição do teor de água elétricos com eletródios isolados lateralmente ou por pesagens de camadas retiradas a diferentes profundidades.

Um método expedito mas de grande utilidade é o ensaio do “garfo”. Tal como exemplificado na Figura 26, no final da secagem é retirada de uma tábua uma fatia que depois é cortada no plano horizontal quase até ao final. De imediato ou no decurso de tempo de 1 ou dois minutos três situações podem ocorrer:

- a) O “garfo” fica com as duas pontas soltas na posição direita (ii), significando que não existem tensões de secagem;
- b) O “garfo” abre as pontas (i), significando que tem tensões de tração na camada superficial;
- c) O “garfo” fica com as pontas encurvadas para dentro (iii), significando que a madeira tem tensões de compressão na camada superficial.

Figura 26

Ensaio de avaliação das tensões de secagem ou gradiente de teor de água.



O procedimento de corte do garfo para avaliação de tensões, representado no esquema da figura 26, pode também servir para avaliar o gradiente de teor de água da madeira. Suponhamos que após o corte do garfo este fica com as pontas direitas nas primeiras horas, mas que após um ou dois dias vem a encurvar as pontas. Esta segunda observação do ensaio do garfo tem o significado indicado na Figura 27.

- d) O “garfo” fica com as duas pontas soltas na posição direita (V), significando que não existe gradiente de teor de água;
- e) O “garfo” fica com as pontas encurvadas para fora (iv), significando que no final da secagem e quando foi cortado, a madeira tinha a camada exterior com teor de água mais elevado do que a

do interior. Ao secar retraiu e faz abrir o garfo;

f) O “garfo” fica com as pontas encurvadas para dentro (vi), significando que no final da secagem e quando foi cortado, a madeira tinha a camada interior com teor de água mais elevado do que a exterior. Ao ser cortado permitiu a secagem desta zona e a correspondente retração, fazendo as pontas encurvar para dentro.

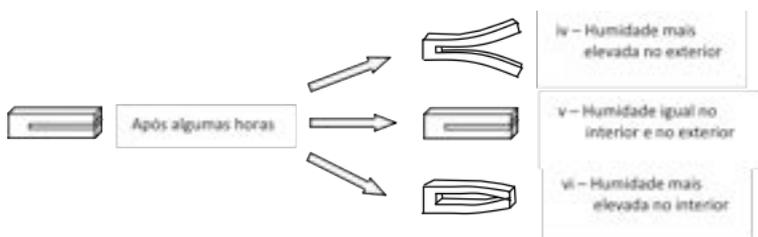


Figura 27

Ensaio de avaliação do gradiente de teor de água no final da secagem.

Este processo de avaliação, embora não quantitativo em valor numérico, permite avaliar a intensidade das tensões e dos gradientes de teor de água. Há ainda a possibilidade de fazer uma análise conjunta das tensões de secagem e dos gradientes de teor de água, já que os dois defeitos podem ocorrer em simultâneo. Neste caso o ponto de partida da figura 27 seria um garfo já encurvado e avaliava-se o sentido da sua possível deformação.

Na Figura 28 mostra-se um exemplo de uma prancha de eucalipto em que se realizou o ensaio do garfo para avaliar as tensões de secagem e gradiente de humidade. Na primeira imagem foi retirado o material do interior de dois cortes paralelos e as pontas do garfo mantiveram-se direitas, o que significava que não havia tensões internas da madeira nesse instante. Após 30 horas de ter sido retirado o interior dos cortes as pontas começaram a encurvar para dentro. Isto constituiu uma prova de que quando foi dada por terminada a secagem o interior da madeira tinha um teor de água superior ao das camadas superficiais. Com acesso a ar mais seco a zona interior começou a secar e deu-se a retração, fazendo fechar as pontas.

Figura 28

Exemplo prático do ensaio do garfo numa secagem de eucalipto.



Numa situação como a referida anteriormente a madeira não se encontraria perdida. Seria possível fazer uma humidificação superficial controlada e assim eliminar o gradiente de humidade.

2.5.8 FENDAS DE SECAGEM

As fendas de secagem são aberturas da madeira com a sua maior dimensão na direção paralela às fibras. As fendas aparecem devido a tensões internas decorrentes de tensões de crescimento do lenho ou tensões de secagem, devidas a zonas contíguas de retrações diferentes. A madeira é particularmente fraca à coesão transversal e portanto, quando as tensões ultrapassam o limite de elasticidade e a resistência máxima dá-se a separação das fibras. Atendendo à geometria circular das camadas de crescimento há sempre uma certa tendência para fendas, quase inevitáveis quando se seca um perfil inteiro correspondente a um plano de corte transversal do toro. Nas peças serradas o aparecimento de fendas durante a secagem está muito concentrado na região central das primeiras camadas que envolvem a medula, o chamado lenho juvenil. Também pode haver zonas preferenciais de aparecimento de fendas mais perto dos topos das peças serradas.

Na Figura 29 mostra-se a situação de forte fendilhação de topo e superficial, o que é indicativo de uma secagem que está a ser mal conduzida, podendo mesmo ocorrer na secagem ao ar. A secagem das camadas superficiais e dos topos estaria a processar-se de modo muito mais rápido do que a secagem do interior, provocando retrações diferenciadas. Na superfície o “encolhimento” da madeira não é acompanhado por diminuição de dimensão do interior, do que resultam tensões de tração na camada superficial. Ao ser ultrapassado o limite máximo de deformação elástica dá-se a rotura por tração e aparecem as fendas.



Figura 29

Fissuras superficiais numa prancha de carvalho, indicando erro de secagem.

As fendas superficiais de pouca profundidade podem servir de aviso para uma ligeira correção da condução da secagem. Indicam que a secagem está a decorrer demasiado rápido para a espessura em presença ou para a espécie. Se for feita uma humedificação ou até uma rega com água em pode travar-se o agravamento destas fendas. As fendas superficiais não colocam em risco a qualidade da madeira uma vez que esta tem sempre de ser submetida a operações posteriores de aplainamento desengrosso com retirada do material superficial.

Fendas profundas não são aceitáveis, pois embora possam não ser visíveis no final da secagem comprometem a resistência pois as fibras ficaram naquela zona descoladas entre si para sempre. As fendas radiais com início na medula são quase inevitáveis na operação de secagem e não constituem erro grave, como acontece no exemplo das tábuas de pinho na Figura 30.

Figura 30

Fendas radiais junto à medula na secagem do pinho bravo.



2.5.9 COLAPSO

O colapso é um fenómeno muito frequente no processo de secagem de algumas folhosas de elevada densidade, como é o caso do eucalipto comum e dos carvalhos. Aparece logo nas primeiras fases da secagem devido a fenómenos relacionados com a tensão superficial da água, em conjugação com os calibres dos elementos anatómicos e estruturais da madeira, que criam baixas de pressão localizadas dando como resultado o “chupamento” das células da madeira, ficando anulado ou muito reduzido o volume interior vazio das células. O fenómeno é potenciado por secagem a temperaturas mais elevadas (→ 40°C), mas pode ocorrer mesmo à temperatura ambiente se o ar for demasiado seco e/ou a ventilação for demasiado forte. O colapso pode limitar-se apenas à densificação exagerada da madeira (o que ainda pode ser recuperado), ou quando passa o limite elástico da deformação,

provoca abertura de fendas internas, o que degrada totalmente a madeira para utilizações com exigência de qualidade. No caso da Figura 31 a madeira com colapso e fendas internas deixa de ter qualquer utilidade como madeira maciça, só lhe restando as utilizações energéticas, pois até o destroçamento se revela particularmente difícil. A madeira encontra-se muito endurecida.



Figura 31

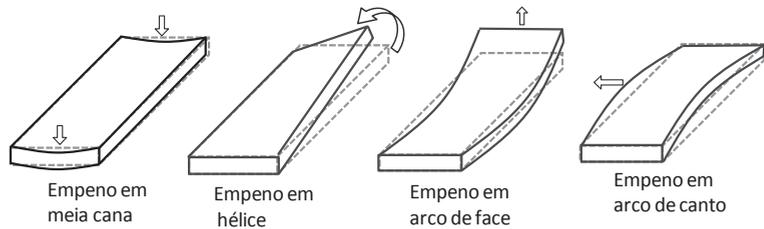
Pranchas de eucalipto com colapso após secagem mal sucedida.

2.5.10 EMPENOS

Uma grande parte das deformações ou empenos são causadas pelo mau empilhamento das madeiras na fase de secagem. A regularidade da espessura das régua de empilhamento, a sua colocação em fiadas verticais bem alinhadas e o seu espaçamento, evitam este tipo de defeito, assim como o condicionamento mecânico impedindo as peças de se deformarem plasticamente. A terminologia dos empenos é mostrada na Figura 32, podendo alguns dos empenos ocorrer em combinação.

Figura 32

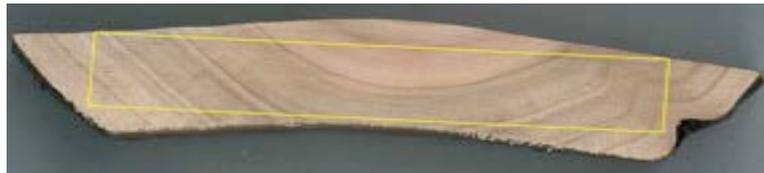
Terminologia dos empenos da madeira



Um dos empenos mais habituais durante a fase de secagem é o empeno em meia cana. Em madeiras muito nervosas e de elevada densidade é quase impossível impedir este empeno durante a secagem, ocorrendo sempre nem que em grau muito reduzido. O exemplo da figura 33 mostra um caso muito acentuado ocorrido na secagem de eucalipto.

Figura 33

Empeno em meia cana de grande intensidade resultante da secagem.



Os empenos são sempre causadores de grandes perdas de matéria-prima, como se pode imaginar no exemplo da Figura 33. Para obter perfis geometricamente perfeitos tem de se eliminar grandes porções de material, tanto mais quanto maior for o empeno.

Como já referido anteriormente, o empeno em meia cana que ocorre nas peças de padrão de serragem tangencial, é difícil de contrariar. Este empeno não acontece apenas na passagem de madeira húmida para madeira seca, mas também em sentido inverso quando se passa de madeira muito seca para graus mais elevados de humidade, tal como exemplificado na Figura 34. Neste caso, uma peça de corte tangencial já seca e com dimen-

sões e geometria estabilizadas, pode passar para valores mais baixos de teor de água, ou para valores mais elevados de teor de água, com as inevitáveis consequências (ou tendências) mostradas na figura. O contrariar estes movimentos pode ser causa do aparecimento de fendas e rachas quando as tensões limites da elasticidade da madeira são ultrapassadas.

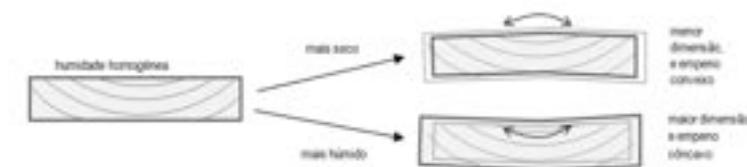


Figura 34

Empeno em meia cana côncavo ou convexo, dependendo do sentido de evolução do valor do teor de água

Embora este tipo de empeno em meia cana seja típico das peças de corte tangencial, pode acontecer um efeito geométrico semelhante em peças de corte radial puro, se acontecer uma humificação diferenciada entre a camada superior e a inferior, como acontece por vezes nas aplicações de revestimento de piso ou em decks.

2.5.11 CONDIÇÕES BÁSICAS PARA BOA CONDUÇÃO PRÁTICA DE UM PROCESSO DE SECAGEM

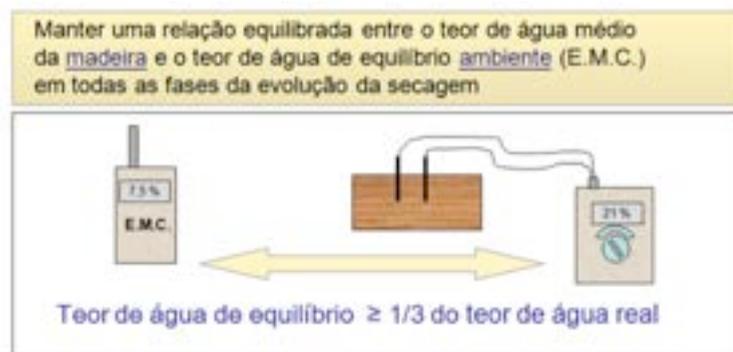
Para além da explicação dada na seção 2.5.4 deste trabalho, sobre o gradiente de secagem, há outras indicações úteis que permitem levar à prática os conceitos já explicados. Assim explicam-se três condições fundamentais para compreender os parâmetros em jogo e daí se poder deduzir em que sentido se deve atuar para corrigir erros de condução da secagem, mostrando os equipamentos e acessórios necessários para a operação.

Na Figura 35 encontra-se a explicação simplificada de como avaliar o gradiente para a condução da secagem. O teor de água da

madeira é avaliada por meio de aparelho que mede a condutividade elétrica da madeira através de dois pinos metálicos introduzidos na madeira até meia espessura ou até 1/3 da espessura. Estes aparelhos estão calibrados para fazer corresponder as características elétricas com o teor de água. Para isto os secadores servem-se de várias sondas que dão esta informação a um computador. O teor de água de equilíbrio, normalmente designado na terminologia inglesa por E.M.C (equilibrium moisture content), pode ser calculado pela medição simultânea da temperatura do ar e da sua humidade, relacionando depois com o teor de água de equilíbrio pelas relações explicadas na seção deste trabalho. Na prática encontrou-se um sistema mais simples e fiável que são as “palhetas” de equilíbrio do teor de água. São na realidade pequenas fitas de madeira natural (madeira de limba, celulose ou outro), ou cartões calibrados, que têm um comportamento elétrico semelhante ao da madeira a secar, mas por serem muito finas e grade superfície chegam ao ponto de equilíbrio com grande rapidez. A medição elétrica é feita da mesma maneira do que a madeira (pela condutividade).

Figura 35

Condição para secagem controlada – gradiente entre ambiente envolvente e madeira.



Na Figura 36 faz-se a explicação prática de como avaliar o gradiente entre o teor de água à superfície dos elementos a secar e o seu interior. Para isto utilizam-se os mesmos métodos já re-

feridos no parágrafo anterior, mas com as sondas espetadas na madeira a diferentes profundidades.

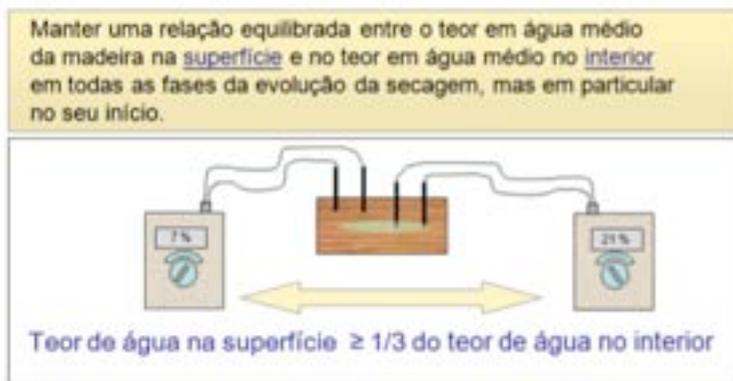


Figura 36

Condição para secagem controlada – gradiente entre teor de água na superfície e no interior.

Na Figura 37 mostram-se duas soluções que permitem condicionar mecanicamente a madeira de forma a não permitir que as tensões internas e de secagem façam as peças da parte superior das pilhas se deformarem. A colocação de pesos é bastante eficaz mas pode levantar problemas práticos de movimentar em alturas elevadas lajes muito volumosas e pesadas, para além da perda de volume útil. A utilização de cintas de aperto revela-se interessante, mas é necessário providenciar um sistema de mola, pois à medida que a madeira vai secando a altura das pilhas vai diminuindo por retração da madeira.

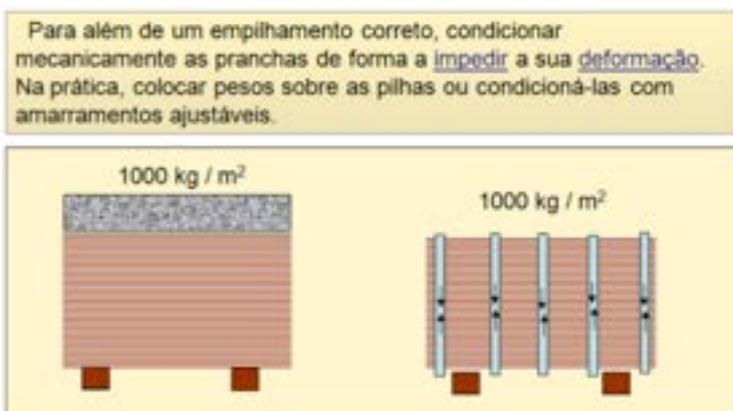


Figura 37

Condição para secagem de qualidade – condicionar mecanicamente as pranchas na geometria pretendida (sem deformações).

3

A photograph of a large stack of cut logs, with the top log showing a fresh orange-brown cut surface. The logs are piled up, and the background is a clear blue sky. A semi-transparent green rectangular overlay covers the middle portion of the image, containing white text.

DURABILIDADE

NATURAL DA

MADEIRA E

AGENTES DE

DEGRADAÇÃO



A madeira é um material natural com um vasto leque de aplicações finais o que significa estar submetida a condições ambientais muito diversas. Por outro lado a grande variedade de espécies revela um leque de propriedades muito diferentes entre elas, nomeadamente no que diz respeito à durabilidade. Há ainda a considerar que numa mesma espécie existem fortes diferenças da durabilidade entre cerne e borne, para além de outras influências como a elevada variabilidade natural imposta pelas condições de crescimento, e ainda as introduzidas pelas operações de transformação industrial com o padrão de serragem, a secagem e os acabamentos.

Para dar resposta a uma parte dos problemas de maior ou menor garantia de duração da madeira ao longo do tempo, quando em diferentes condições de risco, existem duas normas Europeias que consideram os aspetos mais importantes para se atingir um bom desempenho da madeira, sendo as mais importantes:

- Norma EN 350-2:1994. Durabilidade da madeira e de produtos derivados; Durabilidade natural da madeira maciça; Parte 2: Guia da durabilidade natural da madeira e da impregnabilidade das espécies de madeira selecionadas pela sua importância na Europa;
- Norma Europeia EN 335:2013-en. Durabilidade da madeira e de produtos derivados da madeira; Definições: Classes de risco, aplicação à madeira maciça e produtos derivados.

Na primeira destas normas (EN 350-2) encontra-se no seu anexo uma extensa lista das espécies de madeira usadas comercialmente na Europa, atribuindo-lhes uma classificação quantitativa no que diz respeito à durabilidade natural a fungos, larvas de insetos e insetos, e caracteriza o grau de impregnabilidade e quantidade de borne/cerne normalmente presentes.

Na segunda das normas referidas (EN 335) definem-se as classes de risco a que certas utilizações sujeitam as madeiras.

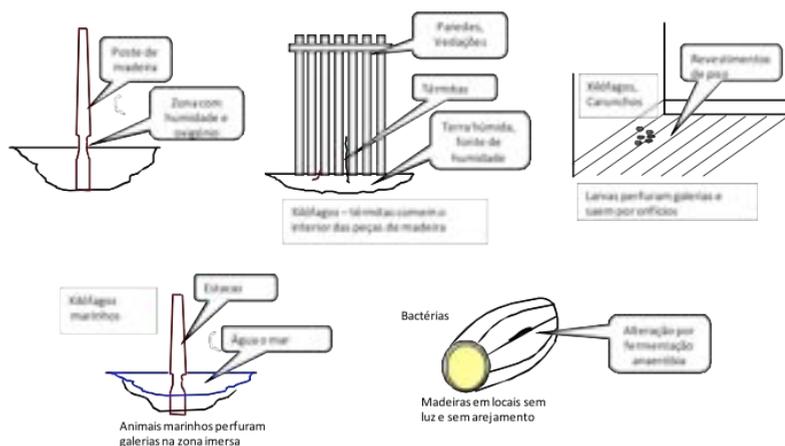
Da conjugação da informação contida nestas duas normas consegue-se dar um grau de garantia muito seguro quanto ao bom desempenho dos componentes em madeira, tendo em conta a agressividade do ambiente a que a madeira vai ficar submetida, relativamente às suas próprias propriedades e capacidade de resposta a esses diferentes graus de agressividade.

Na listagem da norma não se encontram definidos os materiais derivados e a madeira modificada, que são objeto de outras normas específicas, tendo em consideração o contínuo desenvolvimento de novos materiais e processos de melhoramento tecnológico, como são os casos concretos da madeira termo-modificada ou quimicamente modificada.

No esquema da Figura 38 exemplificam-se casos práticos das principais causas de degradação da madeira e dos principais agentes causadores, apontando-se as localizações de maior risco.

Figura 38

Exemplos práticos das condições de risco da aplicação de madeiras e os principais agentes causadores da degradação.



Os insetos têm um ciclo de vida muito diferente dos fungos. As madeiras susceptíveis podem ser atacadas mesmo com as madeiras em classe de baixo risco (classe 1). A durabilidade depende mais dos componentes próprios da madeira com a presença ou ausência de cerne, ou seja, elevado conteúdo de extrativos ou outros componentes tóxicos para eles. Por esta razão, quase como regra geral, o cerne da maioria das espécies é mais durável do que o borne. Entre os insetos destacam-se os carunchos e as térmitas, sendo estas últimas a maior ameaça à vida útil dos componentes de madeira, tanto por serem mais destrutivas como mais difíceis de detetar.

As térmitas, também conhecidas por “formiga branca”, encontram-se praticamente em todo o mundo, com exceção das regiões Ártica e Antártica e pouco frequentes em climas frios. Estima-se que existam mais de 5000 espécies de térmitas mas a espécie com maior distribuição e que causa mais destruição em Portugal é da família Reticulitermes. Estes insetos causam estragos em construções, mais propriamente em vigamentos, pavimentos e rodapés, sobretudo em zonas escondidas, nos pisos térreos ou com proximidade de fontes de humidade.

Na Figura 39 mostra-se o estrago causado por térmitas em estacas de pinho bravo parcialmente enterradas no solo na região de Lisboa ao fim de 6 meses.



Figura 39

Pinho natural enterrado no solo durante 6 meses.

3.1 CLASSES DE RISCO

A madeira, como outros materiais, deteriora-se mais ou menos em função das condições de agressividade do ambiente a que estão submetidas. No caso da madeira estas condições estão definidas na norma Europeia EN 335. A adaptação do definido na norma às condições concretas de Portugal está reproduzida no Quadro II.

Quadro II

Classes de risco da aplicação de madeiras para as condições de Portugal, com base na norma EN 335.

Classe de risco	Condições de serviço	Exposição à humidade	Teor de água da madeira	Agentes causadores de degradação
1	No interior, protegido	Seco	Até 20 %	Insetos Térmitas ⁽¹⁾
2	No interior ou protegido	Ocasionalmente húmido	> 20 %	Fungos Insetos Térmitas
3	3.1 - No exterior, acima do solo, Protegido 3.2 - No exterior, acima do solo, desprotegido	Ocasionalmente húmido ou Frequentemente húmido	> 20 %	Fungos Insetos Térmitas
4	4.1 - No exterior, em contacto com o solo e/ou com água. 4.2 - No exterior, em contacto (severo) com o solo e/ou com água doce	Predominante ou frequentemente húmido Permanentemente húmido	> 20 %	Fungos Insetos Térmitas
5	Na água salgada	Permanentemente húmido	> 20 %	Xilófagos marinhos

(1) Nota: Eventualmente necessitam de proximidade de água.

Como resumo do conteúdo da informação apresentada no Quadro I pode dizer-se que o risco de degradação da madeira tem muito a ver com o contacto da madeira com a água. A madeira em ambiente continuamente seco e longe de fontes de humidade corresponde a classe de risco pouco elevado, o que quer dizer que mesmo madeira sem medidas especiais de proteção ou fracas qualidades naturais não corre o risco de degradação. Excluindo a imersão da madeira em água salgada, a condição mais desfavorável para aplicação de madeiras – classe de risco mais

elevado, corresponde a locais com variações regulares de humidade e secura, o que acontece em contacto pouco profundo com o solo e/ou perto de fontes de humidade. Locais húmidos com difícil acesso e pouco ventilados, são também os locais onde as madeiras necessitam de boas propriedades naturais ou formas de proteção adequadas.

3.2 ALTERAÇÃO DE COR

A alteração de cor é uma preocupação dos arquitetos, decoradores e engenheiros da construção, mas no caso das madeiras é um aspeto com que têm de lidar / aceitar, pois corresponde a um comportamento normal e esperado das madeiras expostas à luz e ao ar oxidante. Mesmo em ambiente interior, com alguma radiação UV, as madeiras claras ficam em geral mais escuras ou com tons mais acentuados, enquanto as madeiras escuras ficam em geral mais claras. Nas madeiras expostas ao exterior (radiação UV-A presente na luz solar) e contacto esporádico com água no estado líquido, o que é inevitável é as superfícies alterarem-se quimicamente, e passados poucos meses começam a ficar acinzentadas. Na Figura 40 mostra-se o resultado da exposição ao clima de Lisboa durante pouco mais de 8 meses (ver também Figura 24).



Figura 40

Aspeto de amostras de pinho natural ao fim de 12 meses de exposição em ambiente exterior em Lisboa (ensaios LNEG).

Ao fim de alguns meses atinge-se uma fase de estabilização de alteração da cor que pode depois permanecer inalterada durante muitos anos. Durante a fase de transição de cor pode ocorrer a presença de zonas “aparentemente” manchadas, mas que se irão igualar com o passar do tempo.

4

A close-up photograph of a wood log's cross-section, showing the concentric growth rings and the natural grain of the wood. The wood is light brown with darker, wavy lines representing the growth rings. The texture is highly detailed, showing the cellular structure of the wood.

ESTABILIZAÇÃO

DIMENSIONAL

DA MADEIRA



4.1 MODIFICAÇÃO TÉRMICA

O movimento da madeira em reação às mudanças de umidade ambiente, além de ser a principal causa de não conformidades em peças acabadas (folgas, inchamentos, empenos, fendas) é também a causa da delaminação/escamação dos acabamentos e por consequência motivo potenciador da degradação biológica. A modificação térmica da madeira é o único método conhecido que não utilizando químicos altera significativamente a higroscopicidade da madeira e diminui as retrações e inchamentos, e ainda, em certa medida, aumenta a resistência à podridão. A destruição da estrutura, ou seja a conversão de componentes outros, ocorre a temperaturas próximas dos 200 °C; mas tem de se ter em conta que a pirólise da madeira começa a temperaturas superiores a 270 °C. Ou seja, a partir desta temperatura a madeira entra em combustão se tiver acesso a oxigênio. Kollmann (1975) mostrou que a perda de peso durante o aquecimento é aproximadamente proporcional ao quadrado da respectiva redução no inchamento.

A madeira de pinheiro bravo pode também ser tratada termicamente para a tornar mais estável dimensionalmente e aumentar a resistência à degradação biológica, incluindo o ataque de larvas de insetos. As térmitas têm-se revelado indiferentes ao tratamento de modificação térmica. Ensaio recentes com pinho bravo demonstraram que mesmo em terreno aberto as térmitas atacam igualmente madeira natural e madeira termicamente modificada.

4.2 REPELÊNCIA À ÁGUA

A repelência é uma interessante propriedade que consiste em criar uma incompatibilidade entre uma superfície de um material e a água. A descoberta de uma solução para conseguir este comportamento de uma forma intensa e duradoura é um dos temas mais procurados da investigação sobre madeiras, mas ainda não foram encontradas soluções suficientemente satisfatórias. Já existem no mercado produtos que aplicados nas superfícies de alguns materiais, nomeadamente cerâmicos e madeiras, permitem uma não aderência da água, num efeito semelhante ao exemplificado na Figura 41. Além da vantagem da maior estabilização dimensional, também contribuiria para uma maior durabilidade, estabilização dos acabamentos com cor e eliminação da sujidade.

Figura 41

Repelência à água na superfície da madeira, induzida por tratamento químico.



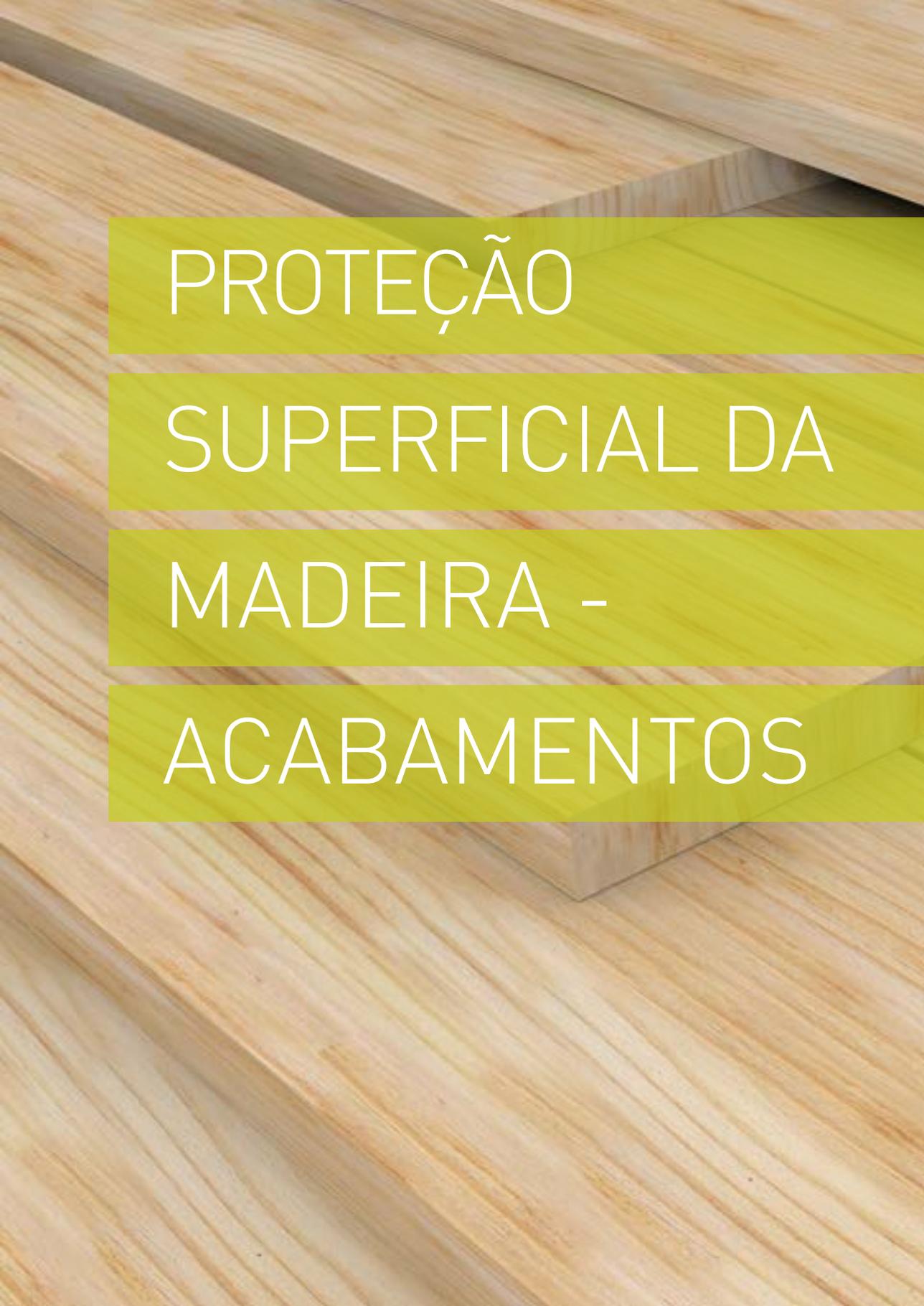
Esta propriedade pode ser induzida, quer com o simples polimento das superfícies, como com a aplicação de produtos químicos como sejam os da família das ceras, óleos e gorduras não miscíveis com a água, silanos, nano-partículas, etc..

Um método de avaliação do comportamento dimensional face à presença da água - maior ou menor estabilidade, é descrito na norma americana ASTM D 4446-84. A repelência é determinada por uma razão entre os inchamentos da amostra-não-tratada e da amostra-tratada ao fim de 30 minutos de imersão em água destilada, e é dada pela expressão:

$$\text{Repelência (\%)} = \frac{\text{Inchamento do controle} - \text{Inchamento do modificado}}{\text{Inchamento do controle}} \times 100\% \quad [2]$$

Os estudos mais recentes apontam, como solução para o próximo futuro a utilização de silanos e siloxanos (família química dos silicones) como muito interessantes para conferir repelência à água e assim contribuir para a estabilização dimensional das madeiras. A dificuldade até ao presente tinha sido a quase impossibilidade de fazer penetrar estes produtos em profundidade na madeira, pelo tamanho das suas moléculas relativamente ao calibre dos poros e vasos das madeiras. Um resultado eficaz e duradouro só pode ser conseguido com um tratamento que consiga uma certa penetração no substrato, pois caso contrário a abrasão da superfície elimina a camada protetora.

5

The image features a background of light-colored wood planks with a visible grain. Overlaid on this background are four horizontal, semi-transparent green rectangular boxes. Each box contains a portion of the text, which is written in a white, uppercase, sans-serif font. The text is centered within each box and reads: 'PROTEÇÃO' in the first box, 'SUPERFICIAL DA' in the second, 'MADEIRA -' in the third, and 'ACABAMENTOS' in the fourth.

PROTEÇÃO

SUPERFICIAL DA

MADEIRA -

ACABAMENTOS



Os acabamentos em madeira, nomeadamente o envernizamento, a pintura, a lacagem e a proteção com velaturas são operações indispensáveis para conferir a uma obra de madeira o seu bom aspeto final, proteção contra a degradação pelos agentes atmosféricos, contra a humidade, degradação biológica por insetos ou fungos ou muito simplesmente contra a sujidade. Nos últimos anos a evolução da indústria química, e também, as cada vez mais restritivas normas de proteção ambiental, têm provocado uma enorme necessidade de evolução deste tipo de produtos.

Neste campo da proteção da madeira há que distinguir dois grandes campos de atuação:

- a) A proteção em ambiente interior;
- b) A proteção em ambiente exterior.

No primeiro caso, uso no interior de habitações, trata-se essencialmente de proteger contra a sujidade ou contacto pontual e rápido com água. Não há o efeito destruidor da radiação UV, pelo que os vernizes são largamente utilizados, permitindo valorizar o potencial decorativo da cor e desenho das madeiras. Em utilizações especiais, como é o caso dos revestimentos de piso, as madeiras mais macias, como é o caso do pinho bravo, necessitam adicionalmente de uma camada superficial que lhe permita resistir ao desgaste dos agentes abrasivos (calçado com areias, arrastamento de móveis, etc.). Nesta aplicação usam-se as resinas de película dura como os poliuretanos, vernizes de cura UV, epoxídicas e outras.

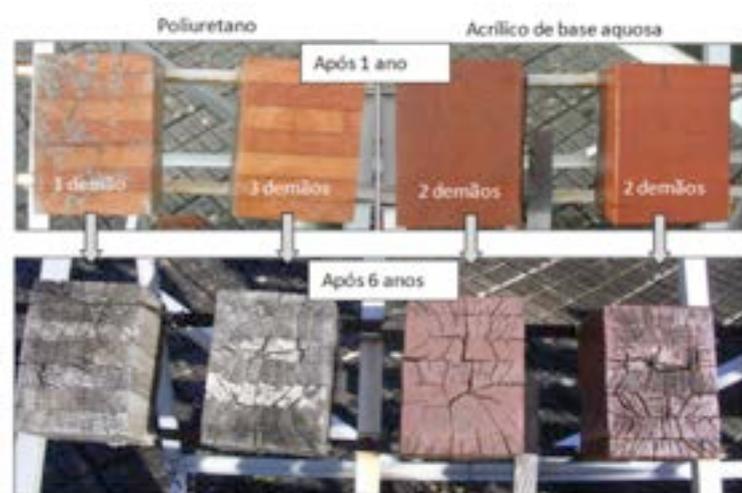
Nos acabamentos para exterior os produtos que formam uma película protetora são aparentemente muito eficazes por impedirem nos primeiros tempos as entradas de água, mas na realidade a degradação causada pelo tempo torna as películas cada vez

menos elásticas, acabando por deixar de acompanhar os inevitáveis movimentos da madeira.

Para comprovar muito do que foi afirmado anteriormente mostram-se na Figura 42 os resultados comparativos de vários produtos e diferentes condições de aplicação, após seis anos de exposição ao exterior, num painel de ensaio virado a Sul com uma inclinação vertical de 39°.

Figura 42

Resultados de envelhecimento de acabamentos ao fim de 6 anos de exposição ao exterior.



Na figura anterior registam-se algumas conclusões importantes:

- Num curto prazo de um ou dois anos é muito importante a aplicação de mais do que uma demão em produtos que fazem uma película protetora;
- Os produtos que perdem a elasticidade ao fim de algum tempo de secagem (como o verniz poliuretano sem manutenções) acabam por perder completamente a capacidade protetora;
- Os vernizes acrílicos de base aquosa com pigmento mantêm uma razoável capacidade de resistência ao tempo, mas também a sua perda de elasticidade acaba por permitir o desencadear do processo de degradação.

O aparecimento constante de novos produtos levanta enormes dúvidas nos utilizadores sobre a sua eficácia, forma de aplicação e manuseamento, etc., sendo a maior parte das vezes a informação disponível muito reduzida, sobretudo ao nível de uma perspectiva global, com os diferentes produtos, os campos preferenciais de aplicação, custos, ensaios de controlo e comportamento, e sobretudo a longo prazo.

Outros tratamentos de proteção podem obstruir ou vedar totalmente os vasos capilares, resultando em uma menor transmissão de vapor e assim impedir os equilíbrios desejados para a secagem de pontos mais húmidos. O ideal para a boa conservação da madeira é conseguir uma boa barreira da camada superficial à água líquida, mas permitir alguma transmissão de vapor.

Em estudos recentes tem-se revelado como muito compensador sob o ponto de vista de proteção no exterior a utilização de óleos secativos com pigmentos minerais naturais à escala nano. Estes acabamentos são económicos e duráveis, tendo uma manutenção muito fácil, como seja uma simples limpeza superficial e aplicação de nova camada. Os óleos impregnantes não fazem película e a sua degradação é sob a forma pulverolenta o que permite a sua remoção quase natural. Este novo conceito pode assim ser introduzido, programando manutenções simples a cada dois anos, o que permite de uma forma económica manter um bom aspeto dos componentes no exterior e boa conservação da madeira durante muitos anos.

6

A close-up photograph of several wooden planks stacked on top of each other. The planks are arranged diagonally, showing their natural wood grain and varying shades of brown. The top plank is a medium brown, while the ones below are lighter, ranging from light tan to pale yellow. The lighting is soft, highlighting the texture of the wood.

MADEIRA

MODIFICADA



6.1 MADEIRAS MODIFICADAS

A tecnologia de modificação química da madeira tem por objetivo nobre a melhoria das propriedades menos satisfatórias da madeira (degradação biológica e deformação em relação às variações de humidade), mas estes benefícios são em parte conseguidos perdendo algumas das principais vantagens da madeira, nomeadamente o bom desempenho mecânico comparativamente ao seu peso, a eficiência energética, o ser um material amigo do ambiente, renovável e reciclável, etc..

6.2 MADEIRA FURFURILADA

A tecnologia de modificação química da madeira tem por objetivo nobre a melhoria das propriedades menos satisfatórias da madeira (degradação biológica e deformação em relação às variações de humidade), mas tentando manter as excecionais vantagens da madeira como material estrutural e decorativo.

A utilização do álcool furfurílico como agente para modificação da madeira é conhecida há décadas, mas a comercialização em larga escala iniciou-se a partir de 2009 depois de aperfeiçoamentos tecnológicos ocorridos na Noruega por volta de 2003. O tratamento de furfurilação só é verdadeiramente eficaz no borne da madeira (onde é possível fazer a impregnação do agente de modificação). Isto condiciona a largura das peças a fabricar, pois madeiras de maiores dimensões contêm inevitavelmente zonas de cerne.

Um dos principais argumentos utilizados pelos promotores da madeira modificada por processo furfurilação é o argumento ambiental e de sustentabilidade, “material com elevada responsabilidade ambiental”, o que significa um tratamento pouco agressivo para o ambiente e sem emissões posteriores, e a capacidade deste novo material se aproximar em termos de propriedades, de espécies tropicais de boa qualidade (dimensionalmente estáveis e duráveis), as quais não são sustentáveis a nível de equilíbrio procura/produção.

Quanto à durabilidade aos insetos, nomeadamente às térmitas, os promotores comerciais colocam a madeira furfurilizada mais ou menos ao mesmo nível do tratamento ACQ (“alcaline cooper quaternary” preservação em autoclave), segundo resultados de ensaios de resistência a térmitas subterrâneas realizados à escala laboratorial. Não se encontra disponível informação segura e independente sobre o comportamento da madeira furfurilada em contacto com o solo e na presença de térmitas em condições reais. A madeira furfurilada tem sido usada com sucesso no revestimento exterior de paredes.

6.3 MADEIRA TERMO-MODIFICADA

A tecnologia de modificação da madeira conseguida através da submissão a elevadas temperaturas, entre 180 °C e 215 °C é considerado um tratamento amigo do ambiente pela razão de não implicar introdução de qualquer produto químico, mas no entanto o consumo energético para conseguir este tratamento é consideravelmente mais elevado do que a simples secagem artificial. A modificação térmica da madeira é muito antiga, mas a sua utilização comercial em larga escala tem mais de uma dezena

de anos. Existe vasta bibliografia sobre o comportamento deste material, apresentado pelos seus fabricantes, mas também em muitos artigos científicos independentes.

A madeira termo-modificada tem um bom comportamento aos fungos da podridão, tem menores inchamentos e retrações do que a madeira natural. No entanto há algumas propriedades que ficam prejudicadas. A rigidez à flexão é pouco alterada, mas a resistência à flexão e a deformação até rotura ficam muito reduzidas, seja, a madeira fica com rotura frágil e não poderá ser usada com funções estruturais.

No que diz respeito à resistência ao ataque biológico por fungos – podridão, estudos revelam que só o pinho termo modificado a 230 °C resiste totalmente aos fungos da podridão castanha. Os tratamentos a menores temperaturas não são totalmente eficazes. Uma das vantagens apontadas para a madeira termo-modificada é a da redução da fissuração superficial quando exposta a condições de exterior. Esta afirmação não se veio a confirmar em estudos recentemente realizados, pois a fissuração que aparece tanto em madeira natural como termo-modificada depende mais do padrão de corte do que das próprias propriedades de cada material. Nos dois casos a fissuração é muito mais intensa nas régua de corte tangencial do que nas régua de corte radial.

No que diz respeito à suscetibilidade aos insetos, em particular às térmitas, estudos em diferentes países e laboratórios confirmaram que os pinhos modificados são tanto ou mais suscetíveis aos ataques de térmitas do que a madeira natural de borne.

7

A close-up photograph of a wooden cutting board with a striped pattern of light and dark wood. A person's hand is visible on the right side, resting on the board. A semi-transparent green rectangular box is overlaid on the top half of the image, containing white text.

DERIVADOS DA

MADEIRA



Os chamados derivados da madeira são materiais que utilizam ou partem da madeira para formar produtos com características e/ou dimensões em que a madeira natural teria dificuldade em dar uma resposta satisfatória. Estes métodos de fabrico permitem também utilizar matérias-primas vegetais de inferior qualidade, valorizando-as para usos de grande exigência e uniformidade de propriedades bem definidas. Trata-se de materiais industriais muito variados e cujo desenvolvimento é contínuo na melhoria dos seus processos de fabrico e nas possibilidades de utilização final. Serão apenas abordados os materiais derivados da madeira que pela sua importância e vasta utilização já foram objeto de normalização Europeia e nacional.

7.1 CONTRAPLACADOS

O contraplacado é o derivado mais parecido com a madeira natural. Consiste na colagem de folhas de madeira obtidas pelos processos de desenrolamento ou corte plano descritos nas seções 2.3 e 2.4, mas com a particularidade as sucessivas camadas serem orientadas com as fibras em direções perpendiculares entre si. Por razões de simetria e estabilidade dimensional as camadas dos extremos têm de ter a mesma direção. O mais usual é a composição das camadas ser em número ímpar. As colas utilizadas são muito variáveis dependendo das condições de aplicação. Podem ser resinas não resistentes à humidade em material para uso interior, ou resinas resistentes à humidade para usos em meio húmido. Por razões económicas em geral os contraplacados são formados por folhas superficiais de espécies de elevada qualidade, alto padrão estético, enquanto para as camadas interiores se permitem espécies de menor densidade, menor qualidade, até folha emendada, o que não compromete

grandemente o desempenho estrutural do conjunto. No contraplacado marítimo, além das colas de elevado desempenho, não são tolerados defeitos na folha e as espécies de madeira têm de ter a durabilidade natural exigida (por exemplo a norma inglesa BS 1088). Um exemplo deste material é mostrado na Figura 43.

Figura 43

Exemplo de placa de contraplacado de 9 camadas.



7.2 AGLOMERADO DE PARTÍCULAS

O aglomerado de partículas (PB – Particle Board) é um material derivado da madeira formado por partículas de madeira de várias dimensões coladas entre si por calor e alta pressão com resinas especiais fenólicas, melamínicas ou outras, de forma que a superfície fique mais densa e uniforme (partículas menores), e o centro da placa fique menos denso (partículas maiores, mas com alguns espaços entre elas e menor densidade de cola). Este tipo de fabricação contribui para uma boa estabilidade da chapa e uma superfície menos porosa, que poderá receber aplicação de tintas, vernizes, folheados de madeira ou sintéticos, mas o interior mantém alguma elasticidade que permite uma melhor trabalhabilidade.

Embora haja aglomerados de partículas fabricados com colas resistentes à água, este material não é indicado para aplicações em ambientes com elevados níveis de humidade.

Sendo materiais industriais é possível estabelecer um padrão mínimo para as características mecânicas, que se encontram em normas de especificação de produtos. A maior resistência é em princípio obtida com a escolha adequada da formulação da cola e a sua concentração. Por razões de saúde pública há regras muito apertadas quanto aos limites máximos de emissões de produtos indesejáveis. Um exemplo deste material é mostrado na Figura 44.



Figura 44

Exemplo de placa de aglomerado de partículas.

Para os materiais industriais, as características finais dependem em grande medida da afinação dos processos de fabrico, das formulações e das quantidades de cola aplicadas, etc., pelo que, ao contrário do que é feito para as características das madeiras naturais, em vez de serem dados os valores médios dos valores encontrados em ensaios laboratoriais, são impostos parâmetros mínimos definidos em normas internacionalmente aceites.

Dá-se como exemplo no Quadro III os requisitos mínimos de comportamento à flexão definidas na norma NP EN 312:2009-pt Aglomerado de partículas de madeira; Especificações.

Quadro III

Requisitos mínimos para ambiente seco e húmido de acordo com o tipo de utilização para o material PB. Norma EN 312:2003.

Condições de utilização	Requisitos mínimos de módulo de elasticidade (MPa) Espessuras: > 13 até 20 mm	Requisitos mínimos de resistência à flexão (MPa) Espessuras: > 13 até 20 mm
Usos gerais em ambiente seco		11,5
Usos gerais em ambiente húmido	1950	14
Fins estruturais em ambiente seco	2300	15
Fins estruturais em ambiente húmido	2400	16
Aplicação interior em ambiente seco (inclui mobiliário)	1600	13
Fins estruturais especiais em ambiente seco	3000	18
Fins estruturais especiais em ambiente húmido	3100	20

7.3 AGLOMERADO DE FIBRAS DE ALTA DENSIDADE (HDF)

O aglomerado de fibras de alta densidade (HDF - High Density Fibreboard) é fabricado por via húmida, num processo que consiste no desfibramento da madeira em meio líquido e posterior prensagem a quente em elevadíssimas pressões. A água em excesso é eliminada os extrativos naturais fazem a aglutinação das fibras. A este material pode chamar-se aglomerado de fibra por via húmida, uma vez que é possível fabricar aglomerados de fibras de alta densidade por via seca e com adição de colas, num processo semelhante ao MDF, mas em espessuras mais reduzidas e muito elevadas pressões. Um exemplo deste material é mostrado na Figura 45.



Figura 45

Exemplo de placa de aglomerado de fibras de alta densidade por via húmida.

7.4 AGLOMERADO DE FIBRAS DE MÉDIA DENSIDADE (MDF)

O aglomerado de fibras de média densidade (MDF – médium density fiberboard) é fabricado com fibras de madeira, essencialmente fibras de celulose, depois de ser eliminada a lenhina, aglutinadas com resinas sintéticas de várias composições químicas, com processos de calor e prensagem a alta pressão por via seca. Um exemplo deste material é mostrado na Figura 46.



Figura 46

Exemplo de placa de aglomerado de fibras.

No Quadro IV dá-se como exemplo das exigências feitas para este material ser aceite para fabrico de determinados componentes, segundo os requisitos mínimos de comportamento à flexão definidas na norma NP EN 312:2009-pt. Aglomerado de partículas de madeira; Especificações.

Quadro V

Requisitos mínimos de propriedades mecânicas do MDF para utilizações em ambiente seco e húmido e uso geral ou estrutural: Norma EN 622-5:2006.

Condições de utilização	Requisitos mínimos de módulo de elasticidade (MPa) Espessuras: > 9 até 12 mm	Requisitos mínimos de resistência à flexão (MPa) Espessuras: > 9 até 12 mm
Usos gerais em ambiente seco	2500	22
Usos gerais em ambiente húmido	2500	26
Fins estruturais em ambiente seco	2800	27
Fins estruturais em ambiente húmido	2800	32

7.5 OSB

O aglomerado de partículas orientadas (OSB – Oriented Strand Board) é um material com um processo de preparação e fabrico semelhante ao aglomerado de partículas, com a particularidade de todas as partículas serem de grandes dimensões e orientadas em direções preferenciais com vista a potenciar as propriedades naturais de elevada resistência da madeira. Depois de secas e revestidas com cola, as partículas de madeira são dispostas em camadas, cada camada é orientada de forma diferente, de modo a maximizar a resistência e a estabilidade do painel.

Este colchão é, então, submetido a condições de pressão e temperatura muito elevadas, obtendo-se um painel estruturalmente denso, muito resistente, dimensionalmente estável e muito durável. Um exemplo deste material é mostrado na Figura 47.



Figura 47

Exemplo de placa de aglomerado OSB.

As vantagens do OSB m relação aos aglomerados de partículas e de fibras são as seguintes:

- Resistência mecânica elevada, comparável aos valores do contraplacado e de outros painéis estruturais de classe equivalente;
- Grande rigidez;
- Resistência à deformação, à rotura e à delaminação;
- Excelente relação entre resistência e peso;
- Grande durabilidade: trata-se de um painel dimensionalmente estável, que mantém intactos os seus níveis de desempenho ao longo do seu ciclo de vida (desde que utilizado de acordo com as respetivas recomendações de uso);
- Desempenho preciso e bem definido: painéis para fins estruturais com características físicas e mecânicas perfeitamente definidas, em conformidade absoluta com os requisitos de concepção e regras de construção, em ambiente seco ou húmido;
- Fácil de utilizar: o OSB pode ser facilmente serrado, furado, aplainado, fresado ou lixado. Pode ser pregado, cravado ou aparafusado junto ao bordo sem rachar. É também facilmente colado, pintado;
- Sem defeitos estruturais, sem nós, poros ou discontinuidades;

- Disponível em várias classes de resistência mecânica e numa vasta gama de dimensões, com superfície lixada ou não lixada, e acabamento com cantos retos ou com sistema macho-fêmea;
- Impacto ambiental reduzido: não são utilizadas árvores adultas no fabrico do OSB. A sua matéria-prima é constituída unicamente por madeira de pequena dimensão, proveniente de florestas geridas de forma sustentável. Além disso, o OSB é totalmente reciclável.

7.6 MFC

Existem placas de materiais mistos como por exemplo placas revestidas (MFC - melamine faced chipboard), formado por uma placa interior de aglomerado de partículas, mas com camadas superficiais de revestimentos de melamina ou outros compósitos com uma cola de elevada eficiência na resistência e baixas emissões, permitindo boas prestações e ao mesmo tempo cumprir as exigências dos limites de emissões. Este material despertou um grande interesse para o fabrico de mobiliário. Um exemplo deste material é mostrado na Figura 48.

Figura 48

Exemplo de placa de aglomerado revestido a melamina MFC.



8

BIBLIOGRAFIA





Aléon, D. (2012). *Le Séchage des Bois d'oeuvre: de la Theorie à la Pratique*. FCBA. Paris.

Carvalho, A. A. P. (1997). *Madeiras Portuguesas. Vol I e Vol. II. Estrutura anatómica. Propriedades. Utilizações. Direção-Geral das Florestas*. Lisboa.

Carvalho, J.P.; Santos, J.A.; Reimão, D.C.. (2005). *O Carvalho Negral. Programa Agro – UTAD*. Vila Real.

Carvalho, J.P.; Santos, J.A.; Reimão, D.C.. (2007). *Árvores e Florestas de Portugal - A Valorização dos Carvalhais. Capítulo - Utilizações do Carvalho-roble. Fundação Luso Americana, Público e LPN*. Lisboa.

Carvalho, J.P.; Santos, J.A.; Reimão, D.C.; Santos, J.M. . (2007). *Árvores e Florestas de Portugal - A Valorização dos Carvalhais. Capítulo – A Valorização dos Carvalhais. Fundação Luso Americana, Público e LPN*. Lisboa.

David W. Green et al. (1999). *Wood handbook—Wood as an engineering material. Mechanical properties of wood, Chapter 5. Forest Products Laboratory. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 463 p.* EN 622-2:2004-en– Fibreboards; Specifications; Part 2: Requirements for hardboards.

EN 622-3:2004-en - Fibreboards; Specifications; Part 3: Requirements for medium boards.

EN 622-4:2009-en - Fibreboards; Specifications; Part 4: Requirements for softboards.

EN 622-5:2009-en - Fibreboards; Specifications; Part 5: Requirements for dry process boards (MDF)

Louzada, J. L. P. C. (2000). Variação Fenotípica e Genética em Características Estruturais na Madeira de *Pinus pinaster* Ait.. UTAD, Série Didáctica, Ciências Aplicadas nº 143, Vila Real, 293pp.

Melo, J. R.. (1999). Secagem de Madeiras. Teoria e Prática de Secagem Artificial de Madeiras. Estação Florestal Nacional. Lisboa. NP EN 13183-1:2013-pt. Teor de água de um provete de madeira serrada; Parte 1: Determinação pelo método da secagem;

NP EN 310: 2002 – Placas de derivados de Madeira – Determinação do módulo de elasticidade em flexão e de resistências à flexão.

NP EN 312: 2009 – Aglomerado de partículas de Madeira – Especificações.

NP EN 312:2009-pt - Aglomerado de partículas de madeira; Especificações

NP EN 319:2002-pt. Aglomerado de partículas de madeira e aglomerado de fibras de madeira; Determinação da resistência à tracção perpendicular às faces da placa;

Perré, P. (2007). Fundamentals of Wood Drying. COST E15. Nancy. Santos, J. A., et al. (2011). Oak Wood. Capítulo de livro "Oak. Ecology, Types and Management". (págs. 119-150). Nova Science Publishers. New York.

Santos, J. A.. (2000). Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira de Pinheiro Bravo, com Implicações nas Utilizações Indus-

triais. Seminário: A Indústria da Madeira de Pinheiro Bravo. 9 de Junho de 2000. Escola Superior Agrária de Castelo Branco.

Santos, J. A.. (2007). Estudo de modelos e caracterização do comportamento mecânico da madeira. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho. Departamento de Engenharia Mecânica. Guimarães.

Tsoumis, G., (1991). Science and Technology of Wood. Structure, Properties, Utilization. Van Nostrand Reinhold, 494 pp.

9

A close-up photograph of a wooden book spine. The wood grain is clearly visible. A bright green rectangular overlay is positioned horizontally across the upper part of the spine. The text 'ÍNDICE DE' is written in white, uppercase, sans-serif font on this green background. Below the green overlay, the wooden spine continues down to a dark grey or black surface, possibly a table or another part of the book's binding. A small, dark, pointed object is visible on the dark surface in the lower right corner.

ÍNDICE DE

FIGURAS

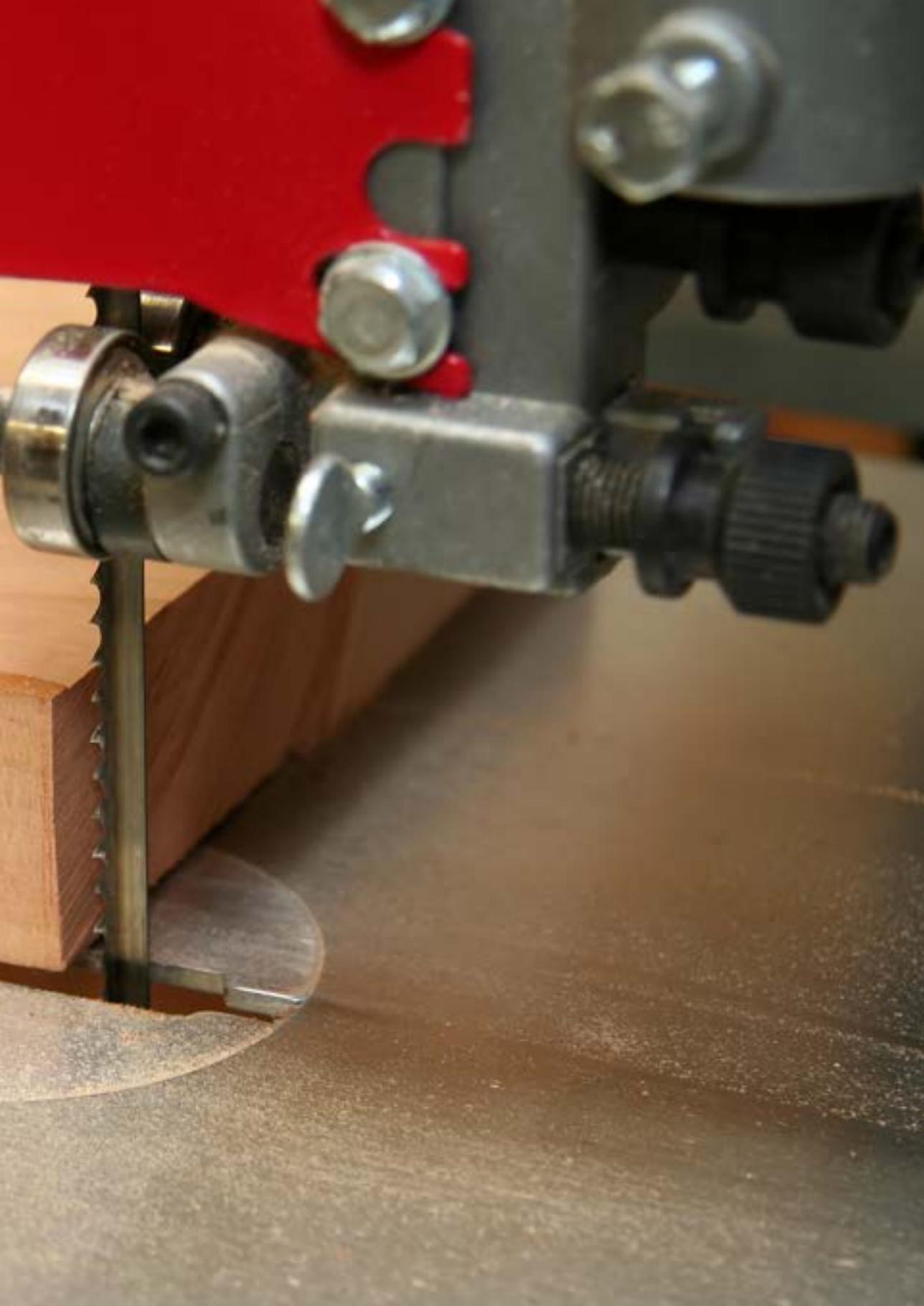


Figura 1 - Perfil otimizado de resistência à flexão.	12
Figura 2 - Designações para as diferentes fases e operações de transformação da madeira.	17
Figura 3 – Operação de toragem realizado na floresta.	18
Figura 4– Operação de abertura otimizada de toros de grande diâmetro, primeiro e segundo fio.	19
Figura 5 - Operação de abertura otimizada de toros de grande diâmetro, terceiro e quarto fio.	20
Figura 6 - Operação de abertura otimizada de toros de grande diâmetro, terceiro e quarto fio.	21
Figura 7 - Operação de abertura otimizada de toros de grande diâmetro, terceiro e quarto fio.	21
Figura 8 - Abertura de um toro por serragem, produção de tábuas e empilhamento para secagem.	22
Figura 9 - As zonas sombreadas a vermelho são de evitar para componentes com exigência de qualidade quanto a fendas e empenos, ou peças de elevados comprimentos.	22
Figura 10 - Padrões de serragem em função da origem das peças cortadas dos toros cilíndricos.	23
Figura 11 – Outros exemplos de padrões de serragem	24
Figura 12 – Desenrolamento de folha de madeira.	25
Figura 13– Corte plano de folha de madeira.	26
Figura 14 – Curvas de equilíbrio higrométrico na sua forma de apresentação mais tradicional.	29
Figura 15 – Curvas de equilíbrio higrométrico numa forma de leitura mais amigável.	29
Figura 16– Modelo da relação entre o teor de água e a quantidade de água a retirar durante a secagem.	30
Figura 17 – Modelo da secagem ao nível de uma célula da madeira.	31
Figura 18– Modelo do mecanismo de saída de água da madeira.	32
Figura 19- Formação da pilha já na configuração para secagem ao ar	34
Figura 20- Formação da pilha já na configuração que segue para a fase de secagem.	35

Figura 21– Esquema tradicional de um secador de madeira.	37
Figura 22- Formação da pilha já na configuração que segue para a fase de secagem.	37
Figura 23- Padrões de serragem da madeira: (a) Tangencial; (b) Radial.	39
Figura 24 – Superfícies de madeira natural expostas ao exterior durante cerca de 8 meses: (a) (b) Borne radial; (c) (d) Borne tangencial; (e) Cerne e borne	40
Figura 25 – Principais defeitos originados durante a secagem da madeira e modo da sua avaliação.	41
Figura 26 – Ensaio de avaliação das tensões de secagem ou gradiente de teor de água.	42
Figura 27 – Ensaio de avaliação do gradiente de teor de água no final da secagem.	43
Figura 28 – Exemplo prático do ensaio do garfo numa secagem de eucalipto.	44
Figura 29 – Fissuras superficiais numa prancha de carvalho, indicando erro de secagem.	45
Figura 30 – Fendas radiais junto à medula na secagem do pinho bravo.	46
Figura 31 – Pranchas de eucalipto com colapso após secagem mal sucedida.	47
Figura 32 – Terminologia dos empenos da madeira	48
Figura 33 – Empeno em meia cana de grande intensidade resultante da secagem.	48
Figura 34 – Empeno em meia cana côncavo ou convexo, dependendo do sentido de evolução do valor do teor de água	49
Figura 35 – Condição para secagem controlada – gradiente entre ambiente envolvente e madeira.	50
Figura 36– Condição para secagem controlada – gradiente entre teor de água na superfície e no interior.	51
Figura 37– Condição para secagem de qualidade – condicionar mecanicamente as pranchas na geometria pretendida (sem de-	

formações).	51
Figura 38– Exemplos práticos das condições de risco da aplicação de madeiras e os principais agentes causadores da degradação.	56
Figura 39 - Pinho natural enterrado no solo durante 6 meses.	57
Figura 40 – Aspeto de amostras de pinho natural ao fim de 12 meses de exposição em ambiente exterior em Lisboa (ensaios LNEG).	59
Figura 41 – Repelência à água na superfície da madeira, induzida por tratamento químico.	66
Figura 42 – Resultados de envelhecimento de acabamentos ao fim de 6 anos de exposição ao exterior.	72
Figura 43 – Exemplo de placa de contraplacado de 9 camadas.	84
Figura 44 – Exemplo de placa de aglomerado de partículas.	85
Figura 45 – Exemplo de placa de aglomerado fibras de alta densidade por via húmida.	87
Figura 46 – Exemplo de placa de aglomerado de fibras.	87
Figura 47 – Exemplo de placa de aglomerado OSB.	89
Figura 48 – Exemplo de placa de aglomerado revestido a melamina MFC.	90

10



ÍNDICE

REMISSIVO



1ª transformação, 17
2ª transformação, 17
aglomerado de fibras de alta densidade, 86
aglomerado de fibras de média densidade, 87
aglomerado de partículas, 84
aglomerado de partículas orientadas, 88
colapso, 46
contraplacado, 83
corte plano, 25
costaneiro, 20
curvas de equilíbrio higrométrico, 28
defeitos na madeira, 41
derivados da madeira, 81
desenrolamento, 24
empenos, 47
fendas de secagem, 44
fendas superficiais, 28
gradiente de secagem, 38
madeira termo-modificada, 78
Padrão de serragem, 23
padrões de serragem, 23
pilhas de secagem, 34
placas revestidas, 90
secagem ao ar, 33
secagem artificial, 36
secagem natural, 33
serragem, 18

SOBRE O AUTOR

José António dos Santos, licenciado em **Engenharia Mecânica**, terminado em 1975 na Universidade de Luanda e especialização em **Ciência dos Materiais** na Universidade Nova de Lisboa terminada em 1978. Doutorado em **Mecânica dos Materiais** pela Universidade do Minho, terminado em 2007. Membro sénior da Ordem dos Engenheiros com a cédula nº 13178.

Trabalhou no ex-INETI durante 38 anos, sendo responsável pela Unidade de Tecnologia da Madeira de 1992 até 2014, chegando à categoria de Investigador Principal por concurso. No laboratório dinamizou e participou em 14 projetos nacionais e internacionais de investigação aplicada, em temas como máquinas e ferramentas para trabalhar madeira, secagem de madeiras e novos produtos.

Professor convidado da Universidade do Minho entre 2000 e 2007, nas disciplinas de Tecnologia e Conhecimentos da Madeira, Anteprojecto Mecânico e Estruturas Especiais, do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica.

Comunicações em congressos e artigos publicados em revistas científicas e técnicas, num total de 47 trabalhos apresentados.

Autor e co-autor dos seguintes livros e capítulos de livros: SANTOS, J.A. (1989). **“Colagem de madeira - Contribuição para melhoramento das ligações coladas e valorização tecnológica de madeiras nacionais”**. INETI. 2ª Ed. Lisboa; Carvalho, J. P.; Santos, J. A., et al. (2005). **“O Carvalho Negral”**. UTAD – CEGE. Vila Real; José Santos; João P. Carvalho; Joana Santos (2012). **Oaks - Ecology, Types and Management**. Nova Science Publishers, New York. Capítulo IV. (pág.119-150); Fernando Sanz, et al., José A. Santos, (2007). **Aplicações Industriais do Pinheiro Bravo**. Centro de Innovación e Servizos Tecnolóxicos da Madera de Galicia. Tradução AIMMP. Porto; Joaquim Sande Silva, et al. (2007). **Árvores e Florestas de Portugal – Os Carvalhais - Um Património a Conservar**. Capítulo II e III. Público, Comunicação Social SA. Lisboa.

