

1 INTRODUÇÃO

«Mas o que seria a madeira?

A resposta chegou-lhe de algures:

plástico vivo.»

Fritz Leiber "Nave das Sombras"

1.1 Enquadramento e contextualização

Apesar da grande tradição histórica de aplicação da madeira no nosso país, apenas agora se assiste a um retomar de interesse no material, tendo o empenho da comunidade científica muito contribuído para esta renovada atenção. A apresentação de soluções que permitem minimizar menos valias da madeira como material, aliado à crescente consciencialização da sociedade e a apetência desta para a escolha preferencial por materiais renováveis, formam uma conjuntura muito favorável à reintrodução da aplicação efectiva da madeira nacional no sector da construção, em aplicações estruturais e decorativas. No entanto, a percepção generalizada de que a madeira é um material com elevado índice de falência em serviço, a competição de outros materiais bem mais implementados, bem como a concorrência de madeiras importadas em muito dificultam este propósito [1].

Para reverter a situação torna-se essencial fomentar a pesquisa científica, divulgar estudos e conclusões que desmistifiquem pressupostos errados sobre o material, implementando definitivamente mecanismos controlo de qualidade em todas as fases do processo de fornecimento da madeira (desde o abate à entrega) bem como a formação de todos os agentes envolvidos no processo para que o cenário frequente, e muitas vezes cumulativo, de situações de prescrição desajustado às condições de serviço, especificações incorrectas ou ambíguas, e/ou o fornecimento de material que não cumpre as exigências especificadas nos cadernos de encargos, cesse definitivamente [1,2].

As pesquisas e estudos visando novos materiais derivados da madeira ou novas aplicações são considerados [1,2] como dos meios mais eficazes de desmistificação de noções preconcebidas sobre a madeira como material, junto quer da sociedade em geral quer de profissionais.

Conseguir que um elemento em madeira alie simultaneamente resistência e durabilidade a múltiplas possibilidades de acabamento, facultaria uma nova amplitude criativa e um passo muito positivo face a essa pretensão.

Arquitectos constataam dia a dia na sua actividade, que as possibilidades criativas de aplicaçaõ da madeira sãõ ainda muitas vezes inviabilizadas principalmente pela dispersãõ de agentes necessãrios (um fornecedor de madeira, um transformador, um aplicador, um agente que garanta o acabamento desejado, um agente que assegure a manutençaõ,...) pelo facto da madeira ainda nãõ ser encarando como um produto como tantos outros, regido pelas leis de mercado [1].

Nesta dissertaçãõ procura dar-se um pequeno passo neste sentido ao desenvolver um procedimento capaz de aliar estãtica e tãcnica abarcando uma lãgica de produto.

Assim, a presente investigaçaõ procurou fundamentar-se na adaptaçaõ dos processos mais recentes de impregnaçaõ quãmica e tingimento tãxtil hoje utilizados, de forma a conferir cor e eventualmente protecçaõ adicional a elementos de madeira para aplicaçaõ em condições de serviço diversas. Isto possibilitaria a sua utilizaçaõ em ambientes marãtimos, elementos enterrados como vedações e postes, garantindo ao mesmo tempo um acabamento duradouro e de fãcil manutençaõ depois de aplicado.

A obtençaõ de tal material possibilitaria a ampliaçaõ da aplicaçaõ da madeira nãõ sãõ com fins estruturais, mas tãmbãem em revestimentos interiores e exteriores, embarcações, em equipamentos desportivos e infantis, mobiliãrio urbano e domãstico. Permitiria ainda, numa outra vertente, obter, por um efeito mimãtico, uma espãcie apreciada comercialmente pelo seu aspecto natural e caracterãstico, com base numa outra mais barata e mais disponãvel para fornecimento imediato em quantidades necessãrias e suficientes.

Por outro lado, ao diminuir o nãmero de intervenientes no processo de transformaçaõ e aplicaçaõ da madeira pela concentraçaõ de esforços e instalações, procura tornar-se o material mais competitivo atravãs de uma reduçaõ de custos finais de aplicaçaõ. Ainda de referir que o facto de o acabamento existir em toda a secçaõ da peça tornaria mais fãcil a manutençaõ, bastando apenas lixar para que de novo o acabamento surja, para alãem de melhorar a trabalhabilidade do material, jã que de uma peça inteira poderãõ ser obtidas outras jã com acabamento em todas as arestas de corte.

Constata-se que, actualmente, os produtos de atribuiçaõ de cor à madeira passam pela pintura, verniz, velaturas, lasures, folheados ou lacagens, sendo que estes, no entanto, apresentam uma durabilidade nãõ muito satisfatãria, obrigando a manutenções frequentes. Estes acabamentos juntamente com o carãcter algo restrito de estãticas possãveis e pela sensibilidade na qualidade do produto final face à mãõ-de-obra, constituem algumas barreiras ao nãvel da aplicaçaõ.

Assim, procura-se um procedimento comercialmente viãvel, que permita obter proveito estãtico de uma paleta de cores, sãlidas, resistentes aos agentes atmosfãricos (U.V. e chuva) e de fãcil manutençaõ, por fixaçaõ quãmica da cor às fibras constituintes da madeira.

O proveito estético inclui, por um lado uma vertente criativa, de cores vivas, e por outro, uma vertente mais apelativa comercialmente, assemelhando as características visuais entre espécies arbóreas distintas, com valores comerciais distintos.

Procura-se ainda possibilitar a obtenção simultânea de benefícios técnicos, procurando melhorar as resistências físicas e mecânicas de forma a torna-las aptas a aplicações estruturais na construção.

As vantagens da utilização de produtos derivados da madeira estão principalmente relacionadas com o aproveitamento das mais valias introduzidas pelo processamento em fábrica.

Com processos de fabrico controlados desde a sementeira passando pelo abate (garantidos pelo certificado da floresta), fornecendo matéria-prima de qualidade a indústrias capazes de a processar em larga escala, permite ainda controlar a qualidade da transformação e obter, assim, madeiras maciças que usufruem de tais mais valias.

Serão então obtidas madeiras de melhor qualidade, em que processos fundamentais como os da secagem e controle do teor de humidade presente são devidamente cuidados e monitorizados, auferindo o consumidor de um produto final com uma qualidade garantida, passível inclusivamente de certificação, que se torna numa mais valia comercial quando apresentada à sociedade cada vez mais ecologicamente consciente.

Por outro lado, o processamento em larga escala permite a obtenção de maiores cargas tratadas (rentabilizando gastos energéticos) bem como a obtenção de uma maior protecção, graças à profundidade de penetração dos produtos preservadores.

É possível e desejável ampliar horizontes para além dos benefícios ambientais das florestas e dos recursos fulcrais como solo e o subsolo, bem como da função vital desempenhada pela vegetação na protecção da erosão dos solos e dos lençóis freáticos e na conservação ambiental e da biodiversidade.

O desenvolvimento de um *Know-how* que permita o processamento de peças de madeira às quais seja possível atribuir uma cor própria dentro de um vasto catálogo de tonalidades e com características mecânicas melhoradas, terá previsivelmente um impacto significativo a diversos níveis socio-económicos.

Por um lado, ao minimizar menos valias da madeira como material, aliando-a à crescente consciencialização da sociedade e a apetência desta para a escolha preferencial por materiais renováveis, formam uma conjuntura muito favorável à reintrodução da aplicação da madeira nacional em aplicações estruturais e decorativas. A desmistificação de pressupostos errados sobre o material

adicionada pela garantia de qualidade permitirá fazer face a outros materiais bem mais implementados, e a concorrência de espécies importadas.

Por outro lado, os benefícios que a madeira maciça pode adquirir do processamento em estruturas industriais compensam largamente, já que obtemos um produto final com uma qualidade garantida, passível, inclusivamente de certificação, já que processos fundamentais como os da secagem e índice de humidade presente são devidamente monitorizados e controlados. Permite ainda a obtenção de maiores cargas tratadas (rentabilizando gastos energéticos) bem como a obtenção de uma maior protecção, graças às maiores profundidades de penetração dos produtos preservadores, bem como diminuir o número de intervenientes no processo de transformação e aplicação da madeira permite a concentração de esforços e instalações com consequentes reduções de custos. Tudo isto aliado à possibilidade de obtenção do aspecto de algumas madeiras muito apreciadas pela sua estética natural, como a cerejeira, tendo como base uma outra espécie de menor preço e de veio semelhante, e a simplificação manutenção, torna o material mais apelativo e competitivo, dando mais um passo na consolidação do sector bem como um incremento na oferta de inovação nacional nos principais mercados de exportações,

A nível de mercado nacional os benefícios parecem incidir sobre a em tempos frutífera Têxtil, marcada actualmente pela generalizada crescente perda de competitividade do sector industrial.

A teoria de que o sentido de propriedade é o melhor defensor dos bens comuns, é sabida. Tal teoria assenta no conceito jurídico da concessão de um qualquer bem ou espaço. Este conceito já aplicado à muito noutros campos parece-nos ajustável à floresta, adicionado lateralmente previsíveis benefícios na preservação e valorização da floresta. Referimo-nos, por exemplo, à concessão do espaço “floresta” para as actividades turísticas/lazer como as de caça e pesca, actividades radicais, que organizadas como prestação de serviços prefiguram negócios rentáveis. Podiam ainda juntar-se-lhe o aproveitamento de produtos “não madeireiros” para novos e crescentes mercados de cosméticos, chás e fármacos à base de produtos naturais.

Não são, ainda, de descurar os impactos a nível regional.

Segundo dados do Instituto Nacional de Estatística, o desemprego atingiu no primeiro trimestre do ano de 2006 o maior valor dos últimos oito anos, chegando aos 412 mil desempregados. Contabilizam-se hoje mais 65 mil desempregados do que no final de Março de 2004. A taxa de desemprego que já chegou aos 7,5%, sendo a região Norte a mais afectada, apresentando uma subida de 8% no último trimestre do ano de 2005 para os 8,7% em 2006. Foi na área da indústria que mais se fez sentir o agravamento da situação, já considerada muito difícil em finais de 2004.

Coincidindo com a divulgação destes dados, o Governo fez na Assembleia da República a avaliação do estado do sector têxtil face aos últimos elementos conhecidos sobre a liberalização das trocas comerciais ocorrida em 1 de Janeiro passado. Constatando-se que, no primeiro trimestre deste ano, houve na União Europeia um crescimento das importações de têxteis oriundos da China que chegou a atingir os 500% nalguns produtos e sabendo-se que quase 85% das exportações nacionais de têxteis são dirigidas ao mercado comunitário, o impacto negativo desta liberalização sobre a indústria têxtil nacional é previsível.

Segundo a Direcção Geral da Empresa do Ministério da Economia e Inovação, a indústria têxtil, de vestuário e calçado contribuía em 2001 com cerca de 3% para o produto nacional e representava 6% do emprego total. Acontece que em 1997 empregava ainda cerca de 272 mil pessoas, para em 2004 passar a empregar apenas 190 mil, ao mesmo tempo que se registava um aumento de 42% no número de falências nos dois últimos anos do período - entre 2003 e 2004.

Segundo dados do Centro de Estudos Têxteis Aplicados (associação de utilidade pública, sem fins lucrativos) Portugal terá perdido neste sector cerca de 14 mil postos de trabalho por ano entre 2000 e 2004, prevendo-se que até 2010 possa ainda perder 70 mil.

A indústria têxtil é, em termos nacionais e regionais, muito importante tendo em conta a concentração geográfica desta indústria. De facto, e segundo dados do Centro de Estudos Têxteis Aplicados, cerca de 80% dos efectivos exercem a sua actividade no Norte, representando em regiões como o Cávado e o Ave, a indústria têxtil e de vestuário mais de 2/3 da actividade transformadora.

Portugal apresenta uma capacidade efectiva de inovação, traduzida em projectos concretos de sucesso, muitas vezes não divulgados de forma conveniente. Têm sido implementadas diversas acções no sentido de reafirmar a indústria em geral e a têxtil em particular, potenciando inovação e formação, já que as estratégias para o desenvolvimento assentam por um lado, no aumento dos níveis de produtividade, por outro nos elementos imateriais, "não custo", que significam actividades de inovação, criação e marketing.

Neste contexto, podemos concluir que a inovação, bem como a identificação de novos processos e produtos surgem como passo imediato para a modernização e conversão da têxtil, vitais no sucesso e na afirmação e credibilização da indústria e como forma de fortalecer o posicionamento desta indústria no contexto nacional e internacional.

O procedimento de tingimento em madeira perspectiva então não só um aumento da oferta de inovação apresentada pelo País mas também um eventual aproveitamento e reconversão dos parques de mão-de-obra, tecnologia e conhecimento, da indústria têxtil, e nessa medida criar uma janela de oportunidade que permita deixar de vez a endémica crise em que as regiões do Vale do Cávado e Ave estão mergulhada, e da qual os dados acima expostos dão conta.

1.2 Objectivos

Em resumo, então, o objecto final desta dissertação passa pela definição um procedimento rigoroso, controlando as diversas variáveis inerentes, visando duas estéticas distintas, uma de mimetismo e outra de coloração decorativa. Para atingir tal fim, estabeleceram-se dois objectivos intermédios que passam por:

- confirmar a família e grupo de corante adequado – os corantes directos - ao tingimento da celulose presente na madeira, penetrando em toda a secção da peça e
- definir as espécies arbóreas mais susceptíveis de se adequarem ao tratamento.

Diversos problemas, no entanto, se anunciam:

- Como garantir que a cor penetra em toda a secção da peça?
- Como garantir uma cor sólida associada à celulose presente na madeira?
- Como garantir que o tratamento não altera propriedades mecânica relevantes?
- Como garantir cores e tons?
- Como garantir uniformidade no acabamento?

Um processo de criação, por natureza, requer para resolver as questões levantadas um estudo aprofundado e uma recolha de elementos dispersos em áreas afins de forma a sustentar a pesquisa. A sua materialização obriga a ir aferindo ao longo do processo, pelos resultados obtidos através de um método experimental da adequação da direcção tomada e a tomar.

Para tal, iniciou-se uma abordagem sistematizada ao material, bem como um estudo aprofundado ao processos de impregnação química e sua evolução bem como, e uma vez que a madeira é constituída basicamente por celulose, aos processos de química têxtil aplicada ao tingimento de fibras celulósicas, como seja, por exemplo, o algodão.

1.3 Organização da dissertação

A presente dissertação procura propor, fundamentar e comprovar a tese de um procedimento capaz da alteração de todas as camadas constituintes da madeira, com proveito técnico e estético do resultado, obtendo madeiras coloridas (sem recurso aos acabamentos comuns de pintura ou folheado) com eventual melhoria no seu desempenho funcional. Ao obter uma impregnação colorida em profundidade do elemento em madeira pretende-se abarcar duas vertentes: uma de acabamento decorativo e outra de carácter mimético procurando assemelhar cores naturais de espécies arbóreas distintas.

Como se trata de uma técnica proposta, não documentada, o seu entendimento e execução foram inicialmente meramente teóricos. Devido à grande dispersão do material teórico disponível, optou-se primeiramente pelo levantamento e organização da informação, sendo-lhe dedicada toda a primeira parte deste trabalho. Aqui são então apresentados, de forma detalhada os materiais a utilizar - madeiras e corantes para tingimento de fibras celulósicas - bem como equipamentos e procedimentos já utilizados para a impregnação química, e que permitiram basear o procedimento experimental pretendido, bem como a execução de um protótipo para ensaios em pequena escala.

Seguidamente é descrito todo desenvolvimento da parte prática, todos trabalhos experimentais e equipamentos neles utilizados, encetados de forma a comprovar resultados e concluir do sucesso da tese da hipótese inicialmente apresentada.

É então constituída por uma introdução seguida por 4 capítulos:

Capítulo 2 trata de uma análise dos materiais e procedimentos em que esta dissertação se baseia, apresentando-se materiais – madeira e corantes - e procedimentos - Impregnação e tingimento de fibras celulósicas com corantes directos - que servirão de base à tese proposta;

Capítulo 3 aborda os ensaios prévios à elaboração de protótipo, a montagem deste e aos ensaios finais realizados nesse protótipo;

Capítulo 4 afere dos resultados e análise dos mesmos;

Capítulo 5 tece conclusões sobre o trabalho realizado e aponta algumas direcções para trabalhos futuros.

2 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

2.1 A madeira

Ao longo da história, tanto pelas suas características como pela relativa abundância, madeira tornou-se num material preferencial para diversas aplicações, quer estruturais quer utilitárias e decorativas.

A madeira é composta de celulose, lenhina, hemi celulose, e em menor quantidade (5% a 10%) de materiais amorfos, contido numa estrutura celular polimérica. Variações nas características e quantidade destes compostos, bem como diferenças na própria estrutura celular, são responsáveis por espécies diferentes, embora as suas propriedades dentro da mesma espécie apresentem-se relativamente constantes. No entanto, para que a utilização da madeira seja feita de forma eficiente e lucrativa, devem ser cuidadosamente analisadas características específicas adequadas à sua utilização, sendo este dos meios mais eficazes de implementar a madeira, preferencialmente de re-florestação, na vanguarda de materiais de construção.

Como material estrutural, a madeira apresenta à partida, uma boa durabilidade e desempenho em serviço, com uma relação excelente de peso/resistência, apresentando ainda boas propriedades de isolamento (térmicas, acústicas e eléctricas). É facilmente trabalhada e amarrada com diversos elementos (pregos, gatos, adesivos e parafusos). Se danificada, é facilmente reparável, remodelada ou alterada. Além do mais, a madeira resiste bem melhor do que outros materiais mais implementados à oxidação, aos ácidos, à água salgada bem como a outros agentes corrosivos,

apresentando alto valor de reabilitação, boa resistência ao choque, viabilizando tratamentos com produtos hidrofóbicos, anti fúngicos e retardantes de combustão, podendo ainda ser combinado com quase qualquer outro material existente no mercado, sem riscos de incompatibilidade, para propósitos tanto funcionais como estéticos [3].

Hoje em dia, novas exigências, produtos e conceitos de madeira surgem, dirigindo pesquisa científica actual para o desenvolvimento de novos elementos e madeira quimicamente modificada. Em resposta a estas exigências, novos produtos estão a surgir, com êxito, todos os dias. Os produtos como madeira “plastificada”, madeira moldável, laminados, lamelados, madeiras modificadas com impregnações de resinas, madeira prensada (staypak) e madeira tratada com calor (staybwood).

Também o desenvolvimento crescente de colas e adesivos, surge como essencial no desenvolvimento crescente de indústrias de produtos florestais noutros países. São, em grande parte, utilizados em materiais tal como madeira compensada, flake-boards estruturais, particle boards, fiber-boards, produtos de madeira laminada, e combinados com isolamento de fibra de vidro [3]. Grandes avanços estão a ser também alcançados em particular em áreas de compostos químicos para tratar a madeira, como sejam o glicol de polietileno e diversos polímeros como bem inovações nos laminados estruturais e decorativos [3]. Estas modificações químicas estruturais introduzidas na madeira são obtidas principalmente através de um método utilizado para outros fins: a impregnação.

2.1.1 O uso da madeira no decorrer da história

Para o Homem, desde sempre, a procura de melhorias e progressos que tornassem a protecção contra as intempéries mais eficiente, foi vital. Esquemas estruturais pilares/vigas foram descobertos em escavações arqueológicas em diversos pontos do globo [5,6], mostrando que mesmo antes da era do fogo, a madeira era utilizada como material de construção em várias civilizações.

A utilização da madeira pelo Homem está dependente de inúmeros factores: o clima, o relevo do terreno, catástrofes naturais, determinaram metodologias e aplicações dadas à madeira disponível. Escavações arqueológicas mostram que o Homem apercebeu-se, desde cedo, do amplo leque de aptidões neste material. A constatação que a madeira flutua, favorece o surgimento dos primeiros barcos, que levaram, entre outros, Portugueses a terras distantes, proporcionando glória e riqueza como nunca. A facilidade que o material apresenta em ser trabalhado, levou à sua aplicação em utensílios domésticos ou de trabalho, móveis, e esculturas, adaptando-se meios às necessidades,

mediante as espécies disponíveis. A madeira era utilizada só ou em combinação com outros elementos como o barro, a palha, a pedra e o metal, para os mais diversos fins [7].

Diversos exemplos podem ser retirados, da aplicação da madeira, ao longo da História da Arquitectura, e que atestam das excelentes propriedades da madeira com material, conceitos que se foram perdendo e/ou sendo substituídas por outros. São disso exemplo a arquitectura nórdica e oriental, que muito têm servido, actualmente de inspiração estética mas que apresentam aspectos construtivos muito relevantes que devem ser analisados e considerados [4]. Construtivamente, a arquitectura oriental caracteriza-se, em linhas gerais, por ser uma arquitectura leve, ajustada a um território geologicamente instável, padecente de terremotos frequentes, fazendo por isso uso de elementos leves ligados por encaixes ligeiros mas resistentes. Já a arquitectura nórdica é caracterizada pela espessura das paredes, capazes de isolar o frio, numa construção maciça, bem diferente da Oriental, mas igualmente muito interessante, demonstrando não só das propriedades térmicas da madeira mas também a sua versatilidade e adaptabilidade a diferentes ambientes e necessidades [4].

Arquitectura em madeira

As civilizações orientais caracterizam-se por uma cultura que permanece praticamente intacta ao longo de milénios em virtude da sua força e riqueza. Nalguns lugares podemos ter a impressão que globalização não existe, tal é o enraizamento cultural. Por isso o capítulo oriental da História da Arquitectura apenas agora começa a ser divulgado. Os cataclismos ajudaram muito a ocultar o passado, e dificultar a datação das obras (depois de incêndios, ou terremotos, por exemplo), com todos os cataclismos que as cidades tiveram (e têm ainda hoje) que passar, agravada pela capacidade oriental de reaproveitar os elementos que se mantêm, tornando por isso difícil datar algum edifício [8,9,10,11].

A madeira exposta à variação climática sofre com isso, porém temos alguns exemplos de construções japonesas que datam de 670 e 714 [10]. Dos países orientais o que mais se destaca é o Japão, pelo facto de ser isolado pelo mar e pelo oceano, este complexo de ilhas conservou-se livre de “contaminações” externas por muito mais tempo, apresentando-se estilisticamente “puro” mesmo quando comparada com as suas bases: a arquitectura chinesa e a coreana.

Um outro exemplo de uma arquitectura marcante em madeira, é a Norueguesa [11]. Aqui o território caracteriza-se pela existência de vastíssimos bosques e florestas e pelo seu clima frio. Os habitantes utilizavam a madeira como principal elemento construtivo devido ao seu carácter de isolamento

térmico. Além das casas, os Vikings utilizavam a madeira na construção de seus barcos: os “*long boats*”, popularizados por *Drakkars*.

O estilo mais utilizado nas casas Norueguesas é o “*laft*” (figura1), onde as paredes são erguidas com troncos empilhados horizontais de madeira.



Figura 1-Técnica construtiva em "laft"

O isolamento total era obtido com ripas coloridas entre os troncos, ou uma pasta elaborada (nas casas mais pobres). A casa permanecia inabitada por um ano aproximadamente, para que os troncos se assentassem uns nos outros, o que fazia com que as casas perdessem alguns centímetros de altura. As esquadrias de janelas e portas eram colocadas depois.

Entre 1100 e 1300, construíram-se cerca de 1 000 igrejas de madeira na Noruega. Hoje em dia, existem menos de trinta. Embora os arqueólogos tenham encontrado provas de que igrejas de madeira foram construídas um pouco por todo o norte da Europa, apenas no sul da Noruega elas foram preservadas (figuras 3,4,5 e 6).



Figura 2-Igreja Borgund, edifício de desenho elaborado, de nave tripla, construída no século XII, não tendo sofrido quaisquer alterações ou reconstruções desde essa altura.



Figura 3-Coberturas e paramentos verticais da Igreja Borgund, localizada em Lærdal, Noruega. O desenho da peça de remate da cobertura está presente no brasão do município.



Figura 4-Brasão do Município de Lærdal, Noruega.

A técnica de construção tradicional lafting (ou em troncos) consiste em entalhar troncos e ajustá-los conjuntamente e na horizontal a fim de criar paredes volumosas. Por outro lado, a técnica de construção em madeira implica um vigeamento em esqueleto formado por postes verticais. O edifício

fica completo com pranchas altas de madeira que são também erguidas na vertical, lembrando a estrutura utilizada na construção naval (figura 5).

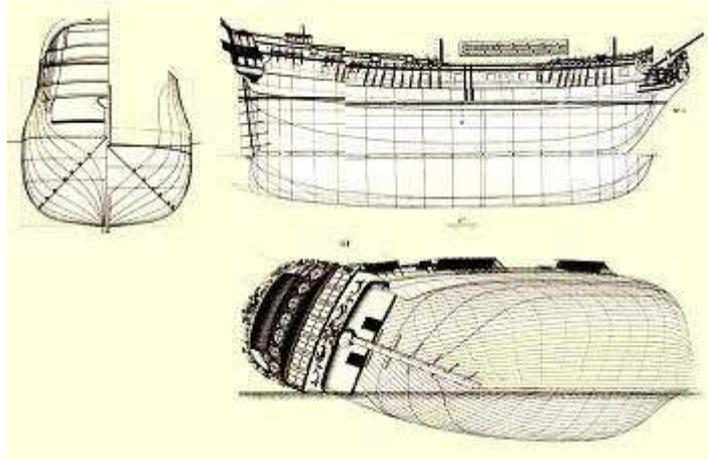


Figura 5-Planos navais de execução desenvolvidos por Chapman em 1768 no seu Architectura Navalis Mercatoria.

Nas construções primordiais de Igrejas em madeira, os postes eram colocados em poços escavados directamente no chão, resultando no seu apodrecimento por humidade ascensional a partir do solo. Nas obras subseqüentes, os construtores edificaram uma fundação de pedra (figura 6) sobre a qual elevavam uma base, formada por vigas horizontais. Todos os elementos verticais (incluindo os postes grandes, denominados mastros) eram montados em encaixes na soleira, com dois a quatro postes por parede.



Figura 6-Base em pedra por forma a evitar o apodrecimento por humidade ascensional.

O topo de cada poste, a uma altura de 8 a 9 m, era preso a uma soleira elevada através da utilização de juntas articuladas em cruz. Grande parte de cada armação de paramento vertical era fabricada no

chão e elevada como uma unidade individual para cima da soleira de fundação e em ângulo recto, criando um espaço interior de dimensões cúbicas.

A nível tipológico, são vários os tipos de igrejas de madeira. As mais simples possuem apenas uma nave e um pequeno coro, e o telhado apoia-se directamente em cima das paredes. Algumas possuem um mastro alto no meio para suportar um pináculo bem como as paredes. As maiores e mais complexas possuem uma divisão elevada ao centro, suportada sobre postes individuais e rodeada por uma galeria mais baixa (figura 7). As entradas de madeira são muitas vezes profusamente decoradas com gravações e esculturas complexas cruzando traços da estética das artes Românicas, Celtas e da tradição Viking (figura 8).



Figura 7-Igreja de Urnes, localizada em Sogn og Fjordane, Noruega. Foi construída, integralmente em madeira durante os séculos 12 e 13.



Figura 8-Pormenor da decoração da igreja em Urnes.

Assim as *Stavkirker* (“Igrejas de Madeira”) conquistaram um lugar na consciência pública basicamente durante o século XIX, e principalmente através das pinturas românticas dos pintores Johannes Flintoe e J. C. Dalh.

Arquitectos Noruegueses começaram então a registar e inspeccionar as igrejas que estavam sob ameaça de ser destruídas. Em 1844, alguns entusiastas fundaram a *Fortidsminneforeningen* (Sociedade para a Preservação dos Monumentos Antigos Noruegueses) a fim de cuidar dos edifícios antigos e significativos. Hoje em dia esta sociedade tem a seu cargo a preservação de oito igrejas de madeira, mantendo apenas os procedimentos de manutenção originais, com pinturas regulares com bases oleosas.

A nível histórico, a actividade madeireira e a arte de a trabalhar revestiu-se sempre vital importância também no nosso País. Sendo um material com bastante disponibilidade num País com uma vocação eminentemente marítima devido há grande extensão de costa, a madeira foi aplicada nas mais diversas áreas, desde objectos para uso quotidiano até às grandes embarcações que levaram os Portugueses ao Brasil, Africa, à India e Japão (figura 9).



Figura 9-Caravela Vera Cruz. A Caravela Portuguesa possuía velas triangulares que permitiam contrariar os ventos dominantes.

Também em Portugal se assiste recentemente a um retomar de interesse da comunidade científica e da sociedade em geral pelo assunto, não só pela valorização do Património Cultural (figuras 10 e 11) com proveito para a actividade turística, mas principalmente com a crescente constatação da finitude dos recursos e da necessidade de assegurar a sustentabilidade das actividades humanas [13].



Figura 10-Habitações piscatórias na Costa Nova, Portugal - "Palheiros".



Figura 11-Embarcações piscatórias utilizados na zona de Aveiro, Portugal.

Coberto vegetal Português

Um esforço tem sido feito no sentido de desenvolver modelos de referência da vegetação que permitam conhecer o coberto natural vegetal de cada zona do país, tanto para fins de ordenamento do território como de gestão dos recursos naturais [14].

De facto, como a vegetação natural de Portugal há já vários séculos sofre a influência do Homem, com a destruição da floresta e sua substituição por culturas ou por espécies arbóreas não autóctones, tornando-se difícil actualmente determinar quais teriam sido as formações vegetais originais, no sentido de se definir um padrão de comparação com o actual.

O conceito de coberto vegetal natural potencial apresenta-se, assim, como uma base de trabalho de grande interesse, apesar das dificuldades que ocorrem para o sua determinação.

Fragmentos ainda observáveis nos nossos dias:

- Sem a intervenção humana: na maior parte do território nacional;
- Formações vegetais do tipo florestal dominadas por *Quercíneas*
- No Algarve e no vale do Guadiana existiria uma mata mediterrânica.

Evolução da floresta em Portugal

Estudos de Paleobotânica mostram que após as glaciações do período quaternário a flora florestal passou a ser dominada por carvalhos de diversas espécies. Devido à ocupação e sedentarização humana – com a agricultura e a pastorícia – as florestas foram submetidas a muitas pressões e alterações [15,16].

No caso de algumas espécies, não é sequer claro se a sua existência se deve ao facto de terem sobrevivido ao frio das épocas glaciárias ou se, pelo contrário, foram posteriormente introduzidas no País por algum ou alguns dos diversos povos que por cá se fixaram depois das glaciações, ou mesmo já no período histórico.

Assim, não é fácil encontrar elementos para estabelecer um padrão de ocupação florestal estável que sirva de referência para comparar com a situação actual. Os primeiros inventários florestais foram realizados no século XIX; mostram um Portugal com uma área florestal muito reduzida – menos de um quarto da área florestal actual – e uma grande superfície de terrenos incultos [15,16].

Os povoamentos de carvalhos de diversas espécies existentes entre nós, – incluindo o sobreiro e a azinheira – embora ocupassem cerca de dois terços da superfície florestal de então, tinham uma área inferior à que actualmente se encontra coberta apenas pela azinheira [16].

Os traços mais salientes da evolução da área florestal desde o século XIX até aos nossos dias consistem fundamentalmente, na progressiva ocupação de terrenos incultos sem vocação agrícola e na expansão da área de pinheiro bravo, que é hoje a nossa principal espécie produtora de madeira [15].

Contudo esta expansão não parece ter afectado as espécies tradicionais – as diversas espécies de carvalhos e castanheiro - que tiveram também um acréscimo importante na sua área. Em anos recentes, sobretudo a partir de 1960, verifica-se um crescimento muito rápido da superfície ocupada com eucaliptal e uma redução lenta, mas constante, da área de montado de azinho [15,16].

Os dois fenómenos têm pouca relação entre si, embora tenha havido algumas substituições de montado de azinho por eucalipto. Com efeito, as regiões com condições ambientais aceitáveis para as duas espécies pouco se sobrepõem.

Os carvalhos de folha caduca e o castanheiro sofreram também alguma redução, após um acréscimo considerável no início do século, mas no último caso seria necessário acrescentar aos valores de 1990 cerca de 54000 ha de soutos conduzidos para a produção de fruto [15,16].

Tanto quanto se pode deduzir da informação compilada até à actualidade, a floresta portuguesa encontra-se, desde há muito, profundamente artificializada.

A alteração mais drástica foi, sem dúvida, a expansão do pinheiro bravo, nos primeiros anos deste século. Com excepção de alguns trabalhos executados pelos serviços estatais – como a fixação das dunas do litoral e a tão controversa arborização dos baldios das serras – esta espécie expandiu-se sobretudo devido à iniciativa de proprietários particulares [15,16].

O recente acréscimo da superfície ocupada com eucaliptal tem algumas características semelhantes, mas tem sido mais organizado e em menor escala, em relação directa com as necessidades em matéria-prima de uma indústria florestal específica.

Podemos dizer, em termos gerais, que devido aos diversos quocientes de temperatura existentes em Portugal, existe no norte um mundo atlântico e, no sul um mundo mediterrânico, separado por uma zona intermédia. Assim, na zona norte do País temos principalmente árvores de folha caduca (aestisilvae), na zona centro basicamente, carvalhais marcescentes (aesti-durisilva) e na zona sul, árvores de folha persistente (durisilvae) [15,16].

Hoje..

A consciência de que os recursos da Terra não são eternos, o desejo de desenvolvimento e bem-estar social é bem presente, em particular na actividade da construção já que consome cerca de 50% de todos os recursos.

Os recursos energéticos, podem dividir -se em dois grandes grupos:

- Os **não-renováveis** incluem substâncias que não podem ser recuperadas em um curto período de tempo, como por exemplo o petróleo e minérios em geral.
- Os **renováveis** são aqueles que podem se renovar, ou serem recuperados com ou sem interferência humana, como as florestas, luz solar, ventos e água [15].

As populações urbanas chegam a constituir metade da população mundial. A pressão demográfica das cidades e seu estilo de vida muito contribui para uma pressão ambiental insustentável e cujas as consequências não são desconhecidas. À medida que a prosperidade aumenta, aumenta o consumo, aumenta o descartável, aumentam os resíduos e as emissões de CO₂ que influencia directamente o aquecimento global. As emissões de CO₂, são, como se sabe, dos maiores responsáveis pelo efeito de estufa, como é sabido também que a madeira funciona como depósito de CO₂ mesmo depois de abatida [16,17,18].

É sabido por todos que ao longo do crescimento, uma árvore absorve CO₂, transformando-o, e emitindo para a atmosfera O₂. É necessário fazer saber que este fenómeno dá-se na ordem de 1,0 tonelada de madeira absorve 1,5 toneladas de CO₂, transformando-o numa emissão para a atmosfera de 1,1 toneladas de O₂ [18].

A desflorestação também responsável pela emissão de 1.1 a 1.7 biliões de toneladas de carbono por ano, cerca de 1/5 das emissões de CO₂ produzidas pelo homem [17,18].

A gestão florestal [15,17] não só traz mais valias a nível ambiental, aumentando a capacidade acumuladora de CO₂ das florestas, bem como dar um excelente contributo para um desenvolvimento sustentados de países sub desenvolvidos ou em vias de desenvolvimento, gerando riqueza, emprego e principalmente qualidade de vida.

Um aumento da área florestal nos próximos 50 anos, à razão de uns realistas 100 milhões hectares, possibilitariam uma captação de 7% da emissão de carbono produzida pelo homem [17].

A aplicação generalizada de mecanismos como a análise de ciclo de vida, bem como um maior respeito pelo ambiente e a consciencialização e informação para a escolha de materiais extraídos de recursos naturais renováveis em geral e pelos obtidos de recursos vegetais em particular, por serem auto suficientes é urgente [15,17,18].

Segundo a *Rocky Mountain Foundation*, a sociedade poderia quadruplicar a sua produtividade sem consumir mais recursos. Esta ideia conhecida como factor quatro, baseia-se na aplicação de tecnologias mais eficientes, de um maior uso da reciclagem, reutilização e reabilitação bem como, uma melhor gestão de recursos e desenho mais consciente, visando desenvolvimento sem custos ambientais adicionais.

Esta ideia originou um conceito de *capital natural* [18], semelhante a uma bolsa de valores de recursos naturais a nível global, em que o ambiente como bem escasso seria regido pelas regras de mercado livre incitando à preservação em vez da exploração. Apresenta o ambiente como rentável para as empresas e proporcionará vantagens competitivas. Este conceito é também proposto pelo *Brundtland Report* [19] :

«O desenvolvimento não concerne só a lucros mais altos ou a melhoria do nível de vida de uma minoria. Deveria focar-se em promover melhorias na qualidade de vida de todos, sem que isso implique a destruição ou a utilização sem escrúpulos dos recursos naturais, nem a poluição do ambiente.»

Os resultados de grandes conferências a nível mundial que vêm a decorrer ao longo dos últimos anos apostam na busca de formas alternativas de energia em substituição ao petróleo, na gestão florestal ou no exercício de uma Arquitectura consciente e sustentável.

A arquitectura actual tem um importante papel no impulsionar de uma maior eficiência económica e menor impacto ambiental nas soluções adoptadas nas fases de projecto, construção, utilização e reutilização dos edifícios [17].

Trata-se apenas uma questão de difusão do conhecimento e consciencialização, pois substituir sistemas construtivos e materiais de acabamento não recicláveis ou causadores de grande impacto ambiental por outros que não comprometam o meio ambiente é relativamente simples. A substituição de produtos como cimento, betão, derivados de petróleo, tintas e vernizes insolúveis em água ou com grandes concentrações de metais, para citar apenas alguns exemplos de uma vasta lista.

Num sentido lato, apenas materiais de construção naturais (sem sintéticos, como a pedra natural ou a madeira) podem ser integralmente reciclados, tornando os seus resíduos e sub-produtos não tão problemáticos ao nível ambiental [15,16].

O problema surge apenas, por exemplo, no caso de materiais que agregam chapas a outros elementos. A separação consome tanta energia e tem custo tão elevado que a reciclagem se torna financeiramente inviável.

Hoje, estudos [15,16,17] mostram que a utilização da Madeira apresenta-se como uma melhor alternativa, ambiental e economicamente, do que outros materiais (figura 12).

Apresentam, comparativamente, mais valias não só nos consumos energéticos, mas também nos custos de produção. A produção de alumínio, por exemplo, requer 126 vezes mais energia que a de madeira [15,16,17].



Figura 12-Emissões de CO₂ de alguns materiais de construção, durante o seu ciclo de vida.

Aço e vidro, embora tenham muita energia incorporada (energia dispendida na fabricação do material), têm seu uso justificado pela possibilidade de reciclagem integral, diminuindo o impacto causado. O reconhecimento das potencialidades estruturais da madeira passa pela análise das suas características mecânicas e pela comparação com outros materiais, conforme se pode ver na tabela seguinte:

Tabela 1-Comparação entre valores médios para a madeira, betão e aço [17].

MATERIAL	MASSA (KG/M ³)	FLEXÃO (MPA)	TRACÇÃO(MPA)		COMPRESSÃO(MPA)		CORTE (MPA)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPA)
			//	⊥	//	⊥		
MADEIRA	560	12	12	0.15	11	2.8	1.2	11
BETÃO	2400	8	0.6		8		0.6	30
AÇO	7800	170	170		170		100	210

A difusão da utilização da madeira como material bem como o estímulo à investigação de tratamentos capazes de melhorar as suas características naturais podem em muito ajudar a minimizar os graves problemas ambientais relacionados com aquecimento global.

A gestão florestal na Europa apresenta já alguma implantação e apresenta-se como uma boa forma de aplicação de princípios de sustentabilidade [15,17].

Mas há ainda um longo caminho a percorrer. A gestão florestal deve se uma prioridades dos governos e deve ser incentivada.

Parece claro que a desflorestação a que assistimos (nomeadamente na Amazónia e Rússia) se deve não ao facto de se utilizar muita a madeira mas pelo facto de a floresta ainda não se apresentar como um negócio de fácil e rápida rentabilidade como outros, facilmente suplantada por grupos de interesses económicos diversos.

Se a procura é baixa, baixam também os preços pagos pela madeira, pelo que a sua substituição por culturas agrícolas e/ou pecuárias se torna atraente.

Conclui-se, assim, que a associação estas vantagens ambientais à divulgação das mais valias técnicas da madeira e seus derivados resultarão em melhorias significativas a nível global, ambiental e social, formando consumidores e cidadãos mais conscientes.

Assim, foram já focadas algumas das mais valias da utilização da madeira, como sejam o baixo consumo energético de produção e transformação e o facto de ser um recurso natural ecológico e portanto inesgotável e reciclável.

O reconhecimento das excelentes potencialidades estruturais e estéticas da madeira passa também pela análise das suas características mecânicas e pela comparação com outros materiais mais implementados [23,27,29].

Tudo isto torna a madeira e seus derivados num material privilegiado de construção num país em desenvolvimento como Portugal, acrescido pelo facto de apresentar grande tradição de trabalho em madeira, como forma de fazer face às novas exigências ambientais e técnicas, sendo para isso apenas necessário a divulgação das comprovadas potencialidades e mais-valias técnicas, económicas e estéticas, de utilização segura e eficaz em estruturas, em interiores (em carpintarias e mobiliário) e no exterior sob a forma de plataformas, placagens, grampeamentos em fachadas.

2.1.2 Análise morfo-biológica da madeira

A madeira é um material natural, celular, de origem orgânica. É proveniente de espécies lenhosas divididas botanicamente em duas grandes categorias: Angiospérmicas, geralmente denominadas por Folhosas ou madeiras duras, e Gimnospérmicas, geralmente denominadas por Resinosas ou madeiras brandas [5,6,24,25]. No entanto, a denominação de *duras* ou *brandas* em nada se relaciona com a dureza natural da madeira.

O metabolismo da árvore segue o ciclo das estações. Nos climas temperados e frios, em que este ciclo é bem marcado, o crescimento é intenso na primavera, dando origem a células grandes e de paredes finas. No fim do Verão, pelo contrário, o crescimento abranda e são produzidas células de menor diâmetro e paredes grossas (portanto mais resistentes).

A madeira é, na sua essência, formada por um tecido de celular, denominada *fibrilas elementares*, responsáveis pela função de suporte, pela condução da seiva e pelo armazenamento de nutrientes [5,6].

Quimicamente são constituídas por três classes de moléculas orgânicas (ver tabela 2), poliméricas e estruturais [3,22,27,29]: celulose, hemicelulose e lenhina, e ainda um grupo diverso, polimérico mas não estrutural chamado extractivos, responsável, por exemplo, pela resistência natural contra fungos verificada em algumas espécies [27].

Tabela 2-Composição química típica da madeira

COMPONENTE	MASSA (%)	ESTADO POLIMÉRICO
CELULOSE	42+2	CRISTALINO/AMORFO
HEMICELULOSE	27+2	SEMI-CRISTALINO
LENHINA	28+2	AMORFO
EXTRACTIVOS	3+2	--

Em virtude da sua origem biológica, a estrutura celular é única e irrepetível, quer entre espécies quer mesmo entre elementos da mesma espécie [25,27,29]. Assim, a estrutura da madeira, a nível molecular, celular e anatómico condiciona as suas características e vai reflectir-se nas suas propriedades físicas e mecânicas, originando o comportamento distinto das propriedades.

Esta característica é uma das mais marcantes do material e é denominada anisotropia, ou seja a verificação que as propriedades físicas e mecânicas variam conforme a direcção considerada: radial, transversal ou longitudinal. A anisotropia explica, por exemplo, a razão pela qual os movimentos provocados pela variação do humidade presente são 10 a 20 vezes superiores na direcção transversal que na direcção longitudinal.

No estudo da madeira distinguem-se três níveis de organização do tecido celular através dos quais se explicam as características do seu comportamento físico e mecânico:

- a estrutura geral da madeira (Macro estrutura),
- a forma da agregação das células que a formam (Micro estrutura) e
- a estrutura da parede celular (Ultra estrutura).

2.1.2.1 Estrutura ao nível macroscópico

Trata-se da estrutura do tecido celular visível a olho nu, através de um corte transversal do tronco. Uma árvore cresce pela produção de novas células, na zona do câmbio, constituída por células vivas que dão origem aos anéis de crescimento e à casca. Esta última é responsável pelo transporte de alimentos, e, conforme vai crescendo, as células mais velhas vão ficando no interior do tronco.

Uma secção transversal (ver figura 13) torna possível observar o padrão de anéis de crescimento. Cada um é constituído por uma zona clara mais espessa (madeira de Primavera ou lenho inicial) e outra mais escura e fina (madeira de Verão ou lenho final), o que permite determinar a idade da árvore.

Cada conjunto de anéis (zona clara e escura) representa um ano. Em espécies provenientes de climas tropicais, em virtude da baixa amplitude térmica anual, a diferenciação dos anéis é ténue ou mesmo indistinguível.

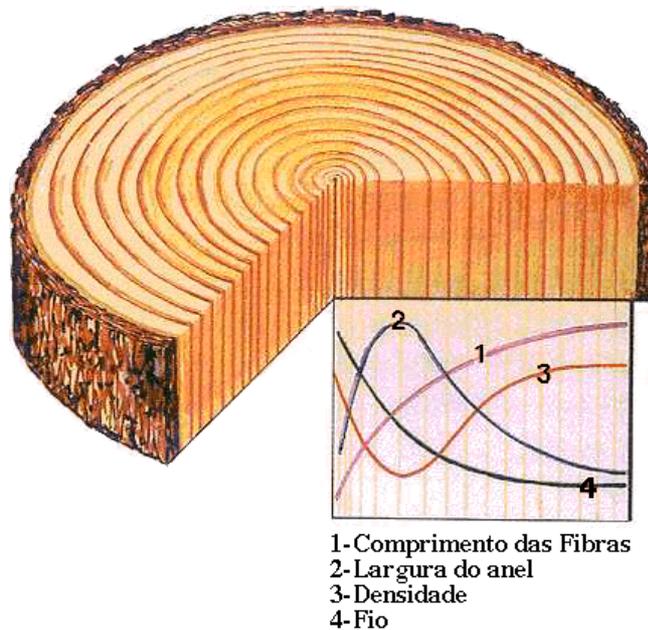


Figura 13-Secção transversal num tronco com gráfico comparativo Comprimento das fibras/Largura do anel/Densidade/Fio.

O material lenhoso que compõe a madeira organiza-se então pelas seguintes camadas [3,26,29]:

- *Medula*, tecido macio, em torno do qual se verifica o crescimento inicial dos ramos novos,
- *Cerne*, a zona envolvente da medula, também designado por durâmen, constitui uma camada morta, sendo formado por células que cessaram a sua função. Esta zona vai ao longo do tempo acumulando a lenhina, que lhe confere dureza e resistência ao ataque de insectos e fungos a sua principal função principal é a de sustentar o tronco.
- *Borne* ou alburno, é a camada de células vivas que conduzem a seiva proveniente das raízes e acumula nutrientes. A sua área é aproximadamente inalterável ao longo do tronco;
- *Cambio* ou líber, é uma camada microscópica sob a casca;

e finalmente,

- Casca, camada protectora externa de espessura variável com a espécie e idade constituída por duas sub-camadas: uma externa, contendo células mortas, e outra subjacente, de tecido vivo e macio, que conduz os nutrientes provenientes das folhas.

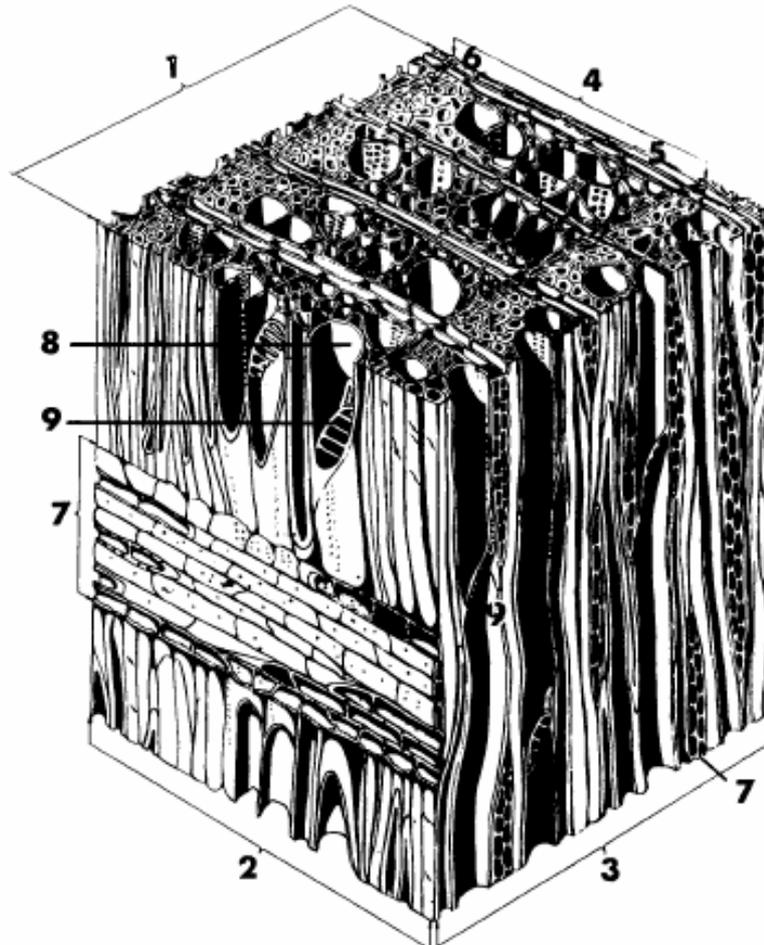
É a este nível que se centra a análise dos defeitos de crescimento e os seus efeitos no comportamento mecânico da madeira.

A existência de defeitos (como sejam os nós e os desvios das fibras) explicam a razão pela qual a resistência à tracção na direcção paralela as fibras varia dos 100 MPa, para madeira isenta de defeitos, até aos 10 MPa, na madeira comercial de fraca qualidade.

2.1.2.2 Estrutura ao nível microscópico

Como vimos as espécies lenhosas são divididas botanicamente em duas grandes categorias: Angiospérmicas (resinosas) e Gimnospérmicas (folhosas). As Angiospérmicas apresentam-se como um vasto grupo botânico que contém não só árvores como plantas de flor e de fruto, ervas mas também contém em si espécies lenhosas capazes de providenciar das madeiras mais duras às mais macias [3,28,29]. As Gimnospérmicas são um grupo botânico mais primitivo, basicamente constituídos só por árvores, e no qual estão incluídas as coníferas [3,28,29].

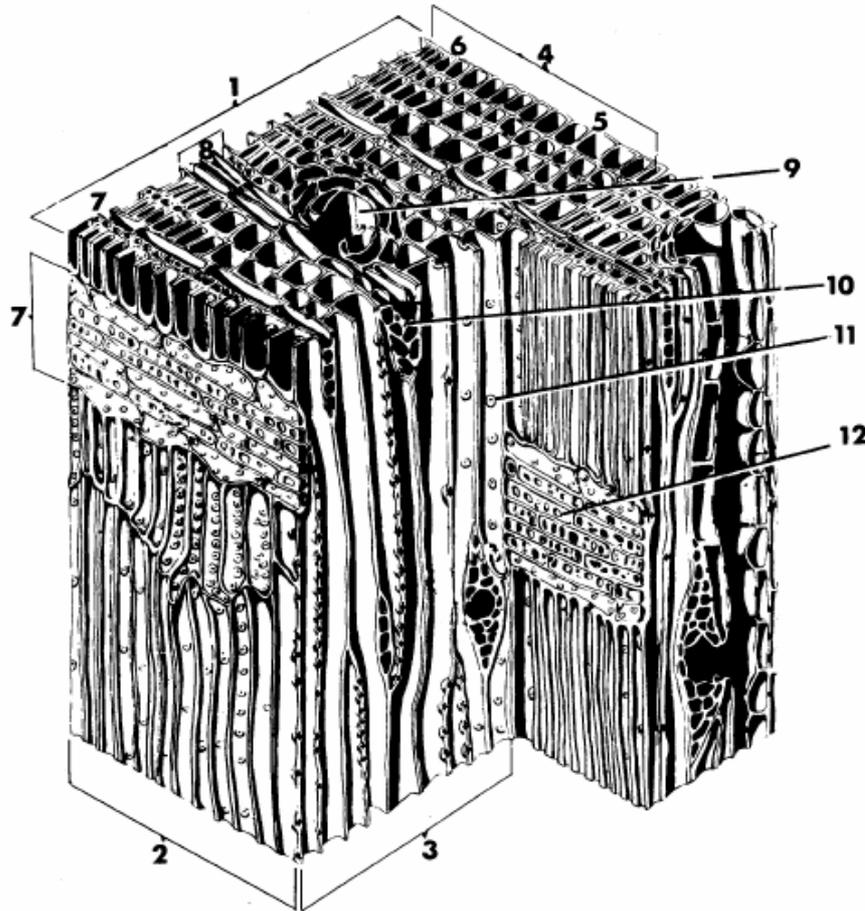
É no entanto ao nível da sua estrutura celular que surgem, botanicamente, as principais diferenças. Os troncos das Resinosas (figura 14) são constituídos por 90 a 95% de traqueídeos, células ocas e alongadas com 2 a 5 mm de comprimento e 10 a 50 mm de diâmetro, de topos abaulados ou abertos (nas coníferas) que transportam a seiva ao longo do tronco [3].



Legenda:1- secção transversal 2- secção radial 3- secção tangencial 4- anel anual 5- cerne 6-borne 7- raio medular 8- vaso canal de resina 9- canal de resina

Figura 14-Estrutura celular típica – Resinosas

As células justapõem-se topo a topo na direcção longitudinal, originando fibras que se organizam em planos radiais, dispersos pela secção do tronco, formando canais de resina. Observa-se na morfologia celular das resinosas (figura 15) que estas apresentam uma considerável variedade na forma e tipos de células, atribuindo funções de transporte e suporte a tipos celulares distintos [3].



Legenda: 1- secção transversal 2- secção radial 3- secção tangencial 4- anel anual 5- cerne 6- borne 7- raio medular 8- raio fusiforme 9- canal de resina vertical 10- canal de resina horizontal 11- poro (com válvula) 12- poro (simples)

Figura 15-Estrutura celular típica – Folhosas

O armazenamento e a distribuição de alimento estão a cargo das células do parenquima, constituindo o revestimento dos canais de resina, embora, geralmente, se agrupem também em fibras radiais designadas por raios medulares. A troca de fluído é facilitada por numerosos orifícios de dimensão considerável, possíveis, frequentemente, de serem vistos a olho nú na superfície transversa da madeira, dando um aspecto considerado poroso à secção [3]. Estes poros funcionam como válvulas, que impedem a entrada de ar que entupiria a circulação proveniente da raiz e mataria a árvore. Claro que estas válvulas dificultam a secagem conveniente ou o tratamento por impregnação.

Nas Folhosas, a função de troca cabe aos traqueídeos, células de menor dimensão, fechados nos topos, sendo a circulação de seiva feita em células longitudinais de topos abertos, que se justapõem formando vasos ou canais, que se podem distribuir de formas diversas na secção.

O estudo a este nível possibilita, por exemplo, entender a carácter anisotrópico da madeira, patente, por exemplo no facto da madeira ser 20 a 40 vezes mais rígida na direcção longitudinal quando comparada com a direcção transversal. Baseia-se na observação da disposição das células e nos seus efeitos.

2.1.2.3 Ultra-estrutura da parede celular

Esta estrutura celular não é visível a olho nu, sendo necessário recorrer a microscópicos. Neste nível, o tecido celular baseia-se num conjunto de fibrilas agrupadas sob a forma de micro fibrilhas envolvido por uma matriz de hemicelulose e lenhina.

A agregação das microfibrilhas revela-se sob a forma de lamelas de quatro tipos fundamentais: parede primária, P, e três camadas de parede secundária: S1, S2 e S3.

Entre as células existe uma camada gelatinosa, denominada lamela media, LM, que serve como material de ligação das células constituído por moléculas de pectinas e hemiceluloses. Na parede primária já existe uma organização da celulose, por intermédio de micro fibrilas, sem orientação definida [23,27,29].

A camada exterior, S1, tem apenas 0.1 a 0.2 mm de espessura. No entanto, é formada por um conjunto de sub camadas cujas microfibrilhas estão alternadamente direccionadas com uma orientação inclinada de cerca de 50° a 70°, relativamente ao eixo da célula.

A camada média da parede secundária, S2, é a mais espessa das três, sendo constituída por um elevado número de sub camadas (100 a 200), cujas micro fibrilas estão orientados na direcção do eixo longitudinal da fibra com uma ligeira inclinação (5 a 20°). Por último, a camada interna, S3, também bastante menos espessa que S2 mas mais espessa que S1, apresenta não apresentam uma direcção definida e encontram-se ligadas por ligações hidrogénio, o que torna a estrutura mais flexível [23,27,29].

2.1.2.4 Estrutura físico química

A este nível analisa-se a estrutura elementar e orgânica da composição da madeira (tabela 3). A madeira é composta basicamente por três elementos - carbono, oxigénio e hidrogénio - e pequenas quantidades de outros compostos orgânicos e inorgânicos [5]. Estes elementos combinados dão origem a macromoléculas poliméricas, responsáveis pela integridade estrutural da madeira e pelas propriedades distintas de espécie para espécie.

Tabela 3-Composição elemental da madeira [5].

ELEMENTO	MASSA (%)
CARBONO	49
OXIGÊNIO	44
HIDROGÊNIO	6
OUTROS	1

São, então três os principais tipos de polímeros presentes na madeira – celulose, hemi-celulose e lenhina. A percentagem de cada um varia conforme a espécie e, obviamente, condiciona o seu comportamento físico – mecânico.

O principal constituinte da madeira [3,23,27,29], a celulose, é responsável pela sua resistência natural. É originada pela polimerização da água e dióxido de carbono, por acção da fotossíntese, formando moléculas de glucose e outros açúcares.

Pela perda de uma molécula de água em cada unidade de glucose formam-se anidridos de glucose. São estes que, por polimerização, formam longas cadeias de moléculas de celulose contendo entre 5 000 a 10 000 unidades de glucose [3,27,29]. Pela natureza das ligações entre os anidridos de glucose, a unidade base do polímero celulósico consiste em duas unidades de anidridos – unidade celubiosica (figura 16).

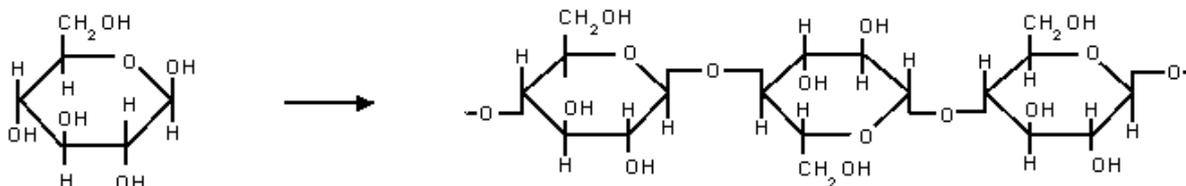


Figura 16-Unidade celubiosica/Polimero celulósico

As unidades são organizadas sob forma cristalina, onde os polímeros adjacentes se ligam lado a lado, por grupos OH, formando polímeros de cadeia longa, de peso molecular variável, com fórmula empírica $(C_6H_{10}O_5)_n$, com um valor mínimo de $n = 200$.

A hemicelulose [3,27,29] (literalmente: "meia celulose") é um polissacarídeo similar à celulose, depositado na lamela média durante a divisão celular vegetal apresentando no entanto um peso

molecular mais baixo - 150 unidades de glucose para as entre 5.000 a 10.000 presentes na celulose. Por vezes apresentam aspecto parecido com ligação em cadeia como a celulose embora se apresentem também como polímeros com cadeias laterais mais curtas.

A lignina, ou lenhina, é um polímero tridimensional amorfo, com elevado peso molecular, que funciona como agente aglutinador das células, conferindo rigidez (quando presente nas paredes celulares), impermeabilidade e resistência a ataques microbiológicos e mecânicos aos tecidos vegetais [3,27,28,29].

A lenhina é formada pela polimerização dos álcoois cumarílico, coniferílico e sinapílico, pelo que são considerados, não como carboidratos, (apesar de constituídos pelos mesmos elementos presentes na celulose e hemicelulose), mas polímeros fenólicos. A proporção dos três compostos alcoólicos resulta em diferentes tipos de lenhina.

Existe uma pequena percentagem da composição da madeira constituída por outros compostos, que não sendo muito relevantes estruturalmente, muito influenciam outros aspectos, como a capacidade natural de algumas espécies resistirem a agentes agressores externos. Alguns desses extraíveis, possuem valor comercial. Destes, os mais procurados são as oleoresinas, das quais se extrai, por exemplo a terebintina e as resinas para colas. Também são comercializados polifenóis, como os taninos e os flavonóides, muito procurados hoje em dia pelas suas propriedades anti oxidantes e de prevenção de cancro.

Possuem ainda valor comercial significativo, compostos como o látex e outras borrachas, gorduras, ácidos gordos e ceras.

Existem ainda na madeira compostos inorgânicos, geralmente classificados como cinzas, constituídos por cálcio, potássio, magnésio, manganésio e sílica, responsáveis por alguma deterioração nos equipamentos por corrosão, na maquinaria e ferramentas utilizadas pela sua natureza abrasiva.

Torna-se necessário perceber a influência das estruturas física e química das fibras celulósicas pela influência exercida por estas nas relações entre corante e fibra em contacto com o banho de tingimento.

Todas as fibras têxteis [43] apresentam em comum a forma como se agregam as suas moléculas, formando polímeros lineares. A composição, a forma e tamanho desse arranjo é que define o produto final: lã, seda, algodão, nylon, etc – bem como o comportamento que a fibra apresenta face ao tingimento.

Assim, a estrutura física das moléculas encontram-se agrupada regularmente em estruturas cristalinas, mas o facto do seu comportamento não coincidir com aquele de estruturas cristalinas puras, fez supor que as moléculas seriam envolvidas por uma substância de natureza amorfa. Tal foi comprovado posteriormente, concluindo que tal substância possui a mesma composição química que as moléculas que desempenham funções estruturais, sendo dotadas apenas de ordenação distintas daquelas e desempenhando funções aglutinadoras.

Tal como as fibras, os corantes [42,43] possuem um arranjo alongado, e estando provado por meio de Raios X que a difusão molécula do corante poderia atingir o centro da fibra apenas através dos espaços existente entre os nódulos que compõem a rede cristalina, através da massa amorfa que os aglutina e não através da rede cristalina propriamente dita.

Torna-se possível concluir [43] que as dimensões apresentadas quer pela molécula do corante quer pelos espaços intersticiais da rede cristalina apresentada pela fibra, se reveste de uma enorme importância na migração do corante para o interior da fibra. Neste processo, é ainda importante notar a influência da presença de grupos hidrófilos presentes na composição da fibra, já que o tingimento ao efectuar-se em meio aquoso, produzirá um inchamento na fibra proporcional à quantidade presente de tais grupos.

Ao nível da estrutura química, a base de todas as fibras vegetais é, como vimos, a celulose, sendo o quantidade e grau de pureza desta que as distingue, formando um vasto leque de fibras que vão, por exemplo, do algodão ao linho. Todas elas [42,43], no entanto podem ser agrupadas, no que se refere ao seu comportamento, face ao tingimento. Vimos já que a ultra estrutura da celulose, que constitui a base estrutural da madeira, como sendo basicamente um composto hidrófilo, sendo este facto de grande relevância no que concerne ao tingimento destas fibras através de corantes directos. O comportamento deste sobre aquele é aferido pela sua capacidade de ser absorvido pela fibra e qual a resistência que apresenta face à sua remoção – a substantividade do corante face à fibra. A substantividade [42,43] é dada na proporção da facilidade de penetração do corante no interior da fibra. No entanto, diversos factores influenciam a substantividade dos compostos químicos, mesmo aqueles pertencentes a uma mesma família. O principal factor de influência, no entanto, recai sobre a presença de ligações entre os compostos constituintes quer da fibra quer do corante, sendo que qualquer desvio a esta linearidade representa geralmente uma redução na substantividade. Poderemos ainda dizer, segundo estudos efectuados por Serin [6], que quantas mais ligadas pelas valências residuais do corante estejam as moléculas maior a substantividade. É sabido que as valências residuais aumentam na razão directa das ligações duplas conjugadas na molécula. Ora para que estas aumentem torna-se necessário que os núcleos aromáticos – como os do grupo do

benzeno – se organizem de forma complanar, para que as ligações entre corante e fibra sejam facilitadas.

Baseados nas propriedades de ligação dos átomos de hidrogénio, oxigénio e nitrogénio conclui-se que as ligações entre os corantes directos e as fibras de natureza celulósica se dão através de pontes de hidrogénio.

Ao nível de grupos químicos presentes no tingimento é necessário referir o cuidado a ter com a presença de grupos sulfónicos, devendo estes estar reduzidos ao número mínimo para garantir a solubilidade do corante, que um excesso de solubilidade originado pela presença de um grande número destes grupos diminuiria a substantividade do corante para com a fibra.

Em resumo e, naquilo que se reveste de relevância para este trabalho poderemos dizer que a penetração do corante na fibra é proporcional à dimensão de dois elementos:

- poros da fibra e
- moléculas do corante, sendo que se estes são de dimensão maior do que os poros não se torna possível um tingimento, na verdadeira asserção da palavra.

Assim sendo torna-se evidente que uma fibra cuja estrutura é altamente cristalina é mais difícil de tingir do que uma outra com uma maior componente de material amorfo.

2.1.2.5 Propriedades físicas e mecânicas

Para a aplicação segura e económica da madeira em obra devem atender-se às suas propriedades física bem como aqueles que se referem à sua capacidade de resistência às solicitações mecânicas [23,35,36]. Para a caracterização das propriedades físicas devemos considerar:

- Humidade;
- Retracção;
- Massa volúmica;
- Dilatação térmica;
- Transmícibilidade térmica e eléctrica;
- Inflamabilidade/combustão.

Propriedades físicas

O índice de humidade presente representa talvez a variável mais importante para garantir a durabilidade da madeira como material, já que constitui, destes factores, o único dos anteriormente referidos passível de ser devidamente monitorizado e completamente controlado por processos perfeitamente conhecidos.

Existem três tipos de água presentes na madeira [60]:

- água de constituição;
- água de embebição ;
- água livre.

A *água de constituição* é aquela presente em combinação química, pelo que continua presente mesmo após a secagem.

A *água de embebição* é aquela presente nas paredes celulares. A percentagem desta repercute-se grandemente no comportamento mecânico do material, sendo que, por exemplo, um aumento de 1% na água de embebição corresponde a uma variação de valores apresentados pelo material na ordem dos 4 e 5% na tensão de compressão e de 2 a 4% na tensão de flexão [54,55,57].

A água livre é aquela que circula nas células e é eliminada pela secagem normal.

Quando as paredes das células estão completamente saturadas mas não existe água livre diz-se que atingiu o ponto de saturação das fibras (PSF) que geralmente se situa entre os 25% e os 30%. No caso da humidade presente ser superior ao PSF não se verificam quaisquer alterações dimensionais, verificando-se apenas no peso. No caso de o PSF ser superior ao teor de humidade presente, verifica-se a contracção das fibras pela perda da água nas paredes celulares, num fenómeno de retracção dimensional. A retracção é diferente nas diferentes direcções devido ao carácter anisotrópico do material.

Para minimizar os efeitos da retracção aquando da aplicação, devem garantir-se determinados aspectos, como sejam:

- uma escolha criteriosa da espécie a utilizar,
- exigir tábuas cortadas segundo a direcção radial (já que o valor de retracção é reduzido em cerca de 50%, se compararmos com a direcção tangencial),
- aplicar se necessário produtos de protecção ou optar por derivados de madeira e
- assegurar que o grau de humidade presente na madeira é aproximadamente igual à localização da aplicação.

A humidade presente é calculada segundo a NP 613 (1973), pela razão entre a massa do provete e o seu volume, sendo possível estimar o volume para outro valor de humidade presente a partir do ábaco de Kollmann (fig 17).

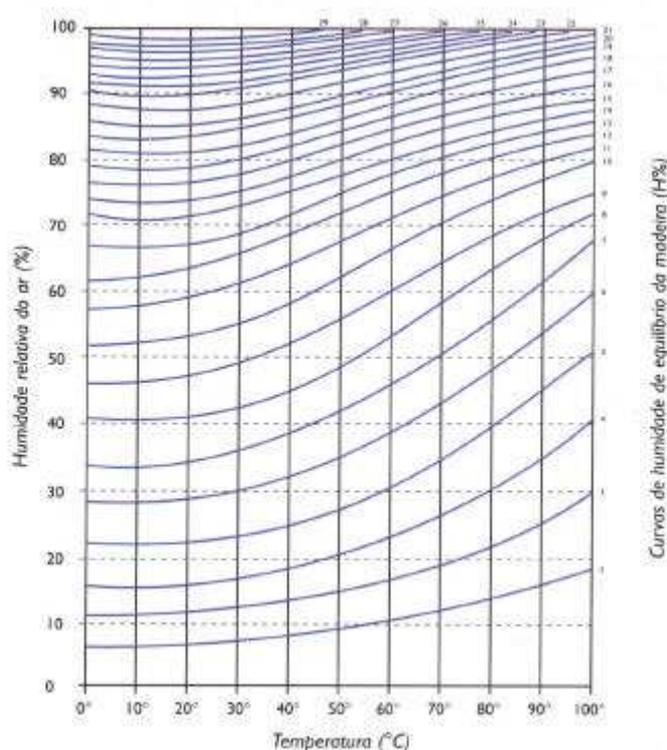


Figura 17-Ábaco de Kollmann

Consoante este valor pode, inclusivamente, classificar-se as madeiras como livres do ataque de fungos e bactérias, se este se situar abaixo dos 20%.

Conclui-se pelo exposto, que o rigor no processo de secagem pela influência que representa no valor *teor de humidade presente* apresentado pelo material, reveste-se, então, de grande importância como garante de um comportamento adequado da madeira em serviço, principalmente nos valores de resistência e condutibilidade.

A retracção

A retracção é caracterizada pela capacidade da madeira modificar dimensionalmente de acordo com a humidade da envolvente, por alteração no seu humidade presente.

Este fenómeno apresenta-se como uma das mais gravosas na aplicação da madeira, quer quando aplicada isoladamente, quer quando combinada com outros materiais. O carácter anisotrópico da madeira reflecte-se também no valor de retracção, que varia conforme a direcção considerada, pelo que garantir que o corte das peças a aplicar deve ser radial apresenta-se, juntamente com uma escolha criteriosa da espécie a aplicar, como formas de amenizar o fenómeno.

Dilatação térmica

A madeira comporta-se como quase todos os materiais, segundo uma das mais elementares leis da física: um corpo, sob acção do calor, tende a dilatar. No entanto esta variação dimensional situa-se muito abaixo daquela apresentada pelo material por fenómenos de retracção.

Coefficiente de dilatação térmica é dado pela medição da variação da dimensão inicial, causada pela mudança de temperatura. Os coeficientes de dilatação térmica da madeira completamente seca são positivos em todos os sentidos; isto é, a madeira expande no calor e retrai no frio. A pesquisas foram realizada para explorar a influência do variabilidade da madeira nas suas propriedades, em dilatação térmica. O coeficiente da expansão térmica em secagem mecânica, na direcção paralela ao fio, parece ser independente do peso específico e da espécie [56,57].

Testes elaborados em diversos tipos de madeiras pertencentes a diversas famílias mostram valores, paralelamente ao fio, situados dentro do intervalo entre 0.000031 e 0.000045 por unidade de K .

Os coeficientes de expansão térmica nas direcções radial e tangencial são proporcionais ao peso próprio da espécie. Estes coeficientes chegam a atingir valores 5 a 10 vezes maiores do que os

valores apresentados pelos coeficientes na direcção paralela ao fio e apresentam uma relevância, em termos práticos, muito maior.

os valores dos coeficientes de dilatação térmica nas direcções radiais e tangenciais podem ser estimados segundo as equações que se apresentam, considerando madeira seca em estufa com uma variação peso próprio situado entre 0.1 e 0.8:

$$r_{radial} = (32.4G + 9.9)10^{-6} \text{ por } K \text{ (3-11a)} \quad (1)$$

$$t_{tangencial} = (32.4G + 18.4)10^{-6} \text{ por } K \text{ (3-12a)} \quad (2)$$

Isolamento

Apresenta-se como um excelente isolante térmico e eléctrico. Este facto é facilmente comprovado. Sabendo que, uma parede dupla de alvenaria com tijolo de 22 cm com uma caixa-de-ar de 4 cm apresenta um coeficiente de transmissão de 0.97, e uma parede dupla com madeira de 3 cm de espessura e uma caixa-de-ar de 4 cm apresenta um coeficiente de transmissão de 0.98, nada mais há a justificar na escolha dos nórdicos pela madeira como material de construção [56,57]. Como vimos a madeira, como todos os materiais, tende a dilatar com o calor. Pelo facto da madeira ser um material anisotrópico, sua capacidade de contrariar um fluxo de calor depende da direcção deste, pelo que, um fluxo de calor na direcção do fio se propaga 2 a 3 vezes mais rapidamente do que na direcção radial ou tangencialmente.

Uma percentagem elevada de humidade presente na madeira também condiciona a transmissibilidade térmica e eléctrica, sendo que uma percentagem acima de 40% de humidade presente aumenta em cerca de 1/3 face a outra peça cuja percentagem está abaixo dos mesmos 40% [5,8].

As espécies arbóreas, pelas diferentes densidades que apresentam, também influenciam grandemente o Coeficientes de Transmissão Térmica (C.T.T.) do material, pelo que maior densidade implica menor condutibilidade, razão pela qual é amplamente utilizada em países frios, quer estruturalmente quer em revestimentos.

O K é uma medida da quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária de um elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que este separa. K é então o valor que determina a permeabilidade de um elemento à passagem do calor e, assim, caracteriza a propriedade do isolamento térmico de um elemento da envolvente. A unidade de medida é então o K e é correspondente a $W/m^2 \text{ } ^\circ C$.

O cálculo do K resulta da soma do inverso das resistências térmicas das diversas camadas do elemento da envolvente, bem como das resistências superficiais interior e exterior. A Resistência térmica total Rt é o inverso do K :

$$K = 1 / Rt = 1 / (Ri + R1 + R2 + \dots + Rn + Re) [W / m^2 \text{ } ^\circ\text{C}] \quad (3)$$

O cálculo da resistência térmica "R" duma camada do elemento da envolvente resulta do quociente da espessura dessa camada e do Coeficientes de Transmissão Térmica " λ " (lambda) do material que compõe essa camada.

$$R = e / \lambda [m^2 \text{ } ^\circ\text{C} / W] \quad (4)$$

Os valores das resistências térmicas de espaços de ar não ventilados (por ex. as "caixas de ar") estão tabelados (quadro VI.2 do RCCTE). O Coeficientes de Transmissão Térmica é a medida da quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa um dado material com espessura e área unitárias por unidade de diferença de temperatura entre as suas duas faces. O λ é o valor que determina a permeabilidade de um material à passagem do calor e, assim, caracteriza a propriedade do isolamento térmico deste, independentemente da sua espessura ou aplicação. Assim, para calcular o K , a fórmula é a seguinte:

$$K = 1 / (1/hi + e1/\lambda1 + e2/\lambda2 + e3/\lambda3 + \dots + en/\lambdan + 1/he) \quad (5)$$

Em alternativa ao cálculo dos "K" este pode ser retirado de tabelas. Pode-se consultar a publicação do LNEC "Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios" .

Este factor reflecte-se ainda sob fogo. Contrariamente a ideias pré-concebidas a madeira embora sendo combustível, é um material que resiste bem ao fogo apresentando uma temperatura de ignição 400 °C.

Acerca do risco de incêndios há ainda a referir que velocidade de combustão processa-se à razão de 1,0 cm/15 min, podendo um barroto resistir cerca de 1h antes de começar a arder e alimentar o próprio fogo. A temperatura de deformação situa-se entre 1000° e 1100° (sendo que o aço inicia a sua deformação sob temperaturas de 200° a 300°) [57].

A capacidade isolante da madeira sendo inversamente proporcional ao seu Coeficientes de Transmissão Térmica é influenciada de forma inversa pelos mesmos factores, tornando a madeira também num material com excelentes propriedades eléctricas.

As propriedades eléctricas de um material são aferidas pela resistência que esse material oferece à passagem da corrente eléctrica ou pelo seu recíproco, a condutibilidade.

Na madeira, a condução da corrente eléctrica é favorecida pela presença dos iões metálicos (impurezas) e por humidades presentes na madeira, ou então se sujeita a temperaturas elevadas. No entanto, peças aplicadas em condições ambientais normais, e desde que secas convenientemente (ao ar livre ou em estufas) com os índices de humidade presente a níveis recomendados (entre 12% e 13%), tornam a madeira num material cuja capacidade de isolamento eléctrico é excelente. É por esta razão que ainda hoje são utilizados postes em madeira para cabos eléctricos e de telecomunicações .

Ainda de referir as excelentes propriedades anti-sísmicas apresentadas pela madeira, pelo que estruturas neste material, porque são leves, apresentam uma capacidade relevante de absorção, apresentam vantagens importantes a este nível. Face a isto, justifica-se a ampla utilização em zonas de risco sísmico elevado como nos EUA (Califórnia) e Japão (Kobe).

Propriedades mecânicas

Esta classificação é fundamental para aplicações estruturais. Um dos modos de averiguar as propriedades mecânicas da madeira consiste em realizar diversos ensaios em provetes de pequena dimensão (20x20mm), completamente isentos de defeitos, de forma a avaliar mecanicamente a madeira segundo [23,55]:

- Compressão longitudinal
- Flexão estática
- Tracção paralela
- Resistência ao corte
- Módulo de elasticidade

Compressão longitudinal

As fibras de madeira apresenta uma anatomia semelhante à do músculo humano (figura 18).

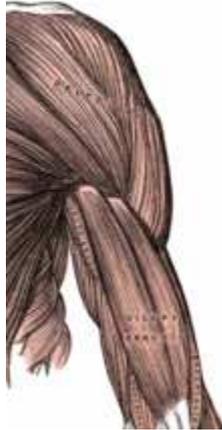


Figura 18-Músculo humano

Tal como um conjunto de cabos, um elemento de madeira quando solicitado à compressão na direcção longitudinal (paralela às fibras) revela valores de resistência significativos. Os valores característicos para a madeira maciça classificada variam entre 16 a 34 N/mm² (EN 338, 1995). É de salientar que o dimensionamento de elementos comprimidos inclui a verificação da instabilidade (encurvadura), sendo este significativamente dependente do módulo de elasticidade. Como a madeira apresenta um baixo valor para o módulo de elasticidade, a resistência à compressão é reduzida, especialmente para elementos esbeltos [57,58].

A curva tensão-extensão referente ao comportamento da madeira quando submetida à compressão paralela é quase linear até ao valor máximo da resistência. A rotura sendo dúctil, apresenta-se geralmente como sendo de carácter local por encurvadura de algumas fibras, originando um plano de corte. Em provetes de madeira isenta de defeitos, os valores da resistência à tracção na direcção das fibras, são superiores aos exibidos pela resistência à compressão na mesma direcção. Contudo, para valores característicos esta relação inverte-se. A existência de nós não influencia significativamente a resistência à compressão, contrariamente à resistência à tracção que é fortemente influenciada [23,55,57,58].

Flexão estática

Tendo em conta a sua reduzida massa volúmica, a madeira apresenta valores elevados para a resistência à flexão. Os valores característicos para a madeira maciça normalizada variam entre 14 e 70 N/mm² (EN 338, 1995). A flexão resulta de um momento flector que produz na peça tensões de tracção e de compressão, na direcção paralela às fibras. Uma vez que o módulo de elasticidade, é da

mesma ordem de grandeza, em tracção e em compressão, pode-se admitir que o diagrama de tensões normais é linear tomando valores máximos para as fibras mais extremas [55,57,58].

Quando a ordem de grandeza dos momentos aplicados é elevada, a distribuição das tensões normais na secção transversal deixa de ser linear: o valor das tensões aumenta até atingir o valor da resistência à compressão, para as fibras comprimidas, e da resistência à tracção, na zona traccionada da peça [23,55,57].

Em peças de madeira isenta de defeitos, o valor da tensão de tracção é superior à tensão de compressão [12]. Dado que é habitual a presença de defeitos, principalmente nós, na zona traccionada que reduzem a resistência à tracção, a distribuição das tensões passa a ser rectilínea, mesmo até à rotura.

Tracção paralela às fibras

A madeira tem uma elevada resistência à tracção na direcção das fibras. Os resultados exibidos em provetes de madeira sem defeitos são superiores aos apresentados pelas resistências à flexão e à compressão. Contudo, o comportamento à tracção da madeira é fortemente influenciado pela existência de defeitos e anomalias, pelo que na prática, pode-se admitir valores idênticos para a resistência à compressão (na direcção das fibras) e para a resistência à tracção [12]. Na verdade, os valores característicos vêm reduzidos por coeficientes de segurança extremamente elevados, não só pelas razões já expostas, mas também pela natureza frágil da rotura à tracção. Os valores característicos da resistência à tracção paralela às fibras variam entre os 8 e 42 N/mm² [23,55,57,58].

Resistência ao corte

O esforço de corte origina tensões tangenciais que actuam sobre as fibras de madeira segundo diversos modos: Tensões tangenciais de corte, as fibras são cortadas transversalmente por este esforço. A rotura ocorre por esmagamento; Tensões tangenciais de deslizamento, a rotura é produzida pelo deslizamento entre as fibras na direcção longitudinal; Tensões tangenciais de deslizamento transversal, a rotação das fibras entre si levam à rotura localizada [57,58].

Em elementos submetidos simultaneamente à flexão e ao corte, desenvolvem-se tensões tangenciais, quer de corte, quer de deslizamento. A rotura ocorre segundo o plano mais fraco, o que normalmente implica uma rotura por deslizamento [58].

Os valores característicos da resistência ao corte (por deslizamento) para as espécies de madeiras normalizadas variam segundo a EN 338 1995, entre os 1.7 e 6.0 N/mm². As tensões tangenciais por

deslizamento transversal apenas se desenvolvem em casos específicos, como são as ligações coladas entre as almas e os banzos de vigas (casos da secção em T duplo). O valor para a resistência por deslizamento transversal é cerca de 20 a 30 % da resistência ao deslizamento longitudinal [23,55,57].

Módulo de elasticidade

Da análise do diagrama tensão-extensão (ver Figura 19) correspondente aos ensaios efectuados em provetes de madeira isenta de defeitos, e de acordo com as normas vigentes, retira-se que a madeira tem, até um determinado valor de carga, um comportamento elástico.

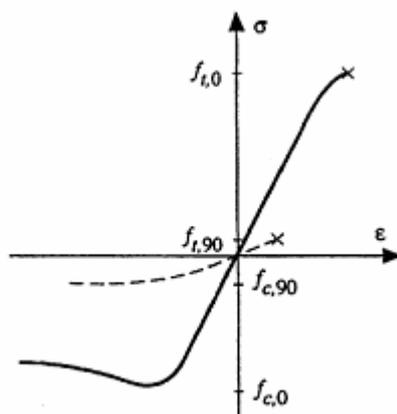


Figura 19-Curva tensão-extensão, em madeira isenta de defeitos, na direcção das fibras (contínuo) e na direcção perpendicular às fibras (a tracejado).

Por outro lado, mostra que acima do limite de elasticidade, ocorrem deformações plásticas que vão aumentando até à rotura, e que limite de elasticidade situa-se entre os 65% e os 85% da resistência à compressão. Revela ainda que o material, em tracção, apresenta uma curva tensão-extensão linear até atingir a rotura, sendo esta do tipo frágil.

Na prática, considera-se o mesmo valor para o módulo de elasticidade, tanto em compressão como em tracção. Assim, e para as espécies mais utilizadas na construção, o módulo de elasticidade em flexão varia, segundo a EN 338 1995, entre os 7 e os 20 kN/mm². Na direcção perpendicular, recorre-se novamente a um único valor do módulo para compressão e tracção, cujo valor é 30 vezes inferior

ao módulo de elasticidade na direcção das fibras. Dentro de uma espécie, o valor para o módulo de elasticidade pode variar muito [12]. A humidade presente é, por exemplo, um dos factores que mais influência o seu valor.

Desde 1975, torna-se ainda possível a classificação de características mecânicas de madeiras com fins estruturais pela aplicação de uma abordagem alternativa em que se elimina a necessidade da aplicação de factores de correcção devido a nós e outros defeitos, sendo no entanto necessária uma maior quantidade de madeira e utilizar equipamentos nem sempre disponíveis. Trata-se apenas de especificar:

- a classe de qualidade pretendida, se a espécie está escolhida com conhecimento prévio das suas propriedades; ou
- a classe de resistência pretendida , se a espécie não está escolhida.

No caso de logo à partida a selecção da espécie passar por factores de disponibilidade ou estéticos, é possível utilizar a norma NP EN 1912, ou nalguns casos, como o do Pinho Bravo produzido em Portugal, Fichas LNEC referentes à espécie.

No caso de a espécie não estar definida, deve especificar-se no caderno de encargos a classe de resistência adequada aos fins estruturais a que será sujeita.

Por classes de resistência da madeira, entendem-se o conjunto de classes de qualidade, decorrentes de sistemas de classificação visual ou mecânica, de forma a viabilizar o dimensionamento prévio. Estas classes estão em Portugal estabelecidas na NP EN 338.

2.2 Os Corantes

Desde sempre, os seres humanos ambicionavam adicionar cor à sua existência. Utilizaram “tintas” baseadas em terra, bagas e folhas conforme as cores pretendidas para decorar conchas, penas, e mesmo as paredes das cavernas em que habitavam. Cientistas foram capazes de datar os pigmentos avermelhados, amarelos, brancos e pretos feito de ocre utilizadas pelo homem primitivo em pinturas de caverna a mais de 15.000 BC [44].

Por volta de 7.000-2.000 A.C, com a sedentarização e o início da actividade agrícola, iniciou-se a produção de tecidos, e a procura pela forma de lhes adicionar cor [42]. O tingimento analisado em fragmentos têxteis obtidos de escavações arqueológicas na Dinamarca, indica a utilização de corante azul indigo ao longo do primeiro século [44]. Hoje em dia, como antes, os corantes ainda constituem uma vasta área de interesse, tornando-se num importante sector da pesquisa na Química actual.

A cor está relacionada com os diferentes comprimento de onda do espectro electromagnético. São percebidas pelas pessoas na faixa da zona visível e por alguns animais através dos órgãos de visão, como uma sensação que nos permite diferenciar os objectos do espaço com maior precisão [42,44]. Considerando as cores como luz, a cor branca resulta da sobreposição de todas as cores, enquanto o preto é a ausência de luz. Uma luz branca pode ser decomposta em todas as cores (o espectro) por meio de um prisma. Na natureza, esta decomposição origina um arco-íris [42].

2.2.1 Evolução dos Corantes

Até a meados do século XIX, todos os corantes eram obtidos a partir de folhas, ramos, raízes, frutos ou flores de várias plantas e de substâncias extraídas de animal. Embora a indústria de corantes têxteis seja originária da Europa desde o século XVI, o primeiro corante sintético foi descoberto apenas em 1856 na Inglaterra. Com o desenvolvimento no campo da Química observado em meados do século XIX, várias inovações importantes foram introduzidas, ainda que por vezes por acidente - um estudante descobriu o primeiro corante sintético numa tentativa de sintetizar o quinino - e não passou um ano até ao fim do século sem que um novo corante sintético fosse patenteado. A Alemanha manteve o monopólio sobre a produção de corantes sintéticos até a Segunda Guerra Mundial. Actualmente a indústria decorantes dos Estados Unidos é a maior fonte exportadora destes produtos, colocando no mercado aproximadamente 2.000 tipos diferentes de corantes sintéticos. Na tabela 4 são apresentados as principais descobertas de corantes, ocorridas desde a síntese da malveína. Desde então, a popularidade dos corantes naturais decresceu muito em favor dos novos sintéticos entretanto surgidos [42,44].

Tabela 4-Cronologia de inovações principais, ocorridas desde a síntese da malveína.

ANO	OCORRÊNCIA
1856	SINTESE DA MALVEINA (PERKIN)
1858	REACÇÃO DE DIAZOTAÇÃO (GRIESS)
1859	SINTESE DO MAGENTA (VERGUIN)
1862	REACÇÃO DE SULFONAÇÃO (NICHOLSON)
1873	1º CORANTE SULFOROSO (CROISSANT E BRENTONIERE)
1876	SINTESE DA CRISOIDINA : 1º CORANTE AZO
1880	1º CORANTE AZOICO (THOMAS E ROBERT HOLLIDAY)
1884	1ª CORANTE DIRECTO: VERMELHO CONGO
1894	SINTESE DO ÍNDIGO
1901	1º CORANTE DE CUBA
1922	CORANTES INDIGOSOS (CUBA REDUZIDA)
1924	CORANTES DISPERSOS
1935	CORANTES DE FTALOCIANINA
1956	CORANTES REACTIVOS: DCT
1960	CORANTES CATIÓNICOS MODIFICADOS

Hoje em dia, no entanto, os corantes naturais surgem com renovado interesse, impulsionados por áreas diversas, como o artesanato (cestaria, couro bem como a fabricação manual de papel), bem como pelo interesse histórico e científico do corante natural, de forma a ajudar a identificar e datar corantes provenientes de escavações arqueológicas, e a ajudar na conservação e restauro consciente fiel de tecidos em museus e colecções privadas.

Estudos vários, paralelamente, evidenciam que o crescimento empresarial depende essencialmente de factores de inovação e diferenciação. Conclui-se que o êxito será alcançado pelas chamadas químicas de especialidade, oferecendo produtos diferentes, obtendo um preço extra por produtos especializados que resolvem problemas específicos. Novos usos, detergentes e fibras geram

especificações mais exigentes para os corantes. A necessidade para uma secagem rápida à sombra, cores que não tingem em lavagens domésticas, e que oferecem protecção para transpiração são exemplos uma aproximação eficaz às exigências actuais.

2.2.2 Teoria geral da Cor

Quando se fala de cor, há que distinguir entre a cor obtida aditivamente (cor luz) ou a cor obtida subtractivamente (cor pigmento).

No primeiro caso, chamado de sistema RGB (**R**ed **G**reen **B**lue), temos os objectos que emitem luz (monitores, televisão, Sol, etc.) em que a adição de diferentes comprimentos de onda das cores primárias de luz Vermelho + Azul + Verde = Branco.

No segundo sistema (subtractivo ou cor pigmento) iremos tingir uma superfície sem pigmentação (branca) misturando-lhe as cores secundárias da luz : Ciano + Magenta + Amarelo = preto (figura 20).

Este sistema corresponde ao "CMYK" (**C**yan **M**agenta **Y**ellow **B**lac**K**) das impressoras e serve para obter cor com pigmentos (tintas e objectos não emissores de luz).

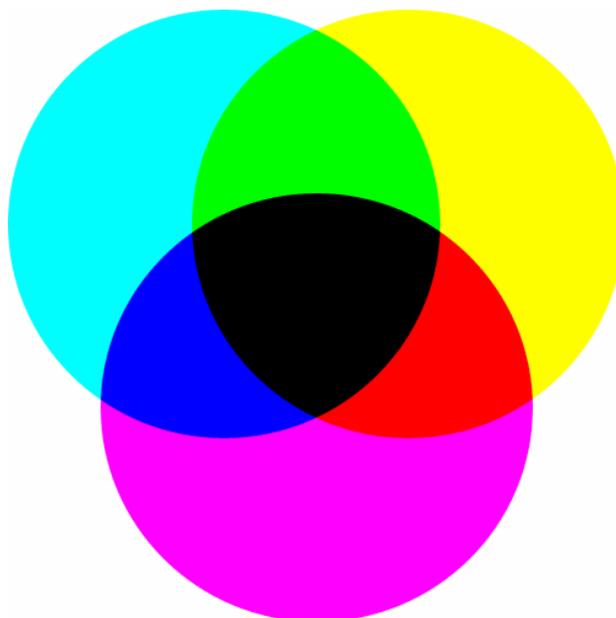


Figura 20-Sistema de cores baseado na síntese subtractiva, segundo a qual, a mistura em partes iguais dos três pigmentos primários substrativos (ciano, magenta e amarelo) resulta em preto.

Muitas vezes o amarelo, azul e vermelho são chamados de primários, o que é incorrecto em ambos espaços de cor. Assim o que se chama *azul primário* corresponde ao ciano. O *vermelho primário* ao magenta e o *amarelo Primário* ao próprio amarelo. O uso de cores diferentes (azul, amarelo, vermelho) neste espaço de cor leva a que não seja possível fabricar todas as cores, e que no círculo das cores certos opostos estejam trocados.

Note-se ainda que antes da utilização do prisma e da divisão do espectro da luz branca, nada disto era conhecido, pelo que ainda hoje é ensinado nas nossas escolas que Amarelo/Azul/Vermelho são as cores primárias das quais todas as outras são passíveis de ser fabricadas, o que é falso.

A principal diferença entre um corpo azul (iluminado por luz branca) e uma fonte emissora azul é de que o pigmento azul está a absorver o verde e o vermelho reflectindo apenas azul enquanto que a fonte emissora de luz azul emite efectivamente apenas azul. Se o objecto fosse iluminado por essa luz ele continuaria a parecer azul. Mas, se pelo contrário, ele fosse iluminado por uma luz amarela (luz Vermelha + Verde) o corpo pareceria negro.

Para que determinada cor seja vista torna-se necessária a presença de energia em forma de luz. A sensação de determinada cor é então produzida pelo estímulo visual associada a

um determinado comprimento de onda contido na secção visível do espectro electromagnético.

A luz provém das mais diversas fontes e consiste basicamente em radiação electromagnética, uma forma de energia que se propaga segundo o movimento ondulatório.

Toda a luz visível é constituída por uma mistura de cores, que combinadas em diferentes proporções formando cada tipo de cor. A forma de se medir a luz é através da distribuição espectral. Na figura 21 verificamos que o espectro de cor se encontra entre os 380 e os 740 nm; frequências de luz abaixo deste intervalo são consideradas ultravioleta e acima, são consideradas infra vermelhas. Nenhuma destas últimas é possível de ser observada pelo olho humano.

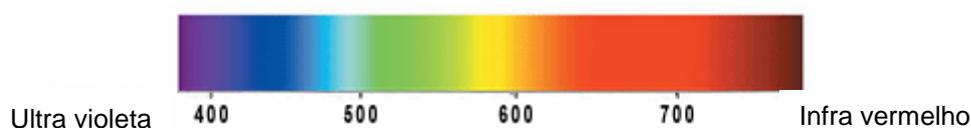


Figura 21-Espectro de luz visível pelo olho humano (em nanómetros).

Em 1976 o CIE especificou dois espaços de cores: um deles foi intencionado para uso com cores com iluminação própria (ex.: monitores, televisão); o outro foi pensado para utilização com cores de superfície. O último é conhecido como espaço de cores CIE 1976 ($L^*a^*b^*$) ou CIELAB.

O espaço de cores CIE 1976 ($L^*a^*b^*$) proporciona então, uma representação tridimensional (figura 22) para a percepção do estímulo de cores, ou seja, colocando cada cor num espaço tridimensional e permitindo a sua localização através de coordenadas: L^* , a^* e b^* . O eixo L^* representa a luminosidade de determinada cor e varia entre zero (preto) e 100 (branco). As duas outras coordenadas a^* e b^* representam variações entre vermelho/verde e amarelo/azul, respectivamente (figura 23). Cores em que os valores de $a^* = b^* = 0$ são considerados acromáticos embora o eixo L^* representa a escala acromática de cinzas entre o preto e o branco.

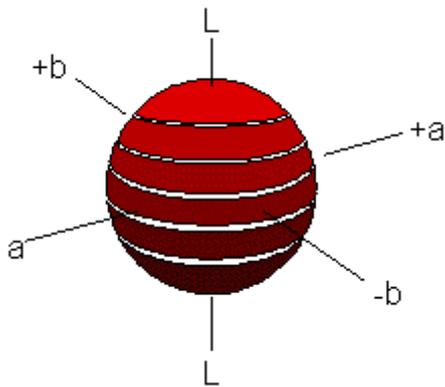


Figura 22-O espaço CIELab é tridimensional

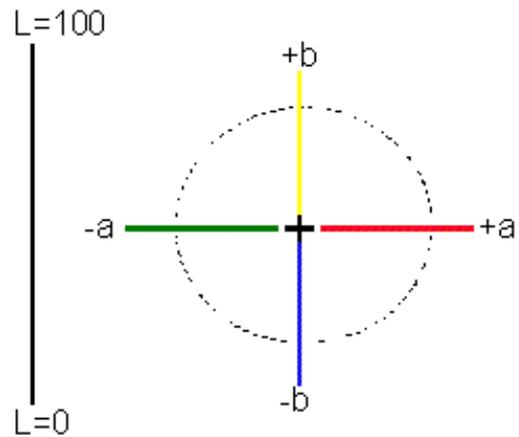


Figura 23-O eixo "L" representa a luminosidade e varia de 0 a 100; o eixo "a" varia do verde ao vermelho; o eixo "b" varia do azul ao amarelo

Os valores de L^* , a^* , and b^* são obtidos através dos valores da tricromia de acordo com as seguintes equações:

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad (6)$$

$$a^* = 500[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}] \quad (7)$$

$$b^* = 200[(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}] \quad (8)$$

onde X_n , Y_n , e Z_n são os valores de X , Y , e Z para o iluminante que foi aplicado no cálculo de X , Y , e Z da amostra base. Os quocientes X/X_n , Y/Y_n , e Z/Z_n deverão ser sempre superiores a 0.008856. No caso de serem inferiores, terá de se aplicar um outro conjunto equações ligeiramente diferente do apresentado.

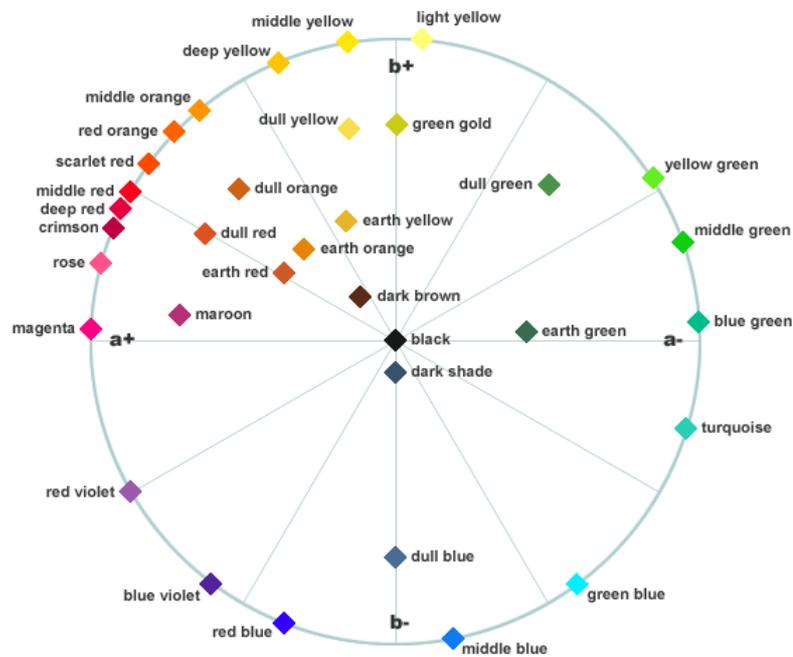


Figura 24-Representação descritiva do círculo cromático CIE Lab.

Se dois pontos no espaço representando dois estímulos são coincidentes, então a diferença de cores entre os dois estímulos é zero. Conforme aumenta a distância entre os dois pontos no espaço, é assumido que a diferença de cor percebida entre os estímulos representa aumentos correspondentes. O valor da diferença na cor entre dois estímulos é, portanto, a distância Euclidiana (ΔE^*) entre os dois pontos no espaço tridimensional.

O entendimento do processo de tingimento passa assim pela compreensão da arte de adicionar cor.

Basicamente, existem três métodos para conferir cor. O primeiro caracteriza-se por manchar um substrato, um meio temporário de coloração onde a cor é esfregada ou é encharcado num substrato sem o gozarem de qualquer tipo de melhoria pelo fixador químico utilizado para conservar a cor. O segundo é o uso de pigmentação, onde a cor é fixada à superfície por outro meio adesivo. Um tingimento, na verdadeira asserção da palavra, é quando a cor de uma substância é depositada noutra substrato de forma insolúvel.

Assim, o tingimento é definido como um processo em que um substrato é imerso numa solução ou dispersão contendo o corante, de tal forma que a substrato corando apresenta alguma resistência em devolver o corante ao banho do qual o captou.

2.2.3 Corantes recomendados para celulose – corantes directos

Propriedades

Esta família de corantes adquire este nome pela sua capacidade de tingirem directamente a celulose sem necessidade de aplicação de mordente. É caracterizada pela sua capacidade de tingir celulose principalmente através de ligações de Van der Waals, ligações estas que se baseiam na maximização da aproximação entre as moléculas do corante e da fibra, unindo o corante à fibra por afinidade, sem a formação uma ligação propriamente dita [42,43]. É sabido que esta afinidade aumenta na presença de electrólitos facilitando a aproximação das moléculas de corante da fibra, razão pela qual é utilizado o cloreto de sódio (sal comum) ou o sulfato de sódio (sal de Glauber) no processo de tingimento com este tipo de corantes [42].

São solúveis em água embora alguns necessitem da presença de carbonato de sódio para se dissolverem. Em geral a sua solubilidade aumenta em função dos grupos sulfónicos presentes bem como em presença de temperatura; esta diminui com o aumento do peso molecular do corante. As soluções diluídas obtidas são moleculares, mas normalmente a frio formam soluções coloidais [42,43].

O valor da temperatura de máxima afinidade varia de corante para corante, ainda que normalmente a afinidade diminua ligeiramente com o aumento da temperatura.

Os corantes directos são muito sensíveis à dureza da água, pois precipitam na presença de cálcio e magnésio. Deve, pois, trabalhar-se com água mole ou com a presença de complexantes e sal utilizado deve ser isento de magnésio. Também em relação ao pH há uma grande sensibilidade. Deve tingir-se de preferência em meio neutro ou ligeiramente alcalino, mas nunca ácido.

O tingimento dos corantes directos é normalmente feito por processos de esgotamento. Os processos por impregnação são menos frequentes, devido à elevada substantividade destes corantes.

A solidez dos tintos com corantes directos (por solidez da cor entendem-se as propriedades de avaliação da fixação do corante ao têxtil para avaliação da alteração e da transferência da cor durante o uso), é razoável à luz mas medíocre aos tratamentos a molhado acima de 40°C, e não é possível efectuar o branqueamento com hipoclorito (lavagem com lixívia de cloro).

É possível aumentar a solidez, permitindo nalguns casos uma lavagem a 60°C, desde que se efectue um tratamento posterior. Os tratamentos mais frequentes são:

- Formação dum complexo metálico. Efectuando um tratamento posterior com um sal de cobre, forma-se um complexo que conduz a maior solidez. Normalmente este processo efectua -se para as gamas de corantes já para ele seleccionados pelo fabricante. É possível efectuar-se um tratamento com sulfato de cobre, numa percentagem de 1% sobre o peso do artigo, em meio ácido durante meia hora a 50°C. Este tratamento, no entanto, encontra-se em desuso por razões ambientais relacionadas com as descargas de efluentes.
- Tratamento com produtos à base de formaldeído. Embora também em desuso na indústria, o formaldeído permite a reacção de reticulação entre as moléculas de corante, melhorando a solidez. Este tratamento pode estar incluído no acabamento com resinas termoendurecíveis.
- Lavar em água dura após tingir. Consegue-se assim aumentar um pouco a solidez, devido à formação do sal de cálcio ou magnésio do corante directo, que é insolúvel.
- Tratamento com um produto catiónico. Como o corante tem um carácter aniónico, forma-se um complexo que melhora substancialmente a solidez.

Classificação de corantes directos

Comercialmente os corantes estão divididos em quatro grupos:

- Directos;
- Directos com solidez à luz;
- Directos com tratamentos com sais metálicos;
- Directos diazotáveis.

De um ponto de vista prático torna-se, no entanto, mais relevante a divisão destes corantes em grupos, de acordo com o poder de igualização (uniformidade da cor) apresentada pelo objecto tingido. No caso de igualização de corantes directos, quando do tingimento de fibras celulósicas, o igualizador age apenas como um diminuidor de tensão superficial, com base nos resultados obtidos em ensaios de migração e de sensibilidade ao sal. Assim teremos, segundo o *Colour Index* [45] publicado pela Society of Dyers and Colorists [46] e pela American Association of Textile Chemists and Colorists [47]:

- Grupo A - Corantes de boa igualização ou autoreguláveis;
- Grupo B - Corantes de média igualização ou controláveis pelo sal;
- Grupo C - Corantes de má igualização ou controláveis pela temperatura.

Os corantes directos do tipo “A” podem ser aplicados em processos de tingimento por esgotamento sem qualquer precaução especial, já que devido à sua boa capacidade de migração, sendo que o esgotamento máximo se situa entre os 60°C e os 80°C.

Os corantes do tipo “B” apresentam um esgotamento superior a 50% com uma relação de banho 1/30 e com adição de sal inferior a 1%.

Por serem reguláveis com sal o tingimento com este grupo de corantes deve começar sem sal, e ir regulando a sua absorção à medida que a temperatura aumente.

Os corantes pertencentes ao grupo “C” com a adição de sal inferiores a 1% absorvem quantidades de 50% de corante, apresentando grande sensibilidade ao sal, pelo que, de forma a obter uma absorção gradual e uniforme do corante por parte da fibra, se efectua a regulação da absorção através da temperatura e não através das adições de sal como no caso anterior.

2.3 Metodologias de impregnação

2.3.1 Impregnação química da madeira

A impregnação química surge como uma classificação ampla de um processo capaz de, pela modificação da sua estrutura química, melhorar determinadas características de um material.

No caso da madeira, diversas características podem beneficiar desta manipulação, nomeadamente a sua resistência a esforços, ao ataque dos fungos e insectos, comportamento face aos raios UV (não empalidecer ou acinzentar), as características acústicas, e ainda a melhorar a sua estabilidade dimensional (retracção/dilatação).

Preparação

Para que o tratamento seja eficaz, a madeira deve ser preparada desde o momento do abate até á impregnação propriamente dita [32].

Isto inclui uma série de procedimentos a serem executados cuidadosamente, desde o descasque, o desbaste de ramos e galhos, condições de secagem até incisões em série em espécies com menor permeabilidade (figura 25).

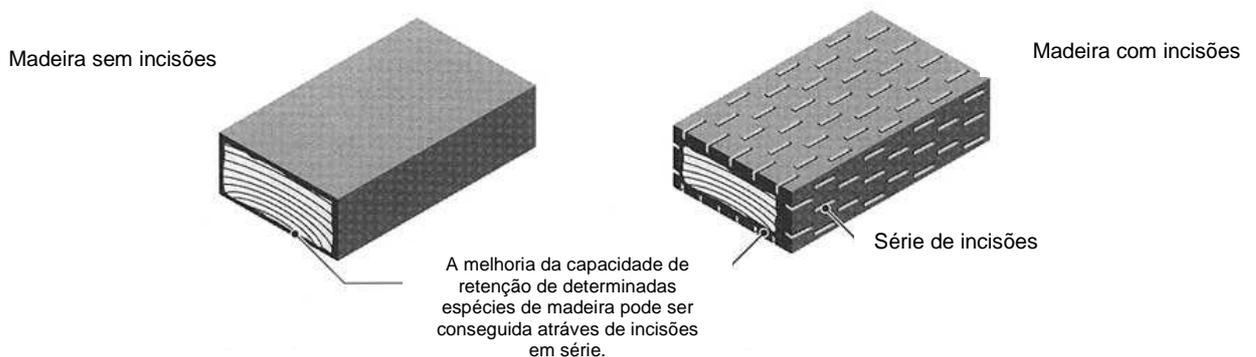


Figura 25-Preparação de espécies menos permeáveis através de incisões em série.

De acordo com a norma BS 1282, e de maneira geral a madeira a tratar deve estar sã (sem sinais aparentes de ataques por fungos ou insectos) e livre de matéria estranha, como água, lama ou sujidades bem como de pintura, verniz ou qualquer tipo de acabamento.

Não deve ser tratada madeira sujeita a temperaturas abaixo de 0°C, pelo que o congelamento da água presente nas células limita a impregnação.

De forma geral, no tipo de tratamentos por incisões, e ainda segundo a mesma norma, o teor de humidade não deve ultrapassar os 28%. Preferencialmente as peças devem ser tratadas nas suas dimensões finais para não correr o risco de expor zonas não tratadas.

Aplicação de produtos preservadores

A aplicação de produtos que conferem protecção à madeira faz-se basicamente por dois processos processos sob pressão ou chamados “tradicional”.

Na aplicação sob pressão, em que as peças são colocadas em câmaras cilíndricas estanques (figura 26), sob pressões consideráveis de 14 bar. Aí teremos processos:

- “*full cell*”, introduzido em 1838, em que se preenchem completamente os vazios celulares obtidos ao expulsarmos a água livre da madeira; são utilizadas pressões de 10 a 14 bar e são esperadas retenções de 80 a 240 kg/m³, dependendo da especificação do produto aplicado, da espécie e volume de cerne presente, das dimensões das peças e da utilização prevista (tabela 5).
- “*full cell*” modificada, que difere da anterior no tempo de vácuo a que a peça é sujeita na câmara. Estes tempos diferem conforme a espécie base, o tamanho da peça e o grau de protecção pretendida;
- “*empty cell*”, introduzido em 1902, em que o produto se projecta contra as paredes celulares e se mantém ligada a estas por pontes de hidrogénio. São usadas pressões iniciais de 4 bar e seguidamente aumentadas para 14 bar, sendo depois aplicado vácuo.

Tabela 5-Procedimento típico de impregnação a altas pressões em postes em pinho marítimo.

FASE 1		FASE 2		FASE 3	
Vácuo Inicial	Tempo de espera	Imersão/Pressão	Tempo mínimo de espera	Vácuo final	Tempo de espera
-85KPa	30MIN	1240KPA	60MIN	-85KPA	15MIN

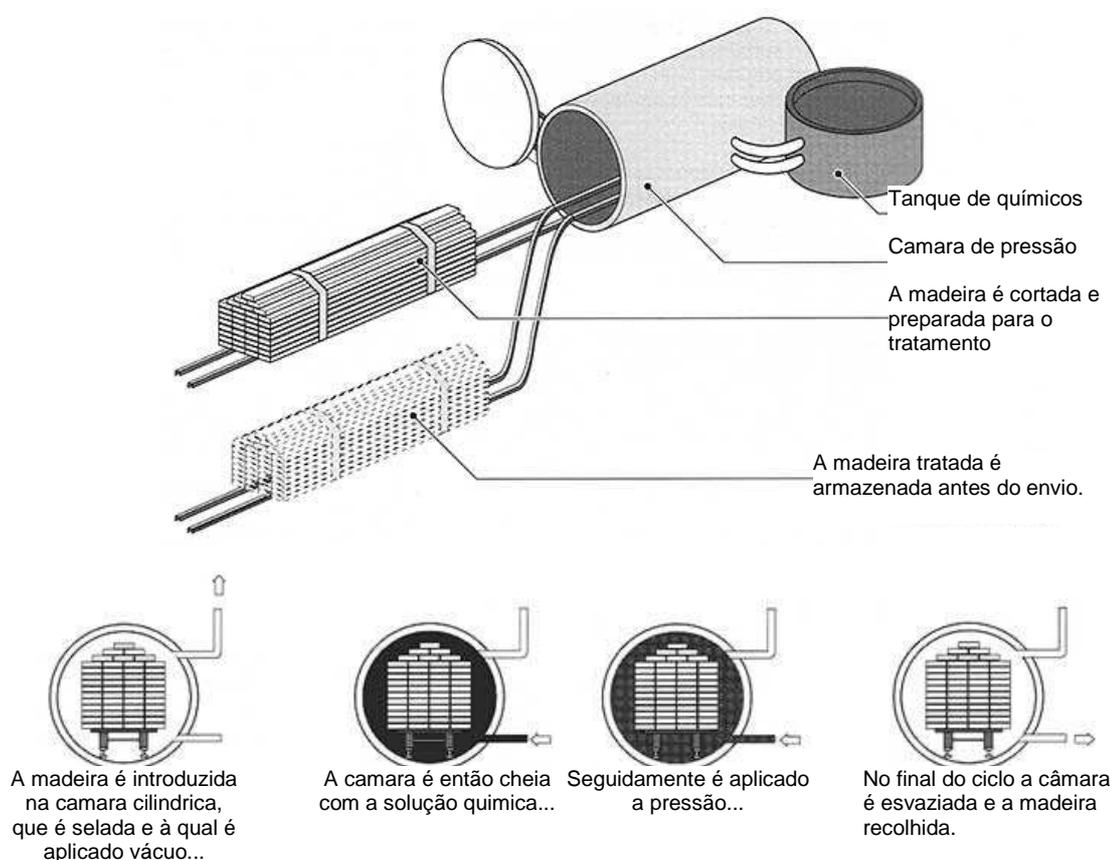


Figura 26-Esquema do tratamento a altas pressões em camara autoclave

Além deste, podem fazer-se uso de diversos equipamentos e técnicas para a aplicação de tratamentos preservadores. Temos assim, nomeadamente:

- Aplicações na superfície;
- Por imersão;

- Por difusão;
- Por vácuo (“vac,vac”);
- Mistas, em que várias das anteriores são aplicadas em conjunto.

O conhecimento da estrutura celular [40,41] da madeira reveste-se de extrema relevância para o processo de impregnação química, para que se possa ter uma previsão de resultados e efectuar ajustamentos ao processo face à resistência que essas células apresentem face ao tratamento.

Fenómeno da capilaridade reveste-se também de grande importância para o processo de impregnação. Por definição trata-se de um fenómeno em que se criam forças que podem ser suficientes para um líquido progredir pelo espaço disponível, mesmo contrariando a força da gravidade, até alturas muito significativas (metros). Este efeito pode ser potenciado por pequenas variações da pressão atmosférica.

Os espaços interiores das células da madeira, as fendas da madeira, ou até o espaçamento entre componentes de madeira numa peça mais complexa, permitem o movimento da água para distâncias muito significativas.

O movimento da capilaridade é muitas vezes dificultado pela presença de ar interior, provocando uma pressão que se opõe à progressão do líquido (efeito “rolha”).

Para que tal não aconteça, num processo de impregnação da madeira com produtos de tratamento, em que se pretenda uma penetração profunda dos líquidos, deve recorrer-se a um ciclo de vácuo inicial para permitir a retirada do ar que impediria a progressão do líquido.

Também um aumento da temperatura, e a conseqüente expansão do gás tem como efeito uma diminuição da quantidade de ar existente dentro da madeira, é facilitador dos processos de impregnação embora no caso da madeira seja a evitar já que a temperatura degrada algumas das suas propriedades mecânicas [22].

2.3.2 O tingimento

O tingimento apresenta longa tradição em Portugal. De facto, à séculos que oficinas como as que operavam até há bem pouco tempo na zona de Couros em Guimarães se difundiam por todo o Vale do Ave [42,43,44].

O tingimento é um aspecto fulcral para o sucesso comercial dos produtos têxteis. Além da estética do padrão e da cor, são exigidas algumas características conferidas pelo tingimento como seja elevado grau de fixação em relação à luz, lavagem e transpiração, quer aquando da compra como durante o uso.

Assim, visando estas características, os corantes ou pigmentos, bem como o procedimento aplicados à fibra devem ser dotados de uma grande afinidade, uniformidade de cor e resistência aos agentes de degradação no produto final.

Assim, a escolha de produtos e procedimentos a aplicar deve ser feita tendo em consideração vários aspectos como sejam, nomeadamente:

- a natureza dos materiais celulósicos;
- características estruturais do substrato;
- classificação do corante;
- disponibilidade comercial do corante e da maquinaria disponível;
- propriedades de fixação/compatibilidade com o substrato;
- considerações económicas.

Apresentação do processo

Torna-se necessário analisar a sua origem e perceber o porquê e o como no que concerne ao processo de tingimento, percebendo as leis que o regem bem como as variantes e condicionantes a que está sujeito. Isto tornará o processo controlável, ajustando aos resultados pretendidos através da antevisão de comportamentos de materiais celulósicos e corantes, bem como garantir qualidade no produto final.

Actualmente, a técnica de tingimento encontra-se a um nível intermédio, em virtude do carácter empírico a que se deveram muitos dos seus avanços, marcados fortemente por um carácter artísticos presente durante séculos. Com avanço dos campos mais próximos do tingimento - a química e física – torna finalmente possível uma abordagem técnico-científica e conseqüente aprofundamento dos fenómenos que ocorrem durante o tingimento.

Não se pretende um estudo exaustivo sobre o tingimento, nem tal seria possível pela amplitude e volume de conhecimentos necessários. Assim, procura-se antes obter noções gerais do processo de tingimento, focalizando no que aqui se torna essencial: o tingimento de materiais celulósicos.

Apresenta-se então o estudo do processo de tingimento divididos em três fases :

1. considerações sobre a cinética de tingimento;
2. descrição da relação estreita entre a estrutura molecular das fibras e dos corantes, pela influência exercida sobre a qualidade de fixação (fase de equilíbrio);
3. análise dos processos de tingimento justificando-os na natureza das fibras e dos corantes.

2.3.2.1 Teoria geral do tingimento

Resumidamente, o tingimento é um processo de conferir de cor a um determinado substrato, normalmente têxtil, através de substâncias corantes numa solução ou dispersão aquosa, com o propósito de alterar a sua coloração original [42,43].

Assim, não se trata de um processo simples, linear, mas de um complexo sistema com múltiplas variantes e condicionantes que convém estudar de forma a controlar o processo e garantir resultados esperados. Factores exteriores, como sejam as características e natureza das soluções onde se dá o tingimento, a concentração de electrólitos presentes, a temperatura e o movimento apresentam-se como factores que em muito influenciam a agregação coloidal do corante e o sua deslocação face ao centro do material celulósico [42,43].

De uma maneira geral o corante deve atender às seguintes características:

- Substantividade – propriedade que visa avaliar a maior ou menor capacidade que os corantes apresentam de serem absorvidos pela fibra e a resistência que oferecem na sua devolução ao banho.
- Uniformidade – homogeneidade da cor em toda a superfície corada.
- Resistência – dificuldade que a cor apresenta em desaparecer face a factores como o desgaste pela utilização ou exposição solar.
- Economia – o tingimento deve utilizar quantidades de corantes, auxiliares e tempo de realização estritamente necessários à obtenção de um elevado desempenho nas características supra referidas.

Imaginando o percurso de uma molécula é possível empiricamente entender a base do mecanismo subjacente ao tingimento. Assim, poderíamos ver que a molécula do corante iniciará a sua migração por uma fase líquida -a dissolução- e da fase líquida à fase sólida - a adsorção - num movimento desde a superfície até ao interior do material a tingir - a difusão - e por fim, o estabelecimento de ligações químicas entre corante e o material a tingir, no seu interior- a fixação.

O mecanismo de tingimento comporta, então, duas fases (figura 27) que convém analisar distintamente:

- Cinética, em que é determinada a velocidade de deslocamento da molécula do corante em direcção à fibra, a velocidade de absorção e de difusão no seu interior, bem como as influências causadas pelas diferentes concentrações de corante e de electrólitos, pH, temperatura e relações de banho nestas velocidades.
- Termodinâmica, em que são analisadas as influências causadas por factores diversos na afinidade, ou fixação do corante sobre o material a tingir.

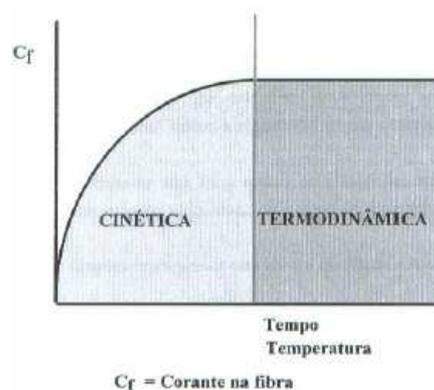


Figura 27-Fases do Tingimento.

2.3.2.2 Cinética de tingimento

São quatro os fenômenos compreendidos nesta fase e será também analisada a importância destes no processo de tingimento. E são:

- Desagregação do corante;
- Transferência para o banho;
- Adsorção superficial da fibra;
- Difusão no interior da fibra.

A fase cinética é uma fase sensível, em que ocorrem a maior parte das situações que conduzem a um tingimento deficiente já que é determinante controlar a adsorção do corante pela fibra de forma a obtermos boa difusão e boa igualização.

Após a fase cinética, o tingimento entra então, em equilíbrio com o banho corante remanescente que o envolve. Esta constitui a fase termodinâmica.

2.3.2.3 Termodinâmica do tingimento (fase de equilíbrio)

A tendência intrínseca de um sistema passar de um estado de alto para outro que apresenta um menor coeficiente energético, é a base de estudo da termodinâmica. Este ramo da ciência relaciona as alterações energéticas verificadas no início e no momento em que se dá o equilíbrio, considerado este como sendo o “final” do processo.

As moléculas de qualquer composto químico, seja ele gás, líquido ou em solução, possuem um determinado grau de liberdade de movimentos, apresentando uma tendência natural para se distribuir sobre o volume máximo disponível, qualquer que seja. Para se diminuir um espaço ocupado, levando as moléculas a ocuparem um volume menor, torna-se, no entanto, necessária a aplicação de uma força externa.

Isto é o que sucede num tingimento, em que um corante diluído em água, num volume mais ou menos abundante, vai transferir-se para uma área menor, a fibra. Ora, para que isto ocorra, é então necessária a intervenção de uma força que se oponha de forma a “confinar” as moléculas que varia conforme o tipo de fibra a tingir.

No estado de equilíbrio, a relação entre o corante ainda presente no banho e a fibra é expressa numa constante de equilíbrio chamada K , ou seja que a penetração do corante no interior da fibra seja tal

que, por mais tempo que permanecesse em contacto com o banho de tingimento, uma maior fixação fosse atingida.

Três comportamentos de equilíbrio são apresentados em curvas isotérmicas, sendo que estas são afectadas por factores como a temperatura, electrólitos, produtos auxiliares e o pH presente no banho. Cada curva isotérmica expressa, então, a relação existente entre:

- O corante presente na fibra;
- O corante remanescente no banho;
- O limite máximo de saturação;
- E K , sendo a constante de equilíbrio.

Todas as teorias do tingimento de materiais celulósicas com corantes directos partem dos mesmos pressupostos, que são:

- A fibra apresenta afinidade somente pelo ião corante C , embora leve consigo o catião Na^+ pela formação da dupla capa eléctrica, já que após a formação desta não mais se produzem variações de potencial eléctrico na fibra.
- o resto dos iões no interface comportam-se com a fibra de acordo com as respectivas cargas eléctricas.
- a fibra, na solução, possui carga eléctrica negativa, pelo que os iões presentes no banho comportam-se conforme a sua carga eléctrica e distância em relação a ela.

Resumidamente, dois factores base influenciam a absorção do corante:

- a afinidade;
- os efeitos eléctricos.

Diversas teorias, no entanto, divergem na distância estabelecida para que, de facto, o potencial eléctrico e a afinidade actuem como factores determinantes.

A fase cinética do tingimento de materiais de base celulósica por corantes directos é a fase mais lenta do processo.

No caso do material celulósico a acção do sal tende a contrabalançar as cargas negativas do material, aproximando as moléculas de tal forma que as forças de afinidade vençam as forças de repulsão eléctricas, já que material celulósico e corante possuem o mesmo potencial eléctrico.

3 Estudos preliminares

Inicialmente, procederam-se a diversos ensaios de aproximação a um equipamento autoclave, capaz de obter pressão por vapor de água, através do aumento de temperatura na câmara autoclave. A partir da observação dos resultados menos favoráveis face ao pretendido, verificou-se a necessidade de eliminar a uso de temperatura na obtenção da pressão, bem como de um aprofundamento da técnica e tecnologia utilizada na aplicação de tratamentos preservadores. Para isso foi então feita uma visita a uma plataforma industrial do ramo que se revelou muito esclarecedora.

Perante novas informações obtidas, designadamente ao nível de procedimentos utilizados, optando-se então por métodos alternativos de ensaio sem utilização de temperatura, nomeadamente o

processo de esgotamento utilizado no tingimento têxtil e o processo de duplo vácuo utilizado na aplicação de tratamentos preservadores.

Desta forma obtiveram-se resultados animadores que se traduzem na impregnação total da solução corante em toda a extensão do provete, ocorrendo uma leve alteração de cor face à original da espécie ensaiada- o *Populus Alba*- mantendo, no entanto o seu veio original visível. Verificou-se que esta alteração não configurava uma “pintura”, mas antes assemelhava a amostra ensaiada a outra, de outra espécie de valor comercial muito mais elevado – a *Amburana cearensis* ou Cerejeira.

Destes ensaios resultaram conhecimentos que permitiram a elaboração de um equipamento experimental, bem como novos ensaios visando a selecção do tipo de corante mais adequado. Foram ensaiadas amostras de diversas espécies arbóreas consideradas relevantes, com corantes de diversas famílias de forma a aferir qual a que permitiria melhores resultados técnicos.

3.1. Ensaio prévios

Elementos presentes nestes estudos ditaram o início da pesquisa pela procura de um meio de, por pressão substituir a água presente na fibra e células da madeira (água de embebição) por uma solução corante.

Estes ensaios preliminares, que seguidamente se descrevem, tratam os aspectos técnicos necessários à afinação do procedimento a proposto, procurando a posterior execução de protótipo. Foram executados diversos ensaios prévios segundo um método experimental de tentativa/erro.

Uma abordagem à madeira como material (nomeadamente dos processos de circulação da água no interior das células e da forma como se processam as trocas com o meio) bem como dos processos de impregnação química actualmente utilizados para conferir protecção adicional à madeira face aos agentes causadores de degradação, ditaram o início da pesquisa por:

- procura de um método de ensaio, utilizando pressão permita substituir a água presente na fibra e células da madeira (água de embebição) por uma solução corante.
- Selecção do tipo de corante mais adequado.

Primeiramente, procederam-se a diversos ensaios de aproximação a um equipamento marca “Controls”, capaz de obter pressão por vapor de água, através do aumento de temperatura na câmara autoclave. A partir da observação dos resultados menos favoráveis, verificou-se a necessidade de

eliminar a uso de temperatura na obtenção da pressão, bem como de um aprofundamento da técnica utilizada na aplicação de tratamentos preservadores. Optou-se então por métodos alternativos de ensaio sem utilização de temperatura, nomeadamente o processo de esgotamento de fibras celulósicas com corantes directos, utilizado no tingimento têxtil e o processo de duplo vácuo utilizado na aplicação de tratamentos preservadores.

Destes ensaios foram obtidos conhecimentos que possibilitaram a elaboração de um equipamento experimental que permitiram a realização de testes visando a selecção/aferição/alteração do corante a aplicar. Foram ensaiadas amostras de diversas espécies arbóreas consideradas relevantes, com corantes de diversas famílias de forma a concluir qual a que permitiria melhores resultados técnicos estéticos e económicos.

3.1.1 Selecção da metodologia

Mediante as várias possibilidades optou-se primeiramente pela aproximação ao equipamento autoclave marca "Controls" (figura 28) e que prevê a obtenção de pressão por aumento da temperatura interna da câmara, permitindo atingir pressões de 25 bar e temperaturas de 219°C.



Figura 28-Autoclave "Controls"

Como na norma fornecida pelo fabricante do equipamento não incluía elementos que permitissem corresponder a temperatura e pressão no interior da câmara, e o próprio equipamento não apresentava um indicador de temperatura (mas apenas um indicador de pressão em MPa), iniciaram-se diversos testes, fazendo uso de um termómetro digital visando a elaboração de tal relação reportada ao equipamento a utilizar, expressa na Tabela 6.

Tabela 6-Medição manual de Pressão/Temperatura

Tempo (min.)	Temperatura (°C)	Pressão autoclave (MPa)	Pressão Tabela (MPa)
1	39.0	0.0	0,00
	65.8	0.1	0.02
	137.6	0.6	0.34
	160.2	0.9	0.62
25	167.6	1.0	0.75
	177.3	1.2	0.94
	181.8	1.3	1.05
	186.3	1.4	1.16
30	189.0	1.5	1.23
	193.4	1.6	1.35
	196.5	1.7	1.45
	199.6	1.8	1.54
	202.8	1.9	1.65
35	208.4	2.0	1.85

Paralelamente, foram utilizadas tabelas técnicas de correspondência entre a pressão efectiva/temperatura de vapor de água saturado fornecidas pela *Bewdley Technical Services* [48], de forma a aferir do rigor no controle do equipamento nas variáveis necessárias aos ensaios futuros.

Por surgirem algumas discrepâncias significativas entre a medição artesanal e os valores tabelados, optou-se por uma questão de rigor pela utilização exclusiva de valores de temperatura fornecidos pela *Bewdley Technical services* [48].

Seleccionaram-se seguidamente provetes das espécies apresentadas na Tabela 7, amplamente utilizadas no mercado Português e por se pensar serem representativas das diferentes classes de madeiras.

Tabela 7-Espécies comuns no mercado português

Nome Comum (Português)	Nome Comum (Inglês)	Nome Científico
Sucupira	<i>Sucupira</i>	<i>Diploptropis spp</i>
Iroko	<i>Iroko</i>	<i>Milicia excelsa</i>
Eucalipto	<i>Tasmanian blue gum</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>
Choupo/Faia	<i>White poplar</i>	<i>Populos alba</i>
Pinho	<i>Maritime pine</i>	<i>Pinus pinaster</i>

Para estes ensaios foram utilizados provetes em madeira de secção 30x30mm² e com cerca de 300mm de comprimento. Procuraram-se provetes isentos de defeitos (nós, fendas,..), com condições de secagem semelhantes e a realização dos ensaios sob as mesmas condições de forma a obter um estudo individualizado de cada espécie (sabida da importância da espécie na profundidade de impregnação bem como um estudo comparativo entre espécies. Os ensaios teriam também ter em consideração a variável tempo.

Assim, num primeiro momento -fase 1-, e sabendo que a pressão utilizada para impregnação para protecção rondaria os 15 bar, procederam-se a ensaios com duração de 30 e de 60 minutos, de acordo com os binómios pressão-temperatura apresentados na tabela 8:

Tabela 8-Resultados dos ensaios da fase 1

Espécie	Pressão-Temperatura		
	15bar – 198.24°	10bar – 179.84°	07 Bar-164.91°
Sucupira	moderadamente desfeito	moderadamente desfeito	moderadamente desfeito
Iroko	desfeito	desfeito	desfeito
Eucalipto	completamente desfeito	completamente desfeito	completamente desfeito
Faia	queimado	queimado	queimado
Pinho	desfeito	desfeito	desfeito

Verificou-se através de rápido exame visual a evidente degradação das propriedades físicas, confirmado pelo odor levemente adocicado e por vezes mesmo queimado (variando segundo as

espécies), denotando a degradação dos açúcares retidos nas células do parenquima após a perda do fotoplasma por parte dos traqueídeos e fibras (ver capítulo 2.1.2.3).



Figura 29-Eucalipto após ensaio 15bar-198.24°C



Figura 30-Eucalipto após ensaio 07bar-164.91°C



Figura 31-Eucalipto após ensaio 15bar-198.24°C

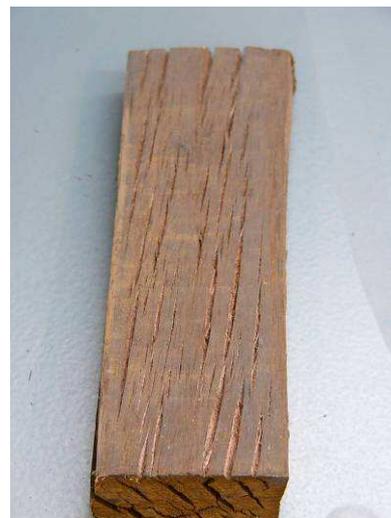


Figura 32-Eucalipto após ensaio 07bar-164.91°C

Concluindo-se que os resultados não satisfatórios (figuras 29,30,31 e 32) obtidos na primeira fase de ensaios se deviam muito provavelmente à temperatura excessiva, procedeu-se a nova fase de ensaios de acordo com os seguintes binómios pressão-temperatura:

- 3.65 bar – 151,80°C
- 2.75 bar – 140.31°C
- 0.50 bar – 130,56°C

Tabela 9-Resultados dos ensaios fase 2

Espécie	Pressão-Temperatura		
	3.65 bar-151,80°C	2.75 bar-140.31°C	0.50 bar-130,56°C
Sucupira	moderadamente desfeito	moderadamente desfeito	moderadamente queimada
Iroko	desfeito	desfeito	queimada
Eucalipto	completamente desfeito	completamente desfeito	completamente queimada
Faia	queimado	queimado	queimado
Pinho	desfeito	desfeito	queimada

Verificaram-se também, através de rápido exame visual, evidentes sinais de degradação das propriedades mecânicas, em maior ou menor grau nas diferentes espécies, apresentando principalmente graves situações de fissuração e alterações dimensionais permanentes (ver figuras 33 e 34).

A partir da análise destes resultados, constatou-se a necessidade de eliminar a uso de temperatura na obtenção da pressão, bem como de um aprofundamento da técnica e tecnologia utilizada na aplicação de tratamentos preservadores.



Figura 33-Eucalipto após ensaio 15bar-198.24°C



Figura 34-Eucalipto após ensaio 07bar-164.91°C

Para melhor compreensão de todo o procedimento de impregnação para protecção procedeu-se a uma visita a uma empresa que dedica a sua actividade à protecção de madeira para utilização no exterior (vedações, parques infantis). Os esclarecimentos aí obtidos permitiram a percepção de que:

- a madeira a tratar deve conter um teor de humidade inferior a 25%.
- a pressão a utilizar ronda os 12 bar/cm³ de peça de madeira a tratar (quanto mais espessa a peça de madeira a tratar maior a pressão necessária para obter uma profundidade de penetração adequada).
- Factores a considerar para programação do tratamento a executar:
 - a quantidade de madeira a tratar;
 - a determinação da profundidade de penetração necessária face à classe de risco prevista;
 - a determinação da retenção mínima aceitável de produto preservador face à classe de risco prevista.

3.1.1.1 Ensaio prévios-fase 2

Face a tais informações e aos resultados menos favoráveis obtidos, procuram-se técnicas de ensaio alternativas sem utilização de temperatura elevadas no processo.

Optou-se então, experimentalmente, pelo procedimento regular por esgotamento muito utilizado em fibras têxteis de componente celulósica, com uso de uma solução com corantes directos.

O processo por esgotamento é então iniciado a frio com a adição do banho (água + corante) subindo gradualmente a temperatura. Ao fim de 30 minutos a temperatura é estabilizada, mantendo-se até ao fim do processo, 15 minutos decorridos após a estabilização da temperatura, procede-se então à adição do NaCl em duas porções, após a qual, o banho é deixado por mais 30/45 minutos sem qualquer alteração até se efectuar o enxaguamento.

Por análise visual dos resultados, constatava-se uma impregnação superficial de cerca de 1 mm em toda a extensão do provete (fig. 35 e 36).

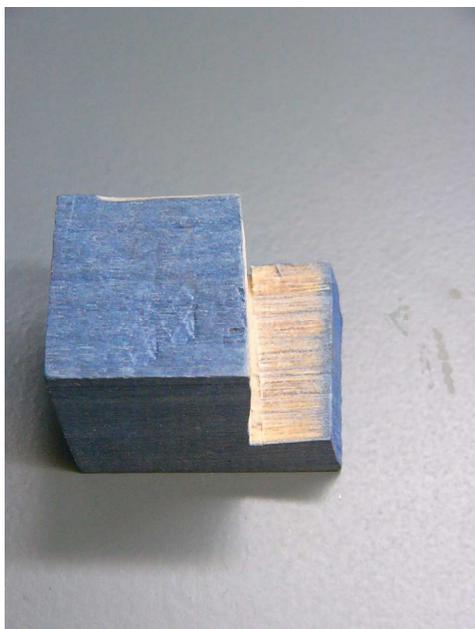


Figura 35-Madeira de choupo

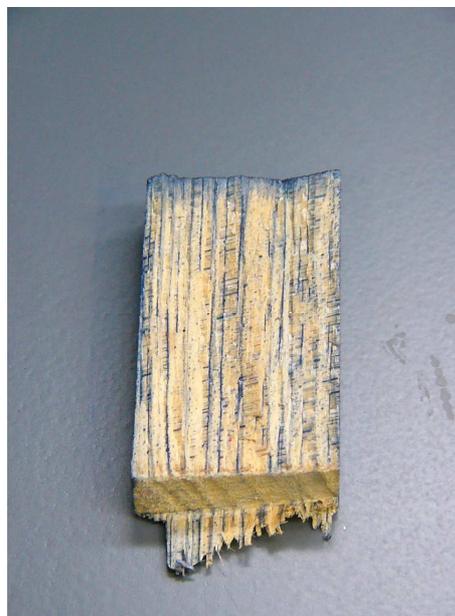


Figura 36-Madeira de pinho

Os resultados animadores obtidos neste ensaio, cujas temperaturas utilizadas estão longe dos 198°C iniciais aplicados pela autoclave, levaram a uma inflexão da trajectória de investigação até então definida, abandonando completamente a utilização de temperatura no procedimento.

3.1.1.2 Ensaio prévios-fase 3

Iniciou-se então uma nova fase de ensaios sem utilização de temperatura para aferir a nova direcção tomada.

Fazendo uso do conhecimento de um outro método utilizado na impregnação para protecção que faz uso de dois ciclos de vácuo, procedeu-se a um ensaio similar.

O processo consiste em após secagem de 24 horas na estufa é aplicado um duplo vácuo, à temperatura ambiente, utilizando um excicador em ciclos de 3 horas. Para a solução a impregnar, foram utilizados corantes dispersos, que não apresentam qualquer afinidade para com a celulose, normalmente utilizados no tingimento têxtil de fibras acetáticas.



Figura 37-Madeira de cerejeira



Figura 38-Madeira de choupo tingida

Após o ensaio e por análise visual (figuras 37 e 38), constatava-se a impregnação total da solução corante em toda a extensão do provete, obtendo-se leve alteração de cor face à original da espécie ensaiada mantendo, no entanto o seu veio original visível. Verificou-se que esta alteração não configurava uma “pintura”, mas antes assemelhava a amostra ensaiada a outra, de outra espécie de valor comercial muito mais elevado – a *Amburana cearensis* ou Cerejeira.

Resultados

As amostras foram então sujeitas a ensaios num Espectrofotómetro de reflexão, equipamento capaz de medir a quantidade de luz reflectida por uma superfície quando iluminada por uma fonte de luz branca, em determinados intervalos de comprimento de onda (ver 2.2.2). O espectro de reflexão obtido permite, em conjugação com CIE Standard Observer e a distribuição relativa de energia espectral do iluminante, inserir a cor percebida num sistema tri-axial designado CIE 1976 ($L^*a^*b^*$).

Os resultados obtidos são apresentados seguidamente nas tabelas 10,11,12 e 13 :

Tabela 10-Dados Colorimétricos da amostra inicial de madeira.

ILUMINANTE	L*	a*	b*	C*	h
D65/10	80.34	6.19	20.80	21.70	73.42

Tabela 11-Dados Colorimétricos da amostra tingida com corantes directos (exterior)

ILUMINANTE	L*	a*	b*	C*	h
D65/10	39.35	25.58	7.55	26.67	16.45

Tabela 12-Dados Colorimétricos da amostra tingida com corantes directos (interior)

ILUMINANTE	L*	a*	b*	C*	h
D65/10	60.05	15.09	25.02	29.22	58.90

Tabela 13-Dados Colorimétricos da amostra tingida com corantes dispersos (interior)

ILUMINANTE	L*	a*	b*	C*	h
D65/10	60.21	12.72	22.67	25.99	60.70

Verifica-se então que, comparando os valores da cor original com a obtida após a utilização dos corante directos em vácuo, que se obteve uma madeira mais vermelha (um aumento no valor de a^*) e mais azul (uma redução no valor de b^*). Assim a análise dos dados colorimétricos confirma a análise visual prévia.

Os valores comparativos de a^* e b^* relativos ao ensaio com corantes dispersos, não sendo tão expressivos, denotam resultados menos positivos face aos obtidos com os corantes directos.

3.2 Desenvolvimento do equipamento experimental

A análise dos resultados obtidos nos ensaios até aqui levou à definição dos princípios necessários à obtenção do objectivo proposto de tingimento aplicado à madeira, eliminando o uso de temperaturas e a aplicação de ciclos alternados de vácuo e pressão.

Tal análise mostra que o procedimento ideal para a obtenção dos resultados pretendidos pois permite obter uma coloração para as peças tratadas, superior à da imersão simples, sem deformação nem descoloração da madeira.

O corante directo é diluído numa solução aquosa. O procedimento geral consiste em introduzir a madeira que será impregnada numa câmara autoclave, cuja porta é fechada hermeticamente e a madeira é submetida à acção dos produtos químicos corantes, em ciclo alternativos de vácuo e de pressão.

Assim, em síntese, o procedimento será:

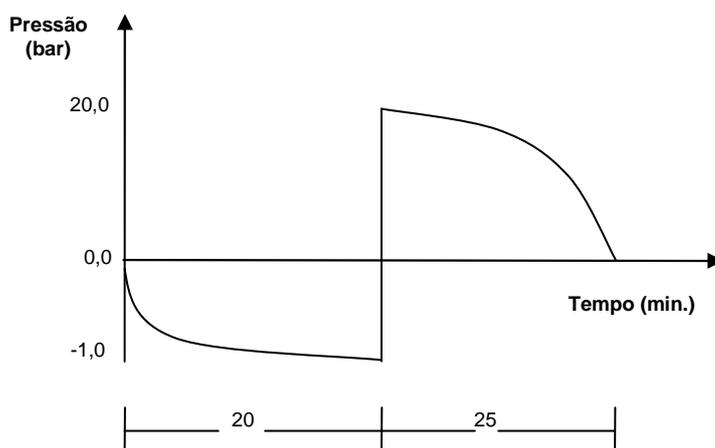


Figura 39-Síntese do procedimento de impregnação/tingimento

1ª Etapa – Introduzir a madeira, depois de seca, no cilindro de alta pressão (autoclave).

2ª Etapa – Inicia-se o vácuo inicial, com a finalidade de extrair o ar da autoclave e das cavidades celulares da madeira.

3ª Etapa – Mantendo o vácuo, se inicia o enchimento da camara autoclave com a solução corante, com a ajuda do próprio vácuo existente dentro da autoclave.

4ª Etapa - Quando a autoclave está totalmente cheia com a madeira e solução corante, finaliza-se o vácuo inicial, dá-se pressão de 20 Kgf/cm² até a saturação.

5ª Etapa – Finalizando a fase de pressão, a solução excedente é transferida para o reservatório esvaziando-se totalmente a autoclave.

6ª Etapa – Inicia-se o vácuo final para a retirada do excesso de solução corante da superfície da madeira.

Os produtos químicos a aplicar devem possuir algumas propriedades e características como:

- alta penetrabilidade através dos tecidos lenhosos permeáveis;
- alto grau de fixação nos tecidos lenhosos;
- não ser corrosivo;
- não ser prejudicial às características físicas e mecânicas da madeira;
- apresentar segurança para manipulação.

O tempo rigoroso de pressão e de vácuo, serão determinados em função da espécie e natureza da madeira, mas também da secção da peça e intensidade de cor pretendida.

Prevê-se que como só uma pequena quantidade da solução corante (mistura do produto de corante e do solvente aquosos) é introduzida na madeira (de 10 a 40 L/m³), a madeira tratada não será deformada.

O tempo de secagem varia entre 12 e 14 horas.

Prevê-se que a coloração assim obtida possua alta resistência à lixiviação uma vez que os corantes reagem com os compostos da madeira e entre si, formando cadeias insolúveis que ficam fixas dentro das estruturas celulares da madeira.

Assim, esquematicamente (figura 40), foi ligada em circuito uma câmara autoclave, um balseiro que contenha o banho corante, uma bomba de vácuo e uma bomba com pistão de forma a gerar pressão sem utilização de temperatura, segundo o esquema que seguidamente se apresenta. Os circuitos de vácuo e pressão funcionam de forma autónoma, accionados por meio de válvulas.

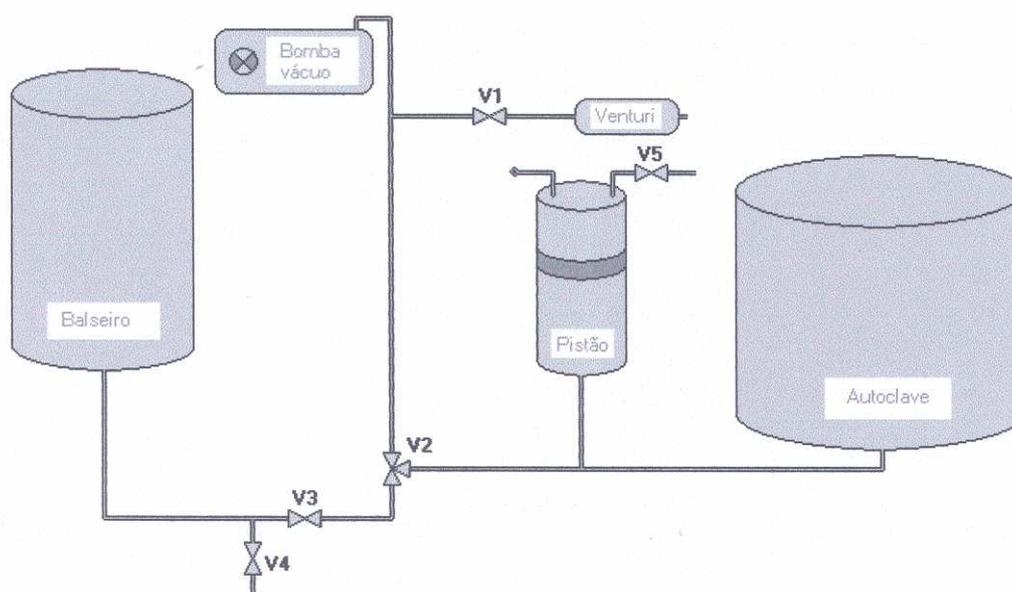


Figura 40-Representação esquemática do funcionamento do equipamento experimental

Teremos um circuito possibilitando o vácuo na câmara autoclave que será fechado, permitindo com V2 então que o banho seja “sugado” para a câmara que já contém as espécies a tratar. É então cheia com banho corante a câmara do pistão que introduzirá a pressão necessária. Fechando V3 é então iniciado o ciclo de pressão mecânica. V4 permitirá o escoamento e recolha do banho remanescente para medição e posterior reutilização.

A bomba de Venturi assegurará a limpeza dos circuitos de vácuo garantindo que os resíduos de banho corante são eliminados do circuito.

Foi então executado um equipamento experimental (figuras 41 e 42) que atendesse a estas exigências e se apresentasse capaz de realizar ensaios em provetes de dimensões estabelecidas pelas normas, para posteriores ensaios de caracterização física e mecânica.



Figura 41-Vista geral do equipamento experimental.



Figura 42-Camãra de pressão/vácuo do equipamento experimental

3.2.1 Aplicação do protótipo

3.2.1 Ensaios de tingimento

Os objectivos deste trabalho passavam por :

- definir as espécies mais susceptíveis de se adequarem ao tratamento;
- definir qual a família e grupo de corante adequado ao tingimento das amostras em toda a sua massa;
- definir um procedimento rigoroso, visando duas estéticas distintas, uma de mimetismo e outra de coloração decorativa.

Visando principalmente os dois primeiros objectivos foram executados ensaios utilizando uma amostra de cada uma das espécies que se encontram na tabela 14, segundo a sequência apresentada na tabela 15.

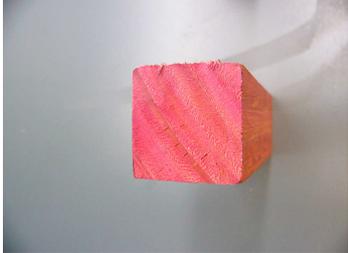
Estas espécies foram escolhidas não só pelo interesse económico destas espécies para aplicações estruturais e não só, mas também pela sua representatividade das grandes classes de madeiras: resinosas, folhosas com porosidade difusa e folhosas com porosidade em anel.

Tabela 14-Espécies ensaiadas

Nome Comum (Português)	Nome Comum (USA/UK)	Nome Científico
Mogno	Sapele	- <i>Entandrophagma Utile</i>
Vidoeiro	Yellow birch	- <i>Bétula alleghaniensis</i>
Tola	Agba	- <i>Gossweilerodendron Balsanmiferum</i>
Iroko	Iroko	- <i>Milicia excelsea</i>
Eucalipto	Tasmanian blue gum	- <i>Eucalyptus globulus</i>
Choupo/Faia	White poplar	- <i>Populos alba</i>
Pinho	Maritime pine	- <i>Pinus pinaster</i>

Pela análise dos resultados obtidos e havendo a necessidade de focalizar estudos foram escolhidas espécies *Populos alba* (choupo) e *Pinus pinaster* (pinho) como representativas das duas grandes famílias de árvores as folhosas e as resinosas, acrescido do facto de ambas serem espécies nativas portuguesas, abundantes e portanto mais baratas e disponíveis para entrega em quantidades suficientes.

Tabela 15-Ensaio de tingimento realizados

Corante		Receita	Resultado
Tipo	cor		
Directo	Terasil Blue 2G	corante: 1,5 % Iguarizador :0,3 g/l	
Directo	Terasil Rouge 2G	corante: 1,5 % iguarizador : 0,3g/l	
Directo	Saturn Red F3B	corante: 4 % soda caustica: 2% cloreto de sodio: 15%	
Cuba	Verde Azeitona B	corante: 4 % hidrossulfito: 11g/l soda caustica 38°Bé: 27.52 ml/l	
		corante: 4 % hidrossulfito: 2.5g/l Soda caustica 38°Bé: 19.22 ml/l	

Neste trabalho foram desenvolvidos estudos sobre o tingimento de madeira como corantes directos, com base no tingimento de fibras têxteis de base celulósica.

Para os ensaios foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Equipamento experimental para tingimento;
- Espectrofotómetro;
- Balança de precisão.

3.2.1.2 Substratos

Para os ensaios finais foram então utilizados provetes com 20x20x340 mm de comprimento das espécies *Populus alba* e *Pinus pinaster*.

3.2.1.3 Corantes

Foram utilizados corantes pertencentes à classe dos directos, representando também os mais utilizados pela indústria têxtil no tingimento de fibras celulósicas.

Para a elaboração dos banhos corantes foram utilizados corantes directos marca DYSTAR. De forma a obter-se uma tricomia escolheram-se, da classe “B” (reguláveis pelo sal), três cores:

- **Azul:** Nome comercial: Dystar blue K-CFN
- **Vermelho:** Nome comercial: Dystar red F-3B
- **Amarelo:** Nome comercial: Dystar yellow K-CF

3.2.1.4 Auxiliares

Como auxiliares foram utilizados neste ensaio o Sal comum como electrólito e Albatex Pon como igualizador.

4 Ensaios finais - Protótipo

4.1 Procedimentos experimentais de tingimento

Realizaram-se tingimentos, fixando-se variáveis e mantendo-se o mesmo gráfico de tingimentos em todos os ensaios. A concentração do igualizador bem como a concentração de sal variaram conforme a concentração do corante a ensaiar.

Variáveis fixas

Durante todos os ensaios mantiveram-se fixas as variáveis de:

- Relação de banho
- Volume de banho
- Temperatura
- Tempo de vácuo
- Tempo de pressão

Iniciaram-se os ensaios à temperatura ambiente. As condições de aplicação são então uma primeira fase em que é aplicado um ciclo de vácuo de 0.1 bar durante um período de 20 minutos. Dá-se então início à segunda fase em que é aplicada um ciclo de pressão de 20.0 bar durante 25 minutos. Termina-se com um ciclo final de vácuo a 0.1 bar durante um período de 10 minutos, para remover o excesso de banho.

Utilizando-se três provetes de choupo e três provetes de pinho em cada ensaio realizaram-se ensaios seguindo o procedimento de tingimento padrão, fixando as variáveis acima descritas. Foram ainda tomadas em atenção as seguintes condições:

- A concentração do corante utilizado foi determinada sob o peso do substrato a tingir em cada ensaio.
- O substrato foi seco em condições semelhantes e não apresentava nós ou defeitos visíveis.
- Os corantes e os auxiliares foram previamente dissolvidos e adicionados ao banho no início do processo de tingimento.
- No final do tingimento, as amostras retiradas foram lavadas em água corrente e secas em estufa a 40°C por 24 horas.
- No final do tingimento foi recolhido e medido rigorosamente o volume de banho remanescente da câmara e do balseiro.

Os ensaios foram realizados no laboratório químico da Universidade do Minho e as descrições das receitas de tingimento para cada ensaio são apresentados a seguir:

Tabela 16- Receitas utilizadas para os ensaios de tingimento

Azul	Vermelho	Amarelo
<p>Ensaio 1:</p> <p>corante: 1,0 % igualizador : 0,2 % electrólito: 5% substrato: choupo/pinho</p>	<p>Ensaio 4:</p> <p>corante: 1,0 % igualizador : 0,2 % electrólito: 5% substrato: choupo/pinho</p>	<p>Ensaio 7:</p> <p>corante: 1,0 % igualizador : 0,2 % electrólito: 5% substrato: choupo/pinho</p>
<p>Ensaio 2:</p> <p>corante: 2,0 % igualizador : 0,2 % electrólito: 10 % substrato: choupo/pinho</p>	<p>Ensaio 5:</p> <p>corante: 2,0 % igualizador : 0,2 % electrólito: 10 % substrato: choupo/pinho</p>	<p>Ensaio 8:</p> <p>corante: 2,0 % igualizador : 0,2 % electrólito: 10 % substrato: choupo/pinho</p>
<p>Ensaio 3:</p> <p>corante: 4,0 % igualizador : 0,3 % electrólito: 15 % substrato: choupo/pinho</p>	<p>Ensaio 6:</p> <p>corante: 4,0 % igualizador : 0,3 % electrólito: 15 % substrato: choupo/pinho</p>	<p>Ensaio 9:</p> <p>corante: 4,0 % igualizador : 0,3 % electrólito: 15 % substrato: choupo/pinho</p>

Após cada ensaio, foram recolhidos e medidos todos os banhos corantes utilizados, ou seja todo o banho após o procedimento permanecia na câmara-autoclave.

Através da análise das leituras obtidas no espectrofotómetro desses banhos remanescentes, respectivos a cada ensaio, avaliou-se a concentração de corante presente nos dos provetes. Pretende-se desta forma avaliar a quantidade de corante que ficou efectivamente na peça de madeira

ensaiada, bem como avaliar a quantidade de corante presente no banho remanescente, de forma a averiguar da viabilidade da hipótese de reutilização de banhos corantes em ensaios posteriores, reduzindo custos de produção.

4.1.1 Resultados e análise.

São apresentados na tabela 17 os resultados práticos obtidos após secagem e lixagem posterior ao tingimento.

Tabela 17-Resultados obtidos

Dystar blue K-CFN	Dystar red F-3B	Dystar yellow K-CF
<p>Ensaio 1</p> 	<p>Ensaio 4</p> 	<p>Ensaio 7</p> 
<p>Ensaio 2</p> 	<p>Ensaio 5</p> 	<p>Ensaio 8</p> 
<p>Ensaio 3</p> 	<p>Ensaio 6</p> 	<p>Ensaio 9</p> 

Imagens, ampliadas a 200x, recolhidas através de um microscópio metalográfico no Centro Óptico da Universidade da Beira Interior (figuras 43 e 44) mostram que o tingimento se deu não só a nível superficial mas a nível celular.



Figura 43-Choupo

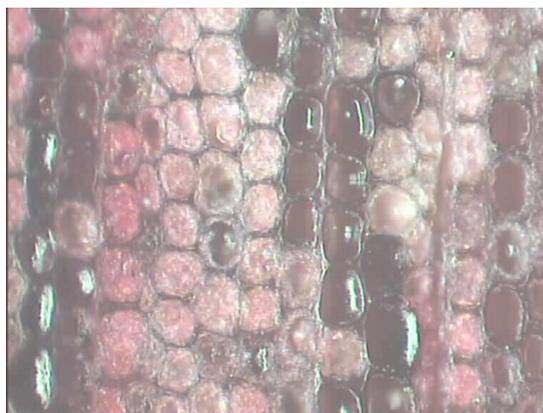


Figura 44-Dystar red F-3B em Choupo

Resultados revelam então a impregnação em profundidade bem como que procedimento torna possível, pela alteração das percentagens de corante presente no banho tintório, o controle de tons em ambas as espécies ensaiadas, possibilitando a adequação da cor e tonalidade à aplicação pretendida (figuras 45 e 46).



Figura 45-Degradeé de Dystar red F-3B em Pinho

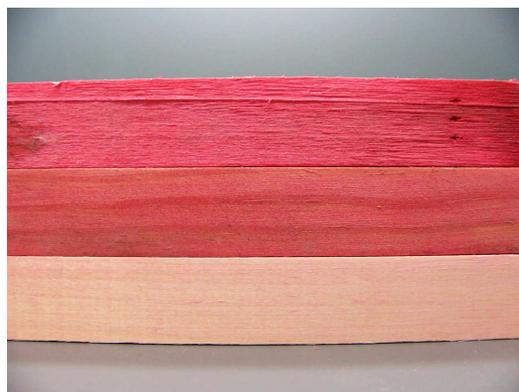


Figura 46-Degradeé de Dystar red F-3B em Choupo

De forma a aferir da viabilidade de re-utilização de banhos de tingimento não só para vários lotes mas para a obtenção de cores mais claras, procurou-se determinar as concentrações de corante nas diferentes soluções, recorrendo à técnica de espectroscopia de UV-Vis e seguida pelo método da recta de calibração, de acordo com o procedimento que seguidamente se apresenta:

- Preparação de soluções-padrão com teor em corante em 0; 15; 30; 45; 60; 75 e 100 mg/L.

- Acertar o comprimento de onda característico.
- Acertar o ganho do detector a 90%.
- Com a solução em branco, acertar o zero de absorvância.
- Proceder às leituras das absorvâncias de cada um dos padrões, intercalando o branco.
- Elaboração a recta.

Resultados (Concentração vs Absorvância)

1- Vermelho-Dystar red F-3B

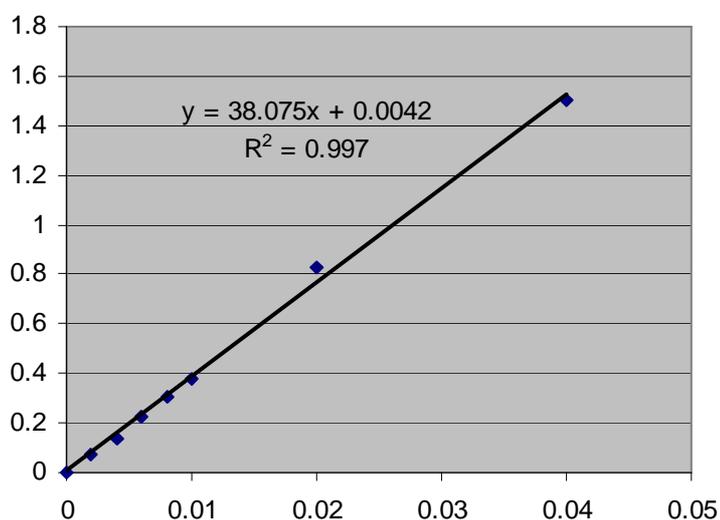


Figura 47-Recta de calibração-Dystar red F-3B

Daqui retira-se que a quantidade de corante contida no banho remanescente é:

Tabela 18-Quantidade de corante remanescente nas diferentes concentrações.

Concentração (%)	Quantidade de corante (g/L)
1%	1,1778
2%	2,4856
4%	3,8607

Sendo esta quantidade subtraída à quantidade de corante adicionada inicialmente, obteremos uma estimativa da quantidade de corante que ficou retido nos provetes.

Assim:

Tabela 19-Quantidade de corante retido nos provetes

Concentração (%)	Quantidade de corante no banho inicial (g)	Quantidade de corante no banho remanescente (g)	Quantidade de corante retido (g)
1%	4,0000	1,1778	2,822
2%	8,0000	2,4856	5,510
4%	16,0000	3,8607	12,14

2-Amarelo – Dystar yellow K-CF

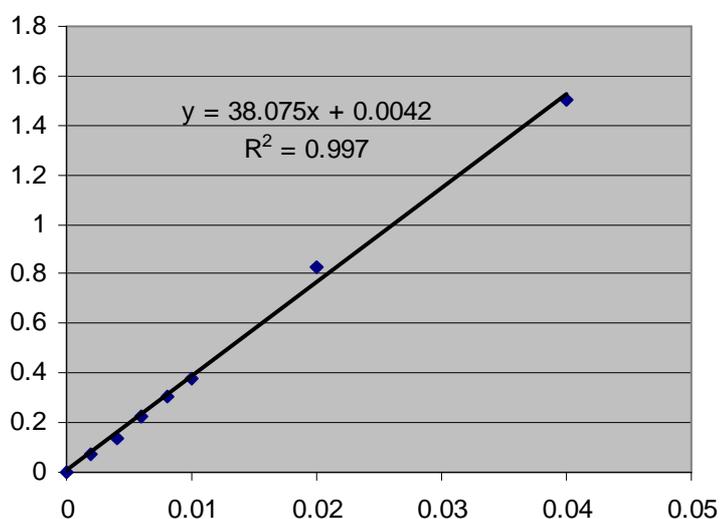


Figura 48-Recta de calibração – Dystar yellow K-CF

Daqui retira-se que a quantidade de corante contida no banho remanescente é:

Tabela 20-Quantidade de corante retido nos provetes.

Concentração (%)	Quantidade de corante (g/L)
1%	2,927
2%	2,995
4%	3,050

Sendo esta quantidade subtraída à quantidade de corante adicionada inicialmente, pelo que obteremos a quantidade de corante que ficou retido.

Assim:

Tabela 21-Quantidade de corante retido nos provetes.

Concentração (%)	Quantidade de corante no banho inicial (g)	Quantidade de corante no banho remanescente (g)	Quantidade de corante retido (g)
------------------	--	---	----------------------------------

1%	4,000	2,927	1,073
2%	8,000	2,995	5,005
4%	16,000	3,050	12,95

3-Azul- Dystar blue K-CFN

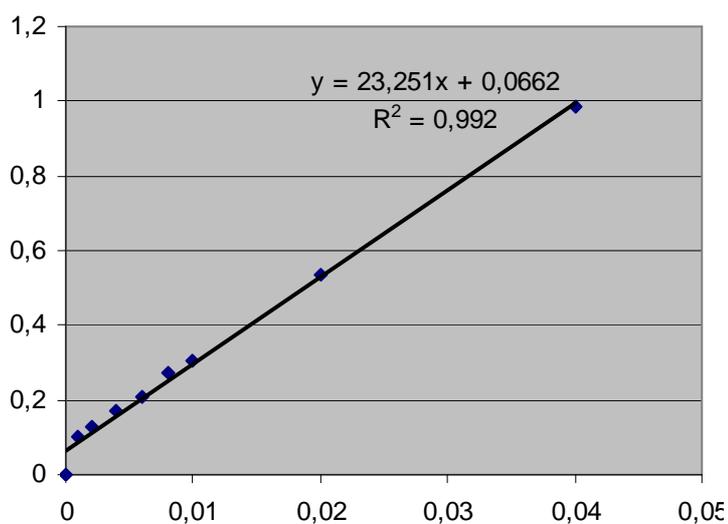


Figura 49-Gráfico recta de calibração – Dystar blue K-CFN

Daqui retira-se que a quantidade de corante contida no banho remanescente é:

Tabela 22-Quantidade de corante retido nos provetes.

Concentração (%)	Quantidade de corante (g/L)
1%	4,6172
2%	8,330
4%	15,374

Sendo esta quantidade subtraída à quantidade de corante adicionada inicialmente, pelo que obteremos a quantidade de corante que ficou retido.

Assim:

Tabela 23-Quantidade de corante retido nos provetes.

Concentração (%)	Quantidade de corante no banho inicial (g)	Quantidade de corante no banho remanescente (g)	Quantidade de corante retido (g)
1%	4,000	3,918	0,082
2%	8,000	6,930	1,070
4%	16,00	12,575	3,425

A análise das rectas de calibração e das tabelas acima apresentadas fornecem-nos dados acerca da possibilidade de aproveitamento do banho corante para mais do que um lote. A confirmação desta premissa é um elemento vital para uma posterior aplicação a uma escala industrial.

Para que um produto se apresente viável economicamente torna-se necessário atender a alguns aspectos:

- Métodos de produção;
- Custos;
- Volume de negócio;
- Riscos.

A optimização visando a industrialização exige decisões especialmente nas três primeiras premissas: Métodos de produção, Custos e Volume de negócio.

Estima-se que pelo menos 20% dos corantes têxteis, são desperdiçados devido perdas ocorridas durante o processo de fixação nas fibras, sejam descarregados em efluentes fluviais diversos. Assim, o reaproveitamento dos banhos corantes apresenta implicações consideráveis ao nível dos custos de produção e condiciona o método de produção.

A leitura dos dados apresentados mostra que os corantes utilizados não sofrem qualquer tipo de degradação durante o processo permitindo a sua reutilização noutros tingimentos. Paralelamente, a nível de custos, a família de corantes escolhida - os directos- encontra-se na faixa de preços mais baixa do mercado actual.

4.2 Verificação das características físicas e mecânicas da madeira

4.2.1 Normas

Pretende averiguar-se se o processo de tingimento influencia o comportamento físico-mecânico das madeiras ensaiadas.

Para a realização dos ensaios laboratoriais serão seguidos os seguintes referenciais [57,58,61,62]:

- Normas Europeias: propriedades mecânicas para madeira maciça (EN 383:1995), lamelados colados (EN 408:1995).
- Determinação do teor em água (NP-614).
- Determinação da retracção volumétrica(NP-615).
- Determinação da massa volúmica(NP-616).
- Determinação da dureza [Chalais Meudon ou Monnin] (NP-617).
- Ensaio de compressão axial(NP-618).
- Ensaio de flexão estática (cálculo da tensão de rotura) (NP-619).

4.2.2 Resumo dos ensaios

4.2.2.1 Teor em água

Para determinar o teor em água, retracção volumétrica e massa volúmica, utiliza-se um provete de cada espécie com 20x20x30

A determinação do teor em água, passa por determinar o quociente, em %, entre a massa de água que se evapora submetendo o provete a secagem em estufa a 103 +- 2°C até a massa ficar constante, pela massa do provete depois de seco:

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (9)$$

em que:

m1 – massa do provete húmido, em g

m2 – massa do provete seco, em g.

Tabela 24-Procedimento Experimental para ensaios Físicos

(referente as normas NP-614 -Teor em água NP-615 -Retracção NP-619 -Massa volúmica)

Pesar o provete	Medição 1
Mergulhar o provete em água para obter o ponto de saturação das fibras: para maior facilidade nesta tarefa o provete pode ser submetido a um sistema de vácuo (o vácuo só deve ser ligado durante alguns minutos - 2 a 5 min), e em seguida embebido à pressão atmosférica ou a uma pressão superior. Este processo pode demorar de uma a duas semanas, variando em função da espécie em estudo. Depois de saturado é enxuto	Medição 2

(com papel de filtro) e no caso de se ter procedido a saturação acelerada, deixa-se durante um a dois dias num recipiente estanque pare que se dê a homogeneização da sua humidade.	
Pesa-se e mede-se nos três sentidos.	Medição 3
Após esta medição o provete seca ao ar até a sua massa ser sensivelmente a inicial. Esta operação pode demorar, consoante a espécie, uma a duas semanas. Encerra-se no recipiente estanque durante um ou dois dias (outro processo é, após atingir aproximadamente a massa inicial, colocar o provete na câmara de secagem até massa constante - a câmara deve estar regulada para humidade a 12%).	Medição 4
Determinam-se novamente as dimensões e o peso do provete - que serão as consideradas para o estado seco ao ar com H=12%.	Medição 5
Seca-se o provete em estufa a 103°C ±2°C até massa constante, deixa-se arrefecer num excicador.	Medição 4
Pesa-se e mede-se novamente o provete - são as medidas consideradas para o estado com H=0%.	Medição 5
O provete considera-se com (seco até) massa constante quando a diferença entre duas pesagens consecutivas intercaladas de 2h for inferior a 0,5% da massa do provete.	Nota

4 . 2 . 2 . 2 Determinação da massa volúmica

É obtida pelo quociente entre a massa do provete com determinada percentagem de humidade presente pelo seu volume.

$$\text{Variação} = \frac{\text{massa do provete com H \% de humidade presente}}{\text{volume do provete com H \% de humidade presente}} \quad (10)$$

Este deve situar-se entre 100 Kg/m³ e 500 Kg/m³ se a humidade presente estiver a 12%.

4.2.2.3 Compressão longitudinal

Na resistência à compressão (figura 50), a amostra é comprimida a uma velocidade 0,75 mm/min e a carga final é medida. Foi executada em provete de 20x20x60 mm. Foram medidas após o tratamento 2 barras de cada espécie testada.

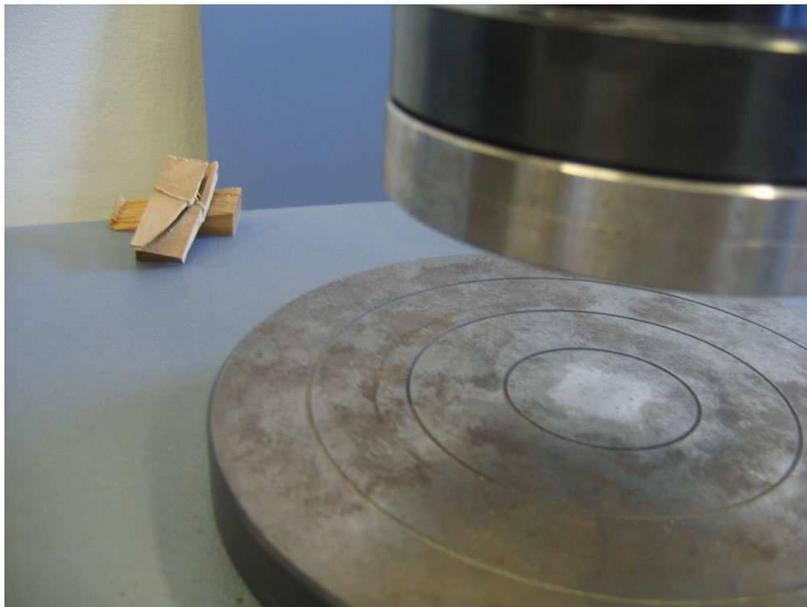


Figura 50-Prensa mecânica.

4.2.2.4 Flexão estática

A resistência à flexão representa a tensão máxima desenvolvida na superfície de uma barra quando sujeita a dobramento, e aplica-se aos materiais rígidos, como a madeira, em provete de 20x20x340 mm. Foram medidas após o tratamento 2 barras de cada espécie.



Figura 51-Prensa mecânica.

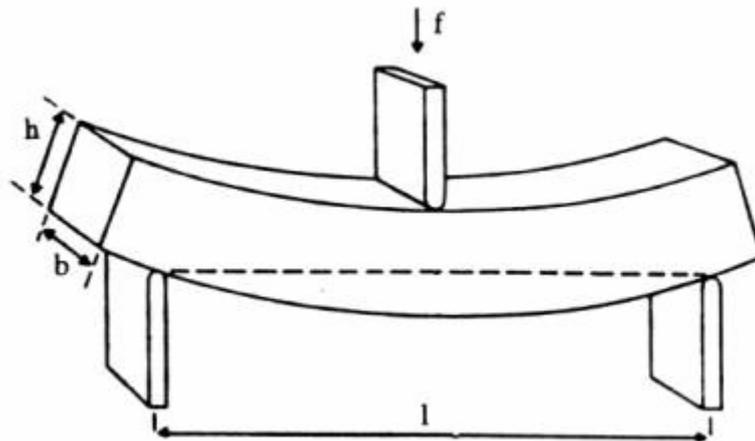


Figura 52-Representação esquemática do fenómeno de flexão.

4.2.2.5 Módulo de elasticidade

É medido pela razão entre a tensão aplicada e a deformação resultante, dentro do limite elástico, em que a deformação é totalmente reversível e proporcional à tensão. Foram medidas após o tratamento 2 barras de cada espécie.

A seguir serão apresentados os resultados obtidos no presente trabalho, bem como a sua análise e discussão.

4.2.3 Resultados e análise

Nas seguintes tabelas são apresentados os valores obtidos nos ensaios de caracterização física (massa volúmica) e mecânica dos provetes (resistência à flexão, compressão e módulo de elasticidade).

Tabela 25-Resultados da caracterização física e mecânica:
Resistência à flexão e à compressão.

Espécie	Cor	Resistência à flexão (GPa)		Resistência à compressão (GPa)	
		Valor	CoV (%)	Valor	CoV (%)
Choupo	Natural	81.10	(0.5)	13.12	(1.0)
	Azul	72.42	(1.3)	12.00	(6.0)
	Vermelho	79.75	(2.0)	10.22	(6.0)
	Amarelo	74.03	(1.3)	12.00	(7.1)
Pinho	Natural	11.38	(10.0)	16.84	(4.0)
	Azul	10.55	(0.02)	15.90	(0.1)
	Vermelho	12.25	(0.04)	16.34	(0.1)
	Amarelo	12.15	(0.2)	13.90	(0.1)

Tabela 26-Resultados da caracterização física e mecânica:
Módulo de elasticidade e Massa Volúmica.

Espécie	Cor	Módulo de Elasticidade (GPa)		Massa Volúmica(Kg/m ³)	
		Valor	CoV (%)	Valor	CoV (%)
Choupo	Natural	6.68	(1.8)	425	(1.8)
	Azul	(*)	(-)	627	(1.6)

	Vermelho	6.10	(2.8)	636	(0.2)
	Amarelo	6.27	(12.5)	608	(7.0)
Pinho	Natural	7.68	(1.2)	468	(0.8)
	Azul	7.24	(0.3)	627	(0.14)
	Vermelho	8.42	(0.4)	552	(12.7)
	Amarelo	7.43	(0.2)	614	(18.7)

(*) ensaio nulo

Análise

Depois de estudos levados a cabo até este ponto, indicaram o pinho e o choupo tingidos com corantes directos como as espécies e família de corantes mais adequados ao objectivo proposto.

Na Tabela 25, apresenta-se o resumo dos resultados dos ensaios de avaliação da resistência à flexão e à compressão com a utilização de ensaios convencionais destrutivos com prensa hidráulica.

Comparando-se os valores médios das resistências, observa-se que, nos provetes de madeira tingida, foram ligeiramente inferiores que nos provetes de madeira não-tingida, sem que no entanto sejam significativos.

Na Tabela 26, são apresentados os valores médios e os coeficientes de variação da massa volúmica e do módulo de elasticidade, medidos através de ensaios convencionais destrutivos de compressão paralela.

Os valores médios do módulo de elasticidade resultaram bastante próximos daqueles obtidos face à amostra referência.

O valor médio referência de massa volúmica apresentado pelas espécies estudadas, é de 425 kg/m³ para o choupo e de 467.5 kg/m³ para o pinho. Retira-se dos dados apresentados que, no caso dos provetes tingidos, esses valores são ultrapassados, sendo em 33% superiores ao valor de referência no caso do choupo e 20% no do pinho. Tal deve-se ao facto de o procedimento ser de base aquosa pelo que a secagem de 24 horas em estufa ã foi suficiente e se mostra necessário um acondicionamento posterior, de forma a garantir que os níveis de humidade presente se situam nos 12%.

Das Tabelas 25 e 26, pode-se verificar, então que, o procedimento não apresenta qualquer influência significativa sobre as propriedades físicas e mecânicas do material. O facto de a base do procedimento ser aquosa torna o procedimento não agressivo para as fibras constituintes do material responsáveis pela sua resistência e durabilidade. Tal comprova a hipótese colocada inicialmente.

5 Conclusões

Este estudo visava obter o tingimento da celulose presente na madeira, com uma penetração da cor em toda a secção da peça.

Os ensaios mostraram possível definir uma metodologia, controlando variáveis de pressão e temperatura, que garantisse profundidade de penetração sem alterações relevantes nas propriedades físicas e mecânicas face ao material referência.

Mostraram ainda que, de entre as espécies comercialmente mais vulgares em Portugal, o pinho e o choupo são as espécies arbóreas mais susceptíveis ao tratamento, principalmente em virtude da sua composição física e química.

Os procedimentos experimentais confirmaram os corantes directos como adequados ao tingimento do material celulósico presente na madeira, permitindo uma fixação da cor a nível celular e um acabamento uniforme.

Introduzindo variações nos parâmetros de tingimento - as concentrações de corante, sal e igualizador - foi possível elaborar uma tricotomia, garantindo tons e cores, e que lança bases para a criação de um catálogo de cores.

Os resultados deste trabalho mostram que o procedimento permitiria adicionar cor sem inviabilizar as aplicações estruturais do material uma vez que resultados obtidos são compatíveis com as normativas que regulamentam essas aplicações.

Pelo facto de ser de base aquosa, o banho corante é inodoro e anticorrosivo para os metais e componentes das máquinas com as quais venham posteriormente a estar em contacto, para além de não oferecerem perigo algum para o homem ou animais, uma vez que a cor se encontra fixa na madeira.

Assim, o desenvolvimento de um *Know-how* que permita o processamento de peças de madeira às quais seja possível atribuir uma cor própria dentro de um vasto catálogo de tonalidades e com características mecânicas potencialmente melhoradas, terá previsivelmente um impacto significativo a diversos níveis socio-económicos.

Por um lado, ao minimizar o consumo de madeira como material, aliando-a à crescente consciencialização da sociedade e a apetência desta para a escolha preferencial por materiais renováveis, formam uma conjuntura muito favorável à reintrodução da aplicação da madeira nacional em aplicações estruturais e decorativas.

Por outro lado, os benefícios que a madeira maciça pode adquirir do processamento em estruturas industriais compensam largamente, já que obtemos um produto final com uma qualidade garantida, passível, inclusivamente de certificação, já que processos fundamentais como os da secagem e índice de humidade presente são devidamente monitorizados e controlados. Permite ainda a obtenção de maiores cargas tratadas (rentabilizando gastos energéticos) bem como a obtenção de uma maior protecção, graças às maiores profundidades de penetração dos produtos preservadores, bem como diminuir o número de intervenientes no processo de transformação e aplicação da madeira permite a concentração de esforços e instalações com consequentes reduções de custos.

Tudo isto aliado à possibilidade de obtenção do aspecto de algumas madeiras muito apreciadas pela sua estética natural, como a cerejeira, tendo como base uma outra espécie de menor preço e de veio semelhante, e a simplificada manutenção, torna o material mais apelativo e competitivo, dando mais um passo na consolidação do sector, bem como um incremento na oferta de inovação nacional nos principais mercados de exportações,

A nível de mercado nacional, os benefícios parecem incidir sobre aquela que em tempos foi a mais frutífera indústria: a Têxtil, e que é, actualmente, marcada pela generalizada crescente perda de competitividade do sector industrial. O processamento de madeira em estruturas de tingimento existentes, rentabilizando-as e fazendo pleno uso de conhecimentos e pessoal, faz perceber uma potencial viabilização económica de empresas que provavelmente não resistiriam.

Trabalhos futuros

Foi conseguido lançar bases para um procedimento cujo o produto obtido apresenta características muito favoráveis de estabilidade e robustez, capaz de resistir inclusivamente às condições mais agressivas, tornando as cores aptas para aplicações em exteriores. Ainda de referir as potencialidades de desenho e criatividade pela combinação de cores. Goza de uma excelente disponibilidade, independentemente das estações do ano ou de flutuações anuais, graças aos novos e eficientes processos de secagem mecânica, podendo ainda ser fornecidos pequenos lotes de combinações de cores por encomenda. Apresenta-se ainda como um material de fácil trabalhabilidade e manutenção, já que a penetração total de cor em toda a secção facilita a reparação, de forma simples e utilizando ferramentas comuns.

Parece então de todo o interesse a prossecução de investigação face a uma optimização e ampliação do leque de cores com vista à implementação industrial do processo.

Assim, são de sugerir a prossecução das pesquisas e ensaios e:

- Estudar o comportamento de outras famílias de corantes.
- Resistência do material tratado às intempéries.
- Resistência do material tratado às radiações Ultra-Violetas.
- Compatibilidade entre produtos preservadores (capazes de melhorarem o durabilidade em serviço) e os corantes no mesmo banho tintório.
- Incorporação de sais de cobre que poderão melhorar a fixação da cor às fibras da madeira bem como aumentar a sua resistência ao ataque de fungos.
- Aumentar o leque de cores visando a ampliação do catálogo de cores já atingido.
- Estabelecer a dimensão dos provetes nas dimensões comerciais de 3,000 x 450 mm.

6 Referências

- 1) Carvalho, A. (1996) "Madeiras Portuguesas - Estrutura Anatómica, Propriedades, Utilizações", Vol. I e Vol. II, Direcção Geral de Florestas.
- 2) Mater, J. (2005) The role of forest in the future of the world- artigo publicado no Forest Products Journal, vol55, nº9.
- 3) Forest Products Laboratory (1999). Wood handbook-Wood as an Engineering Material. Gen.Tech. Rep.FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- 4) Green, Harvey (2006) "Wood: Craft, Culture, History" Viking Editors, ISBN 10-670-03801-6.
- 5) <http://www.wood2creation.com/woodcraft.php>.
- 6) <http://www.scienceblog.com/cms/node/7875>.
- 7) Nitschke, Gunter (1993) "From Shinto to Ando" Academic Press London, ISBN-10: 185490289X.
- 8) Watanabe, Yasutada (1974), "Shinto art: Ise and Izumo shrines (The Heibonsha survey of Japanese art)" Weatherhill/Heibonsha, ISBN-10: 0834810182.
- 9) The Scottish Storytelling Centre, Netherbow, High St (2005) Apontamentos da conferencia "Houses in Wood: The Modern Norwegian Model" Organiser: The Centre for Timber Engineering.
- 10) Holan, J. (1995) "Norwegian Wood: A Tradition of Building" Review: Pekka Korvenmaa, The Journal of the Society of Architectural Historians, Vol. 54, No. 1.
- 11) Slavid, Ruth (2005) "New Wood Architecture" Yale University Press, ISBN: 9780300107944.
- 12) http://www.ensino.uevora.pt/mpa/6ed/modulo_1/docs/mod_1_2/VP.PDF
- 13) Fabião, A. D., Oliveira, A. C. (2006) "Texto de apoio às aulas das disciplinas de Silvicultura Geral e Silvicultura I" (aulas práticas) leccionadas no Instituto Superior de Agronomia.
- 14) <http://www.scielo.oces.mctes.pt/pdf/slu/v11n2/v11n2a05.pdf>.

- 15) Fabião, A. D." Árvores e Florestas" (1992) 6º Mestrado Luso-Brasileiro em Gestão e Políticas Ambientais, www.ensino.uevora.pt/mpa.
- 16) Fact Sheet No.9 in www.woodforgood.com.
- 17) Brown, S., J. Sathaye, M. Cannell and P. E. Kauppi (1996) "Management of forests for mitigation of greenhouse gas emissions" In R. T. Watson, M. C. Zinyowera. "Climate Change 1995 – Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific- Technical Analyses."
- 18) disponível em <http://www.rmef.org>.
- 19) disponível em <http://www.srds.ndirect.co.uk/sustaina.htm>: «Development is not just about bigger profits and higher standards of living for a minority. It should be about making life better for everyone and this should not involve destroying or recklessly using up our natural resources, nor should it involve polluting the environment.»
- 20) Davey , P. (1997) "Wood spirit - use of wood in architecture" artigo publicado na The Architectural Review.
- 21) http://www.spiritofnature.net/eng/index_eng.html.
- 22) Foulger,A.N. (2000) "Classroom demonstrations of wood properties" U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- 23) Branco, J M. (2001)"Estruturas de Madeira"Textos de apoio da disciplina de Estruturas de Madeira Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho.
- 24) Society of Wood Science and Technology, teaching unit 1, slide set 1.
- 25) Society of Wood Science and Technology, teaching unit 2, slide set 1 e slide set 2.
- 26) Society of Wood Science and Technology, teaching unit 2, slide set 1 e slide set 2
- 27) Negrão J. H. (2001) Estruturas em madeira, textos de apoio, cursos de formação d.e.c-f.c.t.u.c. Coimbra.
- 28) Avallon,E.A., BaumeisterIII,T. (1996) Mark´s Standart Handbook for Mechanical Engineers,10th edition Mc Graw-Hill
- 29) John G. Haygreen , Jim L. Bowyer,(1996) "Forest Products and Wood Science - An Introduction", Third Edition, Iowa State University Press
- 30) Cabral,F.C.,Telles,G.R.(2005) A árvore em Portugal Assírio&Alvim
- 31) Humpries C.J, Press,J.R., Schon,D.A.(2004) The Haling guide to trees of Britain and Europe, Bounty Books
- 32) Alvarez, R. A., Martitegui, F. A. (2000), Estructuras de Madera – Diseño y Calculo, Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho, AITIM, 2ª edição.
- 33) Cavaco, L. S. (2001), Revestimentos de Paredes Exteriores de Madeira, Monografia, Tecnologias da Construção de Edifícios, 11º Mestrado em Construção do I.S.T.,Lisboa.
- 34) De Aguiar, B. (1996), Materiais de Construção – Sebenta da disciplina de Materiais de Construção, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho.
- 35) Edlund, B. (1995), Tension and compression, In BLASS, H. J., AUNE, P., CHOO, B. S. et al.- Timber Engineering – Step 2, Almere Centrum Hout, Lecture B2.
- 36) Ehlbeck, J., Görlacher, R. (1995), Tension perpendicular to the grain in joints, In BLASS, H. J., AUNE, P., CHOO, B. S. et al. - Timber Engineering – Step 1, Almere Centrum Hout, Lecture C2.

- 37) NP EN 1912 (2003) - Madeiras para estruturas. Classes de resistência. Atribuição de classes de qualidade e espécies,
- 38) NP 4305 (1995), Madeira serrada de Pinheiro bravo para estruturas – classificação visual, LNEC.
- 39) prEN 1995-1-1 (2001), Eurocode 5: Design of Timber Structures – Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings; CEN/TC 250/SC5, N.º 316.
- 40) Simpson W., TenWolde A. (1999), Physical Properties and Moisture Relations of Wood, In Wood handbook – Wood as an Engineering Material, Madison, WI: U.S., Forest Products Laboratory, Chapter 3.
- 41) Winandy, J. E. (1994), Wood Properties, In Arntzen Charles J., ed. Encyclopedia of Agricultural Science. Orlando, Vol. 4.
- 42) Castro, E.M.M. e Araújo, M. (1984) Manual de Engenharia Textil V2 Fundação Calouste Gulbenkian.
- 43) Puente, P., Cegarra, J., Valdeperas, J. (1981) Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de materias textéis, Catedra de Tintorería, Universidad Politécnica de Barcelona.
- 44) Lady Siobhan nicDhuinnshleibhe Presented at Runestone Collegium, 19 February 2000 Heather McCloy em CHEMICAL AND ENGINEERING NEWS 11 de outubro 2004 Volume 82, Number 41 pp. 26-27
- 45) Colour-index cuja a versão on-line se encontra em <http://www.colour-index.org>
- 46) Society of Dyers and Colorists (<http://www.sdc.org.uk>)
- 47) American Association of Textile Chemists and Colorists (<http://www.aatcc.org>):
- 48) Bewdley Technical Services (disponíveis em <http://www.bewdleytech.co.uk/pressure.pdf>)
- 49) EN 338 (1995), Structural timber-strength classes, CEN, (E).
- 50) EN 351-1 (1992), Durability of wood and wood-based products – Natural durability of solid wood – Part 1: Classification of preservative penetration and retention, CEN, (E).
- 51) EN 350-2 (1994), Durability of wood and wood-based products – Natural durability of solid wood – Part 2: Guide to natural durability and treat ability of selected wood species of importance in Europe, CEN.
- 52) EN 460 (1995), Durabilidade da madeira e de produtos derivados, IPQ.
- 53) EN 1912 (1998), Structural timber – Strength classes – Assignment of visual grades and species, CEN, (E).
- 54) Govic, Claude le (1995), Les Assemblages Dans La Construction En Bois, Centre Technique du Bois et de l' Ameublement-CTBA, Paris.
- 55) Götz, K.-H., Hoor, D., Möhler, K., Natterer, J. (1993), Construire en Bois, Lausanne, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Edition en langue française.
- 56) Hartl, H. (1995), Behaviour of timber and wood-based materials in fire, In BLASS, H.J., AUNE, P., CHOO, B. S. et al. - Timber Engineering – tep 1, Almere Centrum Hout, Lecture A13.
- 57) Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios [RCCTE] (Art. º 8).
- 58) Hoffmeyer, P. (1995), Wood as a Building Material, In BLASS, H. J., AUNE, P., CHOO, B. S. et al. - Timber Engineering – Step 1, Almere Centrum Hout, Lecture A4.

- 59) Liska, J.D. (1950), Effect of rapid loading on compressive and flexural strength of wood, Forest Products Laboratory Report N° 1769.
- 60) LNEC-M2 (1997), Pinho Bravo para Estruturas, Fichas Técnicas, LNEC, Portugal.
- 61) LNEC-M9 (1997), Humidade da Madeira, Fichas Técnicas, LNEC, Portugal.
- 62) Madsen, B., Nielsen, L.F. (1992), Structural behaviour of timber. Appendix: The theory of wood as a cracked visco-elastic material, Timber Engineering Ltd.
- 63) Mateus, Tomás J. E. (1961), Bases para o dimensionamento de estruturas de Madeira, LNEC, Memória N.º 179, Lisboa.

Links:

Artigos em Forest Products Laboratory – Publications

<http://www.fpl.fs.fed.us/pubs.htm>

APA - The Engineered Wood Association

<http://www.apawood.org/>

American Institute of Timber Construction

<http://www.aitc-glulam.org/index.asp>

DEMad

<http://www.demad.estv.ipv.pt/dep/demad/Pagina3.html>

Dois motores de busca sobre madeira:

<http://www.woodcenter.net/fr/>

<http://www.timberseek.com/index-e>

SANDRA FILIPA XAVIER DE FREITAS CARVALHO

IMPREGNAÇÃO DE COR EM MADEIRA

Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

UNIVERSIDADE DO MINHO
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Civil- Materiais

Orientador: Rui Miguel Ferreira – Departamento de Engenharia Civil
Co – Orientador: António Pedro Souto – Departamento de Engenharia Têxtil

Guimarães,

É PROIBIDA, SALVO EXCEPÇÕES PREVISTAS NA LEI, A REPRODUÇÃO (ELECTRÓNICA, QUÍMICA, MECÂNICA, ÓPTICA, POR GRAVAÇÃO OU POR FOTOCÓPIA), A DISTRIBUIÇÃO OU A ADAPTAÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTE DOCUMENTO SEM A PRÉVIA AUTORIZAÇÃO DOS TITULARES DA PROPRIEDADE INTELECTUAL.

UNIVERSIDADE DO MINHO

Dissertação de Mestrado apresentada

como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

ESCOLA DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL – ÁREA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.

SANDRA FILIPA XAVIER DE FREITAS CARVALHO

B.I. nº.11163312 - A.I. de Lisboa

Universidade do Minho, Novembro de 2007

Assinatura : _____

S a n d r a F i l i p a C a r v a l h o

Agradecimentos

Aos meus professores Miguel Ferreira e Pedro Souto.

À Universidade e aos Departamentos de Eng. Civil e Eng. Têxtil.

Família e Amigos.

RESUMO

A partir da constatação no interesse do material madeira por parte da sociedade em geral, bem como das limitações que os métodos actuais de aplicação de cor a este material implicam, iniciou-se um estudo com vista ao desenvolvimento de um processo de produção que permita o fabrico de peças de madeira que possuam não apenas uma superfície colorida, mas uma cor própria e uniforme, em toda a sua massa.

Desde logo, tal processo será susceptível de comercialização no mercado global de conhecimento, através do licenciamento de *know-how*, e permitirá um incremento de competitividade baseada na inovação. Lateralmente, tal poderá contribuir ainda para a valoração a nível das matas e florestas, como espaços de produção, com benefícios óbvios a nível ecológico e económico. Ainda de referir que a eventual implementação industrial do processo de produção aqui preconizado, possibilitaria o aproveitamento dos parques humanos e de equipamento dedicados à indústria têxtil existentes, prenunciando um caminho de reconversão do sector.

Tomou-se como base de trabalho, dados provenientes do processo de impregnação para protecção de madeira, e da química têxtil para tingimento de fibras celulósicas, tendo presente a semelhança da composição química verificada entre o material que compõem a madeira e este tipo de fibras.

Ensaio mostraram que os métodos de obtenção de pressões elevadas baseados na utilização de altas temperaturas, não proporcionavam resultados satisfatórios no material, possibilitando apenas a obtenção de um tom castanho e implicando elevado grau de degradação das características mecânicas do material.

A partir dos dados teóricos fornecidos pela bibliografia e experimentações levadas a cabo, chegou-se a um método que passa pela conjugação das composições químicas dos banhos utilizado no tingimento têxtil com o processo hoje utilizado industrialmente na aplicação em autoclave de tratamentos preservadores da madeira.

Desenvolveu-se e elaborou-se um equipamento experimental que permitiu a execução dos ensaios finais controlando variáveis de pressão e temperatura.

Os resultados obtidos proporcionaram conhecimentos que comprovam a viabilidade de obtenção de uma cor uniforme desde a superfície ao cerne da madeira.

Os resultados abrem perspectivas de um amplo espectro de aplicações, que vão desde o tratamento com tonalidades mais ligeiras, susceptíveis conferir a peças de madeira a aparência de outras de valor comercial mais elevado, até ao tratamento com cores mais garridas, destinado a aplicações mais criativas na área de vários tipos de *design*.

Perspectiva-se também que o processo ensaiado poderá proporcionar em simultâneo uma melhoria do comportamento em serviço dos materiais tratados

ABSTRACT

New demands and an exponentially growing interest in wood as a building material, particularly among architects and designers, are overcoming both the aesthetic and the environmental limitations of today's methods of wood color.

Thus, it is intended that process capable of dying wood. As a result, the wood elements would not only possess a colored surface, but a fully brightened, uniform colour in all its mass. The process intends, simultaneously, to ensure economical viability and not compromise the mechanical performance of the wood.

Proceeding this research to its objective will allow important steps towards the changing of mentalities as people are now more aware of environmental responsibilities regarding the forest, considering it not only as a source of wealth but also of life. Wood construction is everywhere, adaptable to both traditional and contemporary styles of building.

It is also an undisputed reality that the re-conversion of existent textile dying production lines would be proven highly beneficial and provides a hope to a long 'emerged-in-crisis' in the industrial textile area.

Among many known treatments that can be applied to wood, this research is based on know-how provided by wood chemical impregnation and textile dyeing. Prior tests have shown that high temperature pressure methods were of little use toward the desired results, as test pieces proved to be both aesthetically uninteresting and showed signs of heavy mechanical decay. Similarities between the chemical compositions of both wood and several textile fibers has resulted in a research project,

that is based on available dyeing techniques reminiscent of the regional textile dye industry in Cávado and Ave areas.

Several tests performed have shown that the process of combination of wood protection and impregnation methods with dyeing products and the techniques used for cellulose based fibers can be advantageous.

A semi industrial prototype was developed and assembled, allowing us to fulfill our objectives, mainly by testing different dye families for economical and aesthetically satisfying results. Testing ensures that providing an all-mass-colored wood can be accomplished, widening the perspectives of full spectrum colors in various appliances, ranging from lighter colors (providing cheaper wood species similar look to expensive ones), to full, vibrant colors, that are quite sought after in design.

Further more, simply by including known treatment chemicals, mechanical properties might be improved, as well as the resistance to decay, fire, weathering and moisture, providing durability, especially in extensive and prolonged exposure.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	II
IRESUMO.....	V
ABSTRACT.....	VI
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABELAS	XII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO E CONTEXTUALIZAÇÃO.....	2
1.2 OBJECTIVOS.....	7
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	8
2 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS.....	9
2.1 A MADEIRA	9
2.1.1 O USO DA MADEIRA NO DECORRER DA HISTÓRIA	10
2.1.2 ANÁLISE MORFO-BIOLÓGICA DA MADEIRA	25
2.1.2.1 ESTRUTURA AO NÍVEL MACROSCÓPICO	26
2.1.2.2 ESTRUTURA AO NÍVEL MICROSCÓPICO	28
2.1.2.3 ULTRA-ESTRUTURA DA PAREDE CELULAR.....	31
2.1.2.4 ESTRUTURA FÍSICO QUÍMICA	31

2.1.2.5 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS	35
2.2 OS CORANTES.....	46
2.2.1 EVOLUÇÃO DOS CORANTES	46
2.2.2 TEORIA GERAL DA COR.....	48
2.2.3 CORANTES RECOMENDADOS PARA CELULOSE – CORANTES DIRECTOS	52
2.3 METODOLOGIAS DE IMPREGAÇÃO	55
2.3.1 IMPREGAÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA.....	55
2.3.2 O TINGIMENTO	58
2.3.2.1 TEORIA GERAL DO TINGIMENTO	60
2.3.2.2 CINÉTICA DE TINGIMENTO	61
2.3.2.3 TERMODINÂMICA DO TINGIMENTO (FASE DE EQUILÍBRIO).....	62
3 ESTUDOS PRELIMINARES	64
3.1. ENSAIOS PRÉVIOS.....	65
3.1.1 SELECÇÃO DA METODOLOGIA.....	66
3.1.1.1 ENSAIOS PRÉVIOS-FASE 2.....	73
3.1.1.2 ENSAIOS PRÉVIOS-FASE 3.....	74
3.2 DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO EXPERIMENTAL.....	76
3.2.1 APLICAÇÃO DO PROTÓTIPO	79
3.2.1.2 SUBSTRATOS.....	82
3.2.1.3 CORANTES	82
3.2.1.4 AUXILIARES	82
4 ENSAIOS FINAIS - PRÓTOTIPO	83
4.1 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS DE TINGIMENTO.....	83
4.1.1 RESULTADOS E ANÁLISE	85
4.2 VERIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA	90
4.2.1 NORMAS	90
4.2.2 RESUMO DOS ENSAIOS	91
4.2.3 RESULTADOS E ANÁLISE	95
5 CONCLUSÕES	97
6 REFERÊNCIAS.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-Técnica construtiva em "laft"	12
Figura 2-Igreja Borgund, edifício de desenho elaborado, de nave tripla, construída no século XII, não tendo sofrido quaisquer alterações ou reconstruções desde essa altura.	13
Figura 3-Coberturas e paramentos verticais da Igreja Borgund, localizada em Lærdal, Noruega. O desenho da peça de remate da cobertura está presente no brasão do município.	14
Figura 4-Brasão do Município de Lærdal, Noruega.	14
Figura 5-Planos navais de execução desenvolvidos por Chapman em 1768 no seu Architectura Navalis Mercatoria.	15
Figura 6-Base em pedra por forma a evitar o apodrecimento por humidade ascensional.	15
Figura 7-Igreja de Urnes, localizada em Sogn og Fjordane, Noruega. Foi construída, integralmente em madeira durante os séculos 12 e 13.	16
Figura 8-Pormenor da decoração da igreja em Urnes.	16
Figura 9-Caravela Vera Cruz. A Caravela Portuguesa possuía velas triangulares que permitiam contrariar os ventos dominantes.	17
Figura 10-Habitacões piscatórias na Costa Nova, Portugal - "Palheiros".....	18
Figura 11-Embarcações piscatórias utilizados na zona de Aveiro, Portugal.....	18
Figura 12-Emissões de CO ₂ de alguns materiais de construção, durante o seu ciclo de vida.	23
Figura 13-Secção transversal num tronco com gráfico comparativo Comprimento das fibras/Largura do anel/Densidade/Fio.....	27
Figura 14-Estrutura celular típica – Resinosas	29
Figura 15-Estrutura celular típica – Folhosas	30
Figura 16-Unidade celubiósica/Polímero celulósico.....	32
Figura 17-Ábaco de Kollmann.....	37
Figura 18-Músculo humano.....	42
Figura 19-Curva tensão–extensão, em madeira isenta de defeitos, na direcção das fibras (contínuo) e na direcção perpendicular às fibras (a tracejado).	44

Figura 20-Sistema de cores baseado na síntese subtrativa, segundo a qual, a mistura em partes iguais dos três pigmentos primários substrativos (ciano, magenta e amarelo) resulta em preto. .48	48
Figura 21-Espectro de luz visível pelo olho humano (em nanometros).....49	49
Figura 22-O espaço CIELab é tridimensional50	50
Figura 23-O eixo “L” representa a luminosidade e varia de 0 a 100; o eixo “a” varia do verde ao vermelho; o eixo “b” varia do azul ao amarelo50	50
Figura 24-Representação descritiva do círculo cromático CIELab.51	51
Figura 25-Preparação de espécies menos permeáveis através de incisões em série.....55	55
Figura 26-Esquema do tratamento a altas pressões em camara autoclave.....57	57
Figura 27-Fases do Tingimento.61	61
Figura 28-Autoclave "Controls"67	67
Figura 29-Eucalipto após ensaio 15bar–198. 24°C70	70
Figura 30-Eucalipto após ensaio 07bar–164.91°C70	70
Figura 31-Eucalipto após ensaio 15bar–198.24°C70	70
Figura 32-Eucalipto após ensaio 07bar–164.91°C70	70
Figura 33-Eucalipto após ensaio 15bar–198.24°C72	72
Figura 34-Eucalipto após ensaio 07bar–164.91°C72	72
Figura 35-Madeira de choupo73	73
Figura 36-Madeira de pinho73	73
Figura 37-Madeira de cerejeira74	74
Figura 38-Madeira de choupo tingida74	74
Figura 39-Síntese do procedimento de impregnação/tingimento76	76
Figura 40-Representação esquemática do funcionamento do equipamento experimental78	78
Figura 41-Vista geral do equipamento experimental.79	79
Figura 42-Camãra de pressão/vácuo do equipamento experimental79	79
Figura 43-Choupo86	86
Figura 44-Dystar red F-3B.....86	86
Figura 45-Degradeé de Dystar red F-3B em Pinho86	86
Figura 46-Degradeé de Dystar red F-3B.....86	86
Figura 47-Recta de calibração-Dystar red F-3B87	87
Figura 48-Recta de calibração – Dystar yellow K-CF88	88
Figura 49-Gráfico recta de calibração – Dystar blue K-CFN89	89
Figura 50-Prensa mecânica.93	93
Figura 51-Prensa mecânica.94	94
Figura 52-Representação esquemática do fenómeno de flexão.94	94

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1-Comparação entre valores médios para a madeira, betão e aço [17].....	24
Tabela 2-Composição química típica da madeira.....	26
Tabela 3-Composição elementar da madeira [5].....	32
Tabela 4-Cronologia de inovações principais, ocorridas desde a síntese da malveína.....	47
Tabela 5-Procedimento típico de impregnação a altas pressões em postes em pinho marítimo.....	56
Tabela 6-Medição manual de Pressão/Temperatura.....	67
Tabela 7-Espécies comuns no mercado português.....	69
Tabela 8-Resultados dos ensaios da fase 1.....	69
Tabela 9-Resultados dos ensaios fase 2.....	71
Tabela 10-Dados Colorimétricos da amostra inicial de madeira.....	75
Tabela 11-Dados Colorimétricos da amostra tingida com corantes directos (exterior).....	75
Tabela 12-Dados Colorimétricos da amostra tingida com corantes directos (interior).....	75
Tabela 13-Dados Colorimétricos da amostra tingida com corantes dispersos (interior).....	75
Tabela 14-Espécies ensaiadas.....	80
Tabela 15-Ensaio de tingimento realizados.....	81
Tabela 16- Receitas utilizadas para os ensaios de tingimento.....	84
Tabela 17-Resultados obtidos.....	85
Tabela 18-Quantidade de corante remanescente nas diferentes concentrações.....	87
Tabela 19-Quantidade de corante retido nos provetes.....	88
Tabela 20-Quantidade de corante retido nos provetes.....	88
Tabela 21-Quantidade de corante retido nos provetes.....	88
Tabela 22-Quantidade de corante retido nos provetes.....	89
Tabela 23-Quantidade de corante retido nos provetes.....	89