



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil



Avaliação da Eficácia de Produtos Inovadores de Proteção da Madeira para Exteriores

RAQUEL SUSANA ROBERTO LEITÃO

(Licenciada em Engenharia Civil)

Trabalho de Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Civil na Área de Especialização em Edificações

Orientador (es):

Doutora Maria Dulce e Silva Franco Henriques, Professora Adjunta (ISEL)

Doutora Ana Cristina Borges de Azevedo, Professora Adjunta (ISEL)

Júri:

Doutora Maria Dulce e Silva Franco Henriques, Professora Adjunta (ISEL)

Mestre Manuel Brazão de Castro Farinha, Professor Adjunto (ISEL)

Doutor Pedro Raposeiro Silva, Eq. Assistente 2ºT (ISEL)

Fevereiro de 2015

*"A boa madeira não cresce com o sossego;
Quanto mais forte o vento, mais fortes as árvores."*

- J. Willard Marriott

Resumo

Nesta dissertação procurou-se comparar os desempenhos de três produtos de proteção da madeira quando expostos a várias condições de degradação. Tendo em consideração a grande quantidade de variáveis quando se faz este tipo de estudos, tentou-se controlar o maior número possível destas, de modo a permitir a comparação com outros estudos que venham a ser feitos futuramente.

O objetivo a longo prazo é a contribuição desta dissertação para um conjunto de resultados cada vez mais abrangente, facilitando a escolha do utilizador, quando pretender proteger a madeira das agressões exteriores com este tipo de produtos.

A principal conclusão nesta dissertação é que a agressividade do meio tem um papel determinante para os resultados obtidos, bem como as condições de inclinação e orientação da madeira. Situações de má selagem de topos ou não consideração da presença agentes biológicos são outros dois fatores que influenciam a durabilidade da construção.

Finalmente, concluiu-se que não existem soluções únicas, tendo que se estudar caso a caso, quais as condições exatas de exposição, de forma a escolher o produto, ou produtos, mais adequados.

Palavras-chave: Madeira, Acabamentos, Proteção, Durabilidade, Velaturas, Ensaio de Karsten, Perda de Massa, Degradação por Fungos, Degradação Física, Degradação Ambiental, Produtos Protetores e Decorativos

Abstract

In this thesis it was compared the performances of three wood protection products when exposed to various conditions of degradation. Given the large number of variables when doing this type of study, it was attempted to control as many as possible in order to allow comparison with other studies that may be developed in the future.

The long-term goal of this work is contributing for the creation of a network of results, increasingly comprehensive, facilitating the user's choice, when protecting the wood with this type of products from environmental aggressions.

The main conclusion of this thesis is that the aggressiveness of the site has a decisive role in the results obtained as well as the incline conditions and orientation of the wood. Situations like poor sealing of tops or no consideration of the biological agents are two other factors that influence the durability of the construction.

Finally, it has been found that there is no definitive solutions, being necessary to consider each case as it's one and the exact exposure conditions in order to select the product or products, more adequate to that particular situation.

Keywords: Wood, Finishing, Protection, Durability, Lasur, Karsten Test, Mass Loss, Fungi Degradation, Physical Degradation, Environmental Degradation, Decorative and protective products

Agradecimentos

Findo este trabalho, também ele sinal do fim do meu percurso académico, aqui ficam os agradecimentos a quem de direito, sem os quais toda esta experiência não teria sido igual.

Antes de mais, dirigir-me a todas as pessoas que me ajudaram na concretização desta dissertação, cujo apoio foi incalculável.

Em primeiro lugar, deixar uma nota às minhas orientadoras Engenheira Dulce Henriques e Engenheira Cristina Azevedo, agradecendo o apoio e disponibilidade prestadas ao longo de todos estes meses de trabalho. Todos os conselhos e sugestões foram recebidas com apreço e cuja convivência e conhecimento transmitido me fez aprender bastante, muito além da área da Engenharia Civil.

Em seguida à família Gonçalves, à família Roberto, e ao senhor Martins, pela cedência dos locais de exposição dos painéis. Sem eles, não seria possível a concretização deste trabalho.

Uma palavra de apreço a toda a minha família, pelo apoio incondicional e motivação ao longo de todo o meu percurso académico, em especial à minha mãe Regina, pelas sempre sábias palavras de conforto e apoio, e ao meu pai Rui, por toda a ajuda, particularmente na fase de montagem e colocação do painéis nos locais de exposição. As ideias pertinentes, perspicácia e atitude pró-ativa são características que espero um dia dominar como tu. Obrigada.

Queria deixar também um agradecimento ao técnico do Laboratório de Materiais de Construção do Instituto (LMC-ISEL), António Fernandes pela ajuda e material dispensado, e ao meu colega André Neves, pelo apoio prestado sempre que precisei.

Não podia deixar de agradecer também ao Duarte Silva, pela troca de ideias, palavras de suporte e especialmente companhia, durante a fase de ensaios laboratoriais. Tornaste tudo um pouco mais fácil.

Deixo também uma nota especial aos meus colegas João Miranda e Sara Amaral pela camaradagem e trabalho em equipa durante estes anos enquanto aluna deste instituto. Finalmente, e não poderia deixar de ser, o meu muito obrigada à Mariana Simarro, meu grande apoio durante grande parte do meu percurso académico, por todas as horas de estudo, de trabalhos, de companheirismo e amizade.

ÍNDICE

1.	Introdução.....	1
1.1.	Enquadramento geral	1
1.2.	Objetivos.....	5
1.3.	Metodologia e estrutura da dissertação.....	6
2.	A Madeira como elemento construtivo	9
2.1.	A fisiologia da madeira.....	9
2.1.1.	Introdução.....	9
2.1.2.	O crescimento das árvores exógenas	10
2.1.3.	Constituintes do lenho	13
2.2.	Características da madeira	13
2.2.1.	Características genéricas.....	14
2.2.2.	Defeitos.....	14
2.2.3.	Propriedades físicas da madeira	15
2.3.	Paredes exteriores	18
2.3.1.	A utilização de madeira nas fachadas.....	19
2.3.2.	Fatores que contribuem para a degradação das fachadas	22
2.3.3.	Manutenção exterior	23
2.4.	O envelhecimento da madeira.....	24
2.4.1.	Desgaste mecânico	25
2.4.2.	Degradação física	25
2.4.3.	Degradação química	29
2.4.4.	Degradação biológica	30
2.4.5.	Prevenção, controlo e conservação.....	37
3.	Revestimentos Decorativos, Protetores e Preservadores.....	39
3.1.	Introdução	39

Avaliação da Eficácia de Produtos Inovadores
de Proteção da Madeira para Exteriores

3.1.1.	Características gerais dos produtos.....	40
3.1.2.	Causas da deterioração e considerações para pré-tratamento da madeira	42
3.1.3.	O tratamento da madeira.....	43
3.1.4.	Manutenção	45
3.2.	Revestimento decorativo e protetor	46
3.2.1.	Tipologia dos produtos	47
3.3.	Tratamento preservador	51
3.3.1.	Fatores que afetam o tratamento preservador.....	51
4.	Campanha Experimental.....	53
4.1.	Materiais	53
4.1.1.	Provetes	53
4.1.2.	Produtos.....	57
4.1.3.	Conclusões preliminares.....	61
4.2.	Métodos	62
4.2.1.	Degradação natural.....	62
4.2.2.	Degradação laboratorial.....	69
4.2.3.	Ensaio de avaliação	72
4.3.	Resultados obtidos	80
4.3.1.	Provetes antes da exposição	81
4.3.2.	Provetes após exposição	82
4.3.3.	Provetes após ensaios	83
5.	Considerações finais e de desenvolvimento futuro	95
5.1.	Considerações Finais	95
5.2.	Considerações de desenvolvimento futuro	106
	Referências Bibliográficas e Bibliografia.....	109
	Referências Normativas.....	113

Índice de Figuras

Capítulo 1 - Introdução

Figura 1.1 - Exemplos de aplicação de nanomateriais numa casa típica (tradução do catálogo da NanoPhos).....	4
Figura 1.2 - Organigrama de trabalho	6

Capítulo 2 - A Madeira como elemento construtivo

Figura 2.1 - Representação das diferentes partes da madeira. (Franco, 2008).....	11
Figura 2.2 - Corte transversal de uma peça de madeira onde é possível ver os anéis de crescimento.....	12
Figura 2.3 - Planos da madeira	12
Figura 2.4 - Exemplo da composição química da madeira (valores variáveis).....	13
Figura 2.5 - Exemplos de soluções de edifícios com elementos de madeira	19
Figura 2.6 - Representação das dimensões e encaixe das lâminas de madeira	20
Figura 2.7 - Exemplo de um edifício em troncos maciços de madeira	20
Figura 2.8 - Soluções construtivas para revestimento exterior em lâminas de madeira natural. Mascarenhas, J. (2010).....	21
Figura 2.9 - Disposição das lâminas de madeira natural. Mascarenhas, J. (2010).....	22
Figura 2.10 - Modelo de degradação da madeira por agentes atmosféricos.....	26
Figura 2.11 - Empeno de uma peça de madeira pela presença de humidade excessiva	27
Figura 2.12 - Efeito da degradação de um edifício de madeira em função da agressividade do meio	27
Figura 2.13 - Exemplo dos efeitos dos raios UV (Madeira não tratada - 6 meses de exposição. A1 - Em ambiente salino. A2 - Em ambiente de grande amplitude térmica)28	
Figura 2.14 - Pormenor de uma viga infestada por caruncho.....	36

Capítulo 3 - Revestimentos Decorativos Protetores e Preservadores

Figura 3.1 - Aplicação de velaturas. <i>Adaptação de Cruz et al. (1997)</i>	50
Figura 3.2 - Tipos de penetração do produto preservador na madeira. (Mendes <i>et al.</i> , 1988).....	52

Capítulo 4 - Campanha Experimental

Figura 4.1 - Dimensões dos provetes	53
Figura 4.2 - Agrupamento de provetes	54
Figura 4.3 - Preparação dos provetes	55
Figura 4.4 - Determinação do teor em água dos provetes	56
Figura 4.5 - Exemplo do processo de pintura dos provetes de acabamento acetinado. a) sem pintura; b) Primeira demão (fresco); c) Primeira demão (seco); d) Segunda demão (seco)	61
Figura 4.6 - Localização do ambiente salino escolhido - Ericeira. (Google Maps)	64
Figura 4.7 - Localização do ambiente poluente escolhido - Lisboa. (http://solbel.pai.pt-esq. ; Google Maps - dta.).....	64
Figura 4.8 - Localização do ambiente de amplitude térmica elevada escolhido - Montalvão. (Google Maps).....	64
Figura 4.9 - Dimensões dos painéis.....	65
Figura 4.10 - Montagem dos painéis	65
Figura 4.11 - Colocação do painel na Ericeira (AS).....	66
Figura 4.12 - Colocação do painel em Montalvão (Al).....	67
Figura 4.13 - Colocação do painel em Lisboa (Lx)	67
Figura 4.14 - Painel da Ericeira (ao fim de seis meses)	68
Figura 4.15 - Painel de Montalvão (ao fim de seis meses).....	68
Figura 4.16 - Painel de Lisboa (ao fim de cinco meses)	69
Figura 4.17 - Procedimento para degradação laboratorial.....	71
Figura 4.18 - Recolha dos provetes de degradação laboratorial.....	72
Figura 4.19 - Brilhómetro e seu funcionamento (http://www.pce-medidores.com.pt/)	73
Figura 4.20 - Gradação da cor	73
Figura 4.21 - Alteração da cor do produto Madex - Mx. a) Não degradado; b) Lisboa - Lx; c) Ericeira - AS d) Alentejo - Al; e) Terra Laboratorial - TL	74
Figura 4.22 - Filamentos superficiais de fungos de podridão.....	75
Figura 4.23 - Avaliação da percentagem de fissuras	76
Figura 4.24 - Padrão de aparecimento de fissuras. a) Antes da degradação; b) Depois da degradação	76
Figura 4.25 - Tubo de <i>Karsten</i>	78

Figura 4.26 - Equipamento de ensaio	79
Figura 4.27- Ensaio de Karsten	80
Figura 4.28 - Comparação de produtos	81
Figura 4.29 - Comparação expedita da impermeabilização à água	81
Figura 4.30 - a) Deformação do provete após imersão em água; b) Presença de organismos após exposição	83
Figura 4.31 - Resultados do estudo do brilho	84
Figura 4.32 - Resultados do estudo da cor.....	85
Figura 4.33 - Resultados da perda de revestimento.....	86
Figura 4.34 - Resultados do estudo do desenvolvimento de manchas	88
Figura 4.35 - Resultados do estudo do desenvolvimento de fissuras	89
Figura 4.36 - Resultados do estudo da perda de massa teórica	90
Figura 4.37 - Resultados do ensaio de Karsten. Ambiente EL.....	92
Figura 4.38 - Resultados do ensaio de Karsten. Controlo - Ct.....	92
Figura 4.39 - Resultados do ensaio de Karsten. SurfaPore W - Sp.....	93
Figura 4.40 - Resultados do ensaio de Karsten. Ambiente TL. Produtos Ct e Sp.....	93
Figura 4.41 - Resultados do ensaio de Karsten. Madex - Mx	94
Figura IV.43 - Resultados do ensaio de Karsten. Bondex - Bx.....	94

Capítulo 5 - Considerações Finais e de Desenvolvimento Futuro

Figura 5.1 - Resultado da pressão exercida pelo tubo de Karsten ao produto SurfaPore W	104
--	-----

Índice de Quadros

Capítulo 2 - A Madeira como elemento construtivo

Quadro 2.1 - Classes de risco de aplicação de madeira maciça (Adaptação de NP EN 355-2)	31
---	----

Capítulo 4 - Campanha Experimental

Quadro 4.1 - Caracterização dos produtos de proteção utilizados	60
Quadro 4.2 - Composição da mistura de terra utilizada	70

Capítulo 5 - Considerações Finais e de Desenvolvimento Futuro

Quadro 5.1 - Quadro resumo das conclusões obtidas.....	105
--	-----

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento geral

Na Engenharia Civil, existem materiais já utilizados para a construção desde os primórdios e cujo desempenho está amplamente estudado, como é o caso da madeira, sendo dos materiais de construção com maior valor estético, pelas suas características naturais, que dão aos espaços um ambiente acolhedor.

A madeira é um material natural de origem biológica (Cruz *et al.*, 2012), incluído num conjunto de materiais considerados eco-eficientes, contribuindo para a construção sustentável uma vez que é "*um recurso renovável, reutilizável e reciclável, associado a um processo de transformação de baixo consumo energético relativamente a outros materiais, tais como o betão e o aço*" (Pala, 2007).

No entanto, quando o material é aplicado no exterior, e exposto aos agentes atmosféricos (principalmente a radiação solar e a chuva), começam a ser visíveis os efeitos negativos na madeira, envelhecendo e degradando a superfície tornando imperativa a sua proteção a estas ações.

Como se explica ao longo deste trabalho, o envelhecimento deve-se em grande parte à radiação emitida pelo Sol, provocando alterações das propriedades químicas da lenhina, com a gradual destruição da sua cadeia polimérica, ocorrendo perda de extrativos solúveis em água e o seu conseqüente arrastamento. A exposição prolongada do material aos agentes atmosféricos leva à descoloração, não só pela perda da cor natural da madeira, mas também pela acumulação de sujidade, e ainda ao eventual crescimento de fungos na sua superfície (Cruz *et al.*, 1997).

Outro fator a ter em consideração são as repetições de ciclos de humedecimento e secagem da madeira aliadas a variações de temperatura e condições do ar ambiente, que provocam dilatações e retrações no material e levam à abertura de fendas. Uma vez abertas, as camadas mais profundas da madeira, até aí protegidas, passam a estar expostas aos agentes atmosféricos referidos (Cruz *et al.*, 1997), perpetuando um quadro de degradação da madeira até à sua inutilidade.

Para evitar esta situação, devem ser escolhidas espécies de madeira com durabilidades naturais adequadas à utilização pretendida, ou protegê-la com produtos adequados (NP EN 460:1995) de modo a preservar não só as suas características fundamentais, em termos de durabilidade, mas também as suas características estéticas (Cruz *et al.*, 1997).

Esta problemática da escolha da espécie de madeira mais adequada bem como do método mais eficaz de proteção com vista ao prolongamento da sua vida útil é um campo que tem evoluído bastante ao longo dos últimos anos não só pelos métodos de proteção, preservação e tratamento, mas também com uma maior preocupação no que toca ao impacto que estes têm no ambiente e para o homem (Cruz *et al.*, 2012).

Assim, ao colocar a madeira em serviço, a forma mais efetiva de conseguir a sua conservação é tomando uma ação preventiva, implicando a estimativa de riscos de ataque, a definição da espécie de madeira mais adequada e a correta proteção contra as infeções e infestações previsíveis, conservando a sua durabilidade natural (Pala, 2007).

Sendo a madeira um material natural, muito há a dizer acerca da sua produção, da sua importância como material de construção no passado, do seu interesse em termos de impacto ambiental, bem como do seu valor para as construções e para a Engenharia Civil no âmbito da sustentabilidade (Cruz *et al.*, 2012), sendo alguns destes temas objeto de análise ao longo da dissertação. No entanto, apesar da sua importância histórica, é necessário que haja evolução da indústria de forma a manter a madeira como um material atrativo, sustentável e competitivo, equiparando-a a outros materiais de construção em aspetos como o conforto, a durabilidade e o seu custo de aplicação e manutenção.

É por isso imprescindível a definição de linhas orientadoras que auxiliem no processo de seleção da madeira e sua aplicação na construção civil, enquadradas sempre que possível pelos documentos normativos aplicáveis (Cruz *et al.*, 2012).

A tipificação da durabilidade natural da madeira bem como dos métodos protetores e preservadores mais adequados é muito difícil pela grande quantidade de variáveis, na sua grande maioria não controláveis, como o local de exposição, a espécie de madeira, o elemento construtivo em causa, a classe de risco e muitas outras sobre as quais se fala nos capítulos seguintes. Estas produzem diferentes efeitos, originando um largo leque de resultados de comparação limitada. Ainda assim, esta é uma temática de

grande interesse pelo que alguns investigadores têm feito um esforço no sentido de agrupar informações como é o caso de Cruz *et al.* (1997), Pala (2007), Nunes (2010), Santos & Duarte (2013), Henriques (2011), entre outros.

Outro tema explorado neste trabalho envolve a entrada da nanotecnologia nos materiais de construção. Apesar da preservação da madeira através de tratamento superficial já ser uma realidade há muitos anos, existe atualmente uma preocupação em incorporar na madeira novas tecnologias que melhorem o seu desempenho a vários níveis, como por exemplo quanto à sua impermeabilidade, resistência mecânica ou ao fogo, sem que haja, tanto quanto possível, alteração no seu aspeto original. É neste contexto que surge o conceito de produto inovador, na forma da nanotecnologia, que envolve a exploração de materiais à escala nanométrica, desde o seu design à sua manipulação. (The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, 2004).

Por nanotecnologia entende-se “*a ação de projectar, caracterizar, produzir e aplicar estruturas, dispositivos e sistemas através do controlo da forma e dimensão, a uma escala nanométrica*” (Paramés, 2008).

A escala nanométrica com aplicabilidade para a engenharia civil está compreendida entre os 1nm¹ e 100 nm de tamanho, sendo que um nanómetro tem as seguintes características (Bordado, 2014; Paramés, 2008; Hernández, 2008):

- Muito elevada área superficial;
- Elevada reatividade, podendo ser utilizados como catalisadores em reações químicas
- Comportamento bi-dimensional: não tem praticamente volume e apenas área;
- Altera a resistência mecânica dos materiais;
- A nanopartícula é muito deformável porque tem muito poucos átomos.

No campo da engenharia civil, a nanotecnologia é uma ciência limitada, especialmente em comparação com outras como a eletrónica ou a biomedicina. Ainda assim, os desenvolvimentos neste campo são muito pertinentes para a área da construção principalmente no que toca às questões ambientais, de sustentabilidade e eficiência energética, uma vez que as limitações de alguns dos materiais de construção

¹ Nanómetro. 1nm = 1x10⁻⁹m

atuais podem ser eliminadas com a introdução da nanotecnologia como potenciadora de novos produtos e possibilidades de construção (Apud Broeckhuizen *et al.*, 2009)

A aplicabilidade desta tecnologia nas diversas sub-áreas do sector da construção é muito vasta, englobando janelas, paredes, revestimentos de paredes, telhas e portas, entre outras (**Figura 1.1**). Deste modo, foram ao longo dos anos desenvolvidas algumas categorias de materiais de construção com base nanotecnológica: cimento e argamassas, revestimentos e tintas, materiais para isolamento térmico e para energias renováveis solares de tipologia fotovoltaica. Nesta dissertação são estudados os produtos que protejam a madeira, pelo que será dado enfoque ao grupo dos revestimentos e tintas.

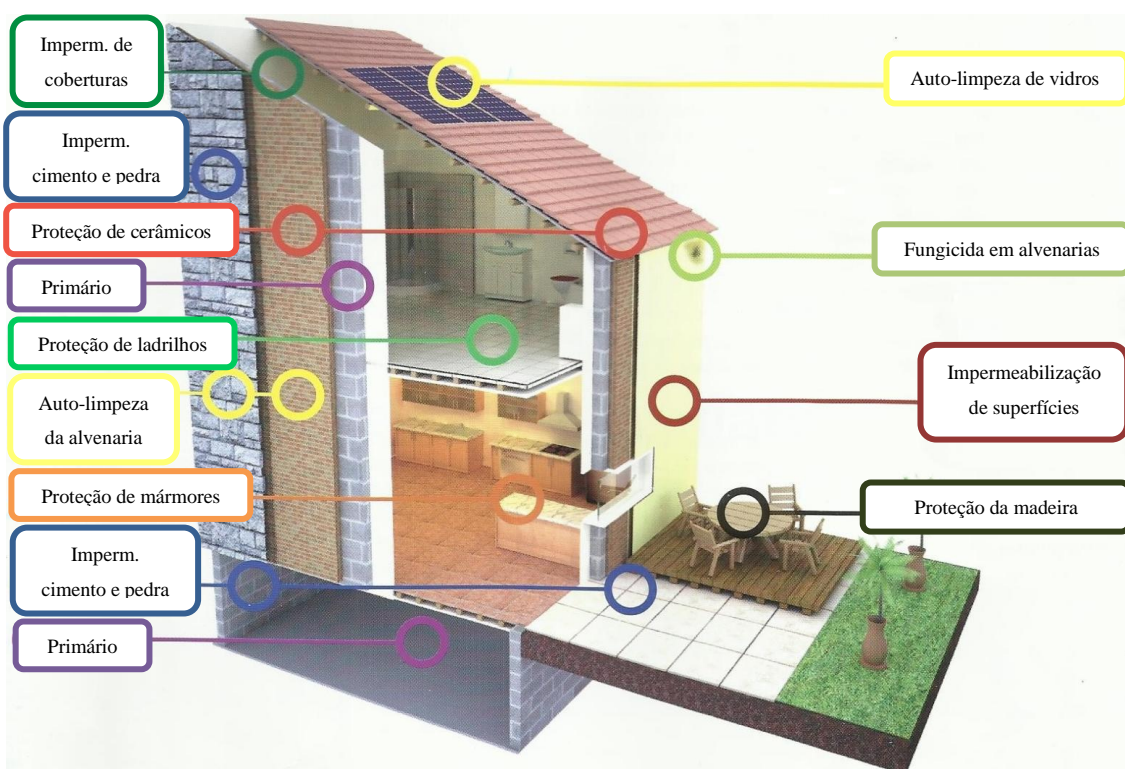


Figura 1.1 - Exemplos de aplicação de nanomateriais numa casa típica (tradução do catálogo da NanoPhos)

1.2. Objetivos

O objetivo principal deste Trabalho de Dissertação é o estudo do comportamento da madeira utilizada como revestimento exterior, sujeita a agentes agressivos (intempérie e fungos), quando impregnada com diferentes produtos protetores. Pretende-se ainda avaliar a eficácia de vários tipos de produtos protetores, destacando as suas diferenças e comparando o seus resultados face a um leque de variáveis.

A avaliação é feita sob o ponto de vista da alteração das propriedades físico-mecânicas da madeira, correlacionando não só o produto protetor mas também a tipologia de degradação, através de ensaios não destrutivos e destrutivos.

Sequencialmente, este estudo inclui:

1. Levantamento do estado do conhecimento relativo às características físico-mecânicas do abeto, técnicas comuns de construção, tipologias de degradação da madeira e respetivas causas.
2. Identificação de soluções comerciais atualmente em uso. Seleção e avaliação de três produtos de proteção.
3. Estabelecimento de locais para o estudo *in situ* (degradação natural).
4. Degradação laboratorial de provetes para ensaio.
5. Degradação natural (*in situ*) de provetes para ensaio.
6. Ensaio dos provetes e tratamento dos resultados obtidos.
7. Estudo da relação entre ensaios de laboratório e ensaios *in situ* (degradação natural).
8. Estabelecimento do tratamento mais adequado e sistematização das ações.

Este trabalho baseia-se numa componente experimental, ensaiando provetes em ambientes controlados, e em ambientes de exposição natural (*in situ*), com provetes colocados em locais previamente escolhidos, no exterior, assemelhando-se à exposição real.

Para melhor compreender os procedimentos envolvidos na elaboração deste trabalho construiu-se um organigrama como se apresenta na **Figura 1.2**.

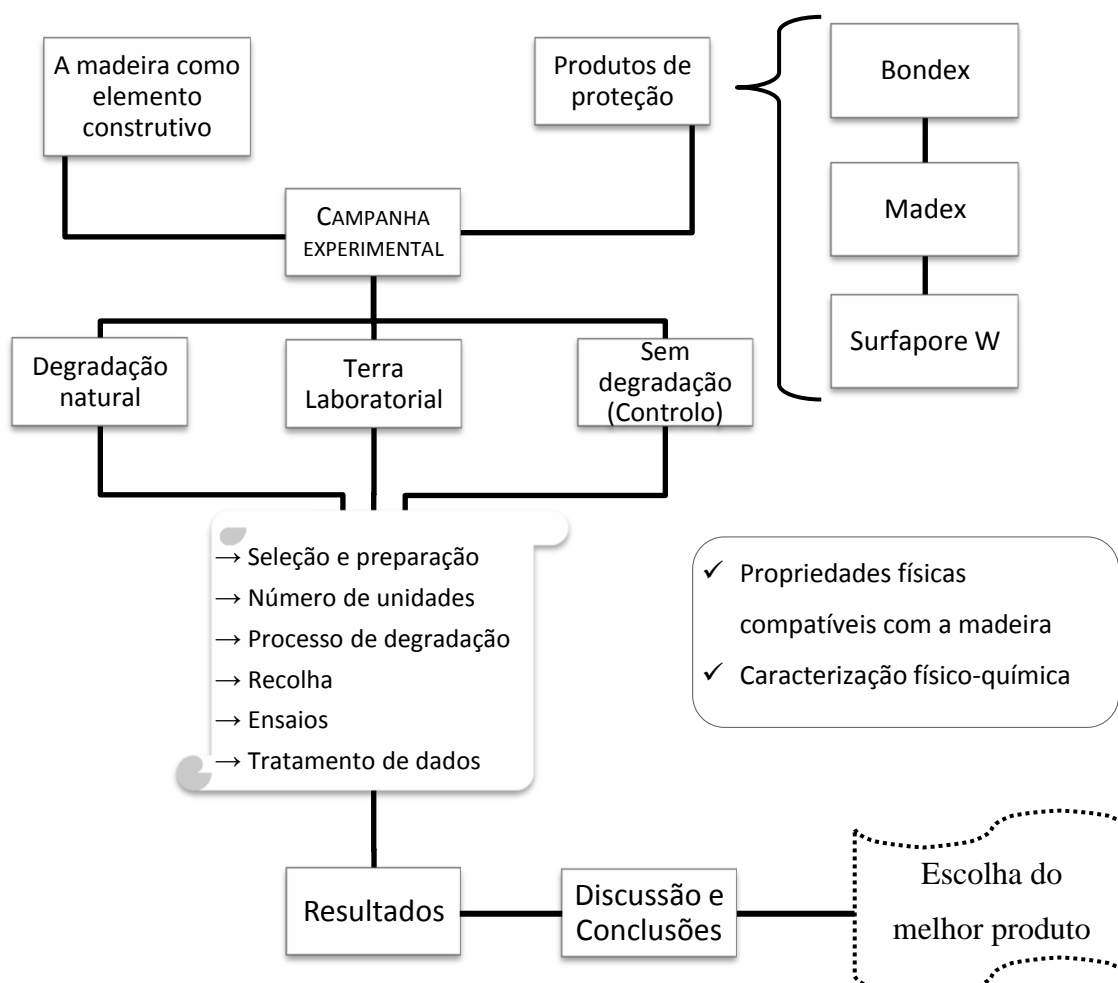


Figura 1.2 - Organograma de trabalho

1.3. Metodologia e estrutura da dissertação

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

Neste capítulo é feita a introdução e enquadramento da temática da dissertação, indicando os princípios gerais relacionados com o tema, referindo a importância da escolha do produto de proteção mais adequado face às características e condições de exposição de cada situação particular numa construção onde se pretenda a utilização de madeira como revestimento exterior. É ainda feita a apresentação dos pressupostos que envolvem a tese, bem como a apresentação da sua estrutura.

CAPÍTULO 2: A MADEIRA COMO ELEMENTO CONSTRUTIVO

O segundo capítulo apresenta as definições relevantes para compreensão da madeira como elemento construtivo: a sua fisiologia, as suas características principais e os processos de transformação que possibilitam a sua aplicação em obra. Numa segunda fase, tratando-se da aplicação da madeira no exterior, faz-se uma breve exposição sobre a tipologia de soluções associadas ao revestimento das fachadas dos edifícios com peças de madeira e suas características intrínsecas. Finalmente, exploram-se os tipos de degradação da madeira, os agentes envolvidos, efeitos na integridade da madeira, e a forma de o evitar em madeira não tratada.

CAPÍTULO 3: REVESTIMENTO POR PINTURA

É neste capítulo que se analisam as características gerais dos diferentes tipos de revestimentos por pintura, fazendo a distinção entre tratamento decorativo e protetor de tratamento preservador. São indicadas as características gerais de cada tipo de tratamento, condições de aplicabilidade, pontos fortes e fracos e métodos de manutenção.

CAPÍTULO 4: CAMPANHA EXPERIMENTAL

No quarto capítulo é apresentado o trabalho experimental desenvolvido. São indicadas as razões de escolha da espécie de madeira a ensaiar, dos métodos e locais de degradação definidos bem como os produtos protetores testados. É também descrito todo o processo, desde a preparação das amostras, processo de degradação *per si*, ensaios realizados, tratamento de dados e resultados daí obtidos.

CAPÍTULO 5: CONSIDERAÇÕES FINAIS

O quinto e último capítulo é reservado às conclusões, bem como à revisão dos objetivos definidos em comparação com as metas atingidas. São ainda apontados estudos de investigação e desenvolvimento futuro do trabalho que aqui foi desenvolvido.

2. A MADEIRA COMO ELEMENTO CONSTRUTIVO

2.1. A fisiologia da madeira

2.1.1. Introdução

Cruz *et al.* (2012), define a madeira como sendo "*um material compósito natural de origem biológica, formado por uma matéria heterogénea e anisotrópica elaborada por um organismo vivo, que é a árvore*".

Na conjectura atual onde a gestão de recursos é um factor determinante para a minimização de consumos desnecessários, bem como a diminuição de custos de exploração, a madeira surge como um material bastante atrativo pois, segundo Pala (2007) "*integra-se num conjunto de materiais, denominados eco-eficientes, que contribui para a construção sustentável*", como recurso renovável que é e tendo em consideração o seu baixo consumo energético durante o processo de transformação, especialmente quando comparado com outros materiais basilares na área da Engenharia Civil, como o betão ou o aço.

A madeira é considerada por muitos autores como um material bastante resistente, recomendando a sua utilização mesmo em ambientes agressivos, como é o caso de estruturas de piscinas ou estruturas junto ao mar, sem que seja necessário tomar medidas especiais de proteção ou manutenção (Cruz *et al.* 2012), desde que escolhida uma espécie de madeira com durabilidade natural adequada ou seja feita a sua proteção superficial com produtos adequados.

Sendo este um material versátil, muito há a dizer acerca das suas características e propriedades, bem como sobre o seu desempenho face às várias agressões (§2.4) a que está sujeito quando aplicado como material de construção. Ainda assim, este trabalho centra-se no resultado que as agressões têm sobre o revestimento protetor (§3) aplicado sobre a madeira, e não nesta em si mesma, uma vez que a curto prazo (ou seja se a escolha e manutenção do revestimento escolhido for devidamente respeitada) não é expectável que as propriedades físicas da madeira sejam drasticamente alteradas (Cruz *et al.* 2012).

Assim, optou-se por fazer referência às características gerais da madeira, sendo que vários autores já têm este tema largamente explorado e estudado mais profundamente como Carvalho (1996), Cruz *et al.* (2012), Fonseca & Lousada (2000), Henriques (2011), Machado (2004) entre muitos outros, cuja contribuição e interesse é notória, no entanto sai fora do âmbito desta dissertação.

Essencialmente, podem as árvores classificar-se em dois grandes grupos: as folhosas e as resinosas. As primeiras são de crescimento lento e folha caduca, o que origina madeiras mais duras. As resinosas, por outro lado, sendo de crescimento mais rápido e folha perene, originam madeiras macias (Pala, 2007), ou seja, a sua divisão prende-se com a organização atômica do lenho que compõe a madeira (Henriques, 2011).

Como exemplos de espécies resinosas temos o pinheiro, o abeto e o cedro. Como espécies folhosas: o carvalho, o castanheiro, a faia, o eucalipto, bem como a generalidade das espécies utilizadas na construção (Cruz *et al.*, 2012).

Pela existência de muitas espécies florestais, além das variabilidades já referidas, existem também muitas diferenças em termos da sua cor, leveza, resistência e durabilidade. Assim, além do nome comercial e da origem geográfica da madeira, deve também ser incluída a sua designação botânica da espécie florestal (Cruz *et al.*, 2012).

A presente tese refere-se a madeiras de várias espécies cuja identificação minuciosa foi impossível, por falta de informação clara por parte do fabricante, pensando-se que a maioria seja abeto, ou seja proveniente de árvores resinosas da família *Pinacea*.

2.1.2. O crescimento das árvores exógenas

O crescimento da árvore resulta num aumento de diâmetro, pela adição de novas camadas de células. Num estágio inicial, essa nova camada (borne) é composta por células vivas, com a função de transporte da seiva para alimentação da árvore. Com o processo de crescimento novas camadas se vão formando à mesma velocidade que as camadas existentes vão ficando inativas, servindo apenas como suporte da árvore, dando-se a alteração do borne para o cerne (AITC, 1994; Cruz *et al.*, 2012).

A secção transversal do tronco de uma árvore permite distinguir as seguintes partes bem caracterizadas (**Figura 2.1**) (Branco, 1993; Pala, 2007):

- *Medula*: miolo central, mole e composto por tecido esponjoso de cor escura. Não tem resistência mecânica e decompõe-se rapidamente;
- *Casca*: também denominado córtex, protege a árvore contra os agentes externos. É constituída por duas camadas: a cortical, formada por tecidos mortos e uma camada interna mole e húmida, que é o núcleo da seiva elaborada. Esta parte é eliminada no aproveitamento do lenho;
- *Câmbio*: camada invisível a olho nu, situada entre a casca e o lenho, formada por tecido merismático (células em reprodução), sendo nesta zona que crescem novas camadas de células. A cada camada formada anualmente dá-se o nome de anel de crescimento;
- *Lenho*: que constitui a parte mais resistente da árvore. Compreende o cerne, formado por células mortas e que tem como função resistir aos esforços externos, e o borne, formado por células vivas, que além da função resistente, é veículo da seiva ascendente. É a alteração do borne que vai formando o cerne.
- *Raios medulares*: que ligam os diferentes anéis entre si e têm a função de transportar a seiva. Pelo seu efeito de amarração transversal inibem em parte a retratilidade devida a variações de humidade.

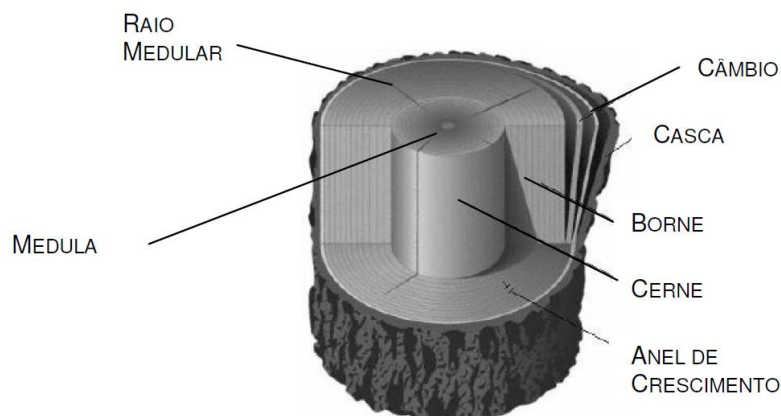


Figura 2.1 - Representação das diferentes partes da madeira. (Franco, 2008)

É ainda de notar que as camadas de crescimento são mais ou menos visíveis consoante as condições climáticas ao longo do ano e a região de crescimento da árvore (Carvalho, 1996). A diferença de coloração entre o cerne e o borne, que depende da

espécie de madeira, deve-se ao seu período de crescimento, pelas diferenças de calibre das células e de espessura das respectivas paredes (Cruz *et al.*, 2012). Na Primavera ou início do Verão (que corresponde ao início do ciclo de crescimento), os anéis de crescimento gerados são maiores e de coloração clara, uma vez que formam o lenho inicial, com células de grande largura e paredes finas, tendo assim maior capacidade de transporte de água e nutrientes. Já os anéis formados no fim de ciclo de crescimento (fim de Verão e Outono) são menores e mais escuros, por gradual espessamento das paredes das células, uma vez que as necessidades de água são menores que no primeiro caso (**Figura 2.2**) (Henriques, 2011).

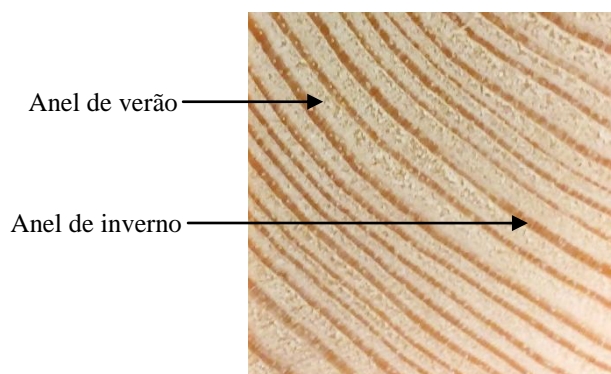


Figura 2.2 - Corte transversal de uma peça de madeira onde é possível ver os anéis de crescimento

O crescimento da árvore conduz a uma simetria axial e uma direção predominante das células que constituem o lenho. Isto resulta numa anisotropia nas propriedades físicas e mecânicas da madeira (Cruz *et al.*, 2012), pelo que são normalmente indicadas as direções da **Figura 2.3**.

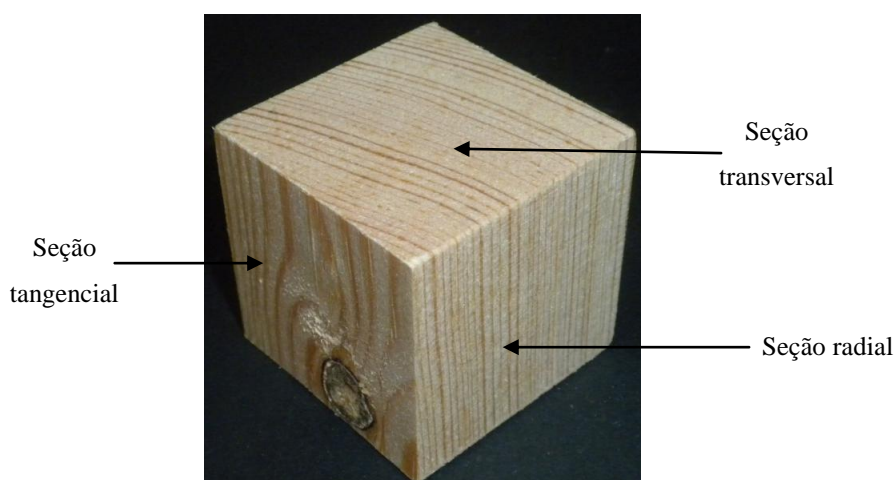


Figura 2.3 - Planos da madeira

2.1.3. Constituintes do lenho

A madeira é um material orgânico constituído principalmente por celulose, lenhina, hemicelulose, extrativos e outros (**Figura 2.4**). A celulose constitui as paredes celulares, de elevada resistência à tração (Henriques, 2011), sendo o principal composto, em massa, da substância da madeira. A lenhina serve como elemento de união entre as células referidas (AITC, 1994), conferindo rigidez e dureza às paredes celulares, tendo ainda um papel determinante na durabilidade natural da madeira (Henriques, 2011; Pala, 2007).

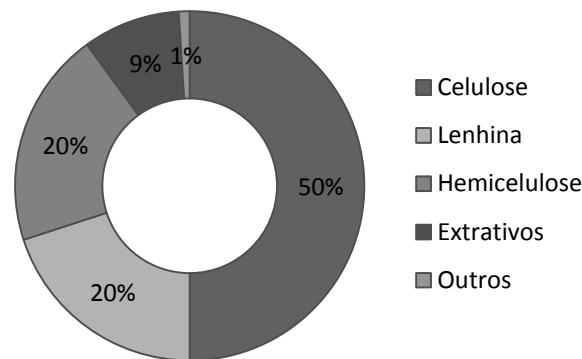


Figura 2.4 - Exemplo da composição química da madeira (valores variáveis)

As células da madeira são ocas, variando em tamanho (0,1cm a 0,8cm de comprimento e $0,1 \times 10^{-2}$ cm a $0,8 \times 10^{-2}$ cm de diâmetro) (AITC, 1994; Carvalho, 1996), com uma forma alongada e orientação vertical no sentido de crescimento da árvore. Algumas células são orientadas horizontalmente, às quais se dá o nome de estrias), no sentido da casca da árvore, para o cerne (AITC, 1994).

As hemiceluloses servem de base temporária anterior à lenhificação e os restantes constituintes englobam-se, maioritariamente, na designação genérica de extrativos (Henriques, 2011).

2.2. Características da madeira

A partir do abate da árvore, a madeira inicia a secagem e com ela o desenvolvimento de todos os fenómenos que caracterizam este material. Assim, se a secagem se processar em condições normais e a madeira não transportar consigo defeitos de crescimento, todos os acontecimentos são previsíveis e os efeitos

acautelados sem inconvenientes. No entanto, para que tal aconteça, é necessário que se conheçam as características da madeira e suas propriedades (Branco, 1993).

2.2.1. Características genéricas

Apresentam-se seguidamente algumas das características genéricas da madeira elaboradas por Branco (1993):

- Elevada resistência mecânica, aliada a baixa densidade;
- Facilidade de trabalho e de ligação de peças entre si;
- Excepcionais condições de isolamento térmico e acústico;
- Agradável ao tato;
- Grande capacidade de absorção de choques, sem romper ou fendilhar, característica que outros materiais não possuem;
- Capacidade de recuperação quando usada para um fim, reempregando-se para outro ou outros fins;
- Capacidade para ser aplicada em peças delicadas, e desdobrada em folhas de pequena espessura.

Todavia, tem igualmente alguns inconvenientes como se apresenta de seguida (Branco, 1993):

- É bastante vulnerável aos agentes atmosféricos e alterações ambientais (§2.4.2.);
- É facilmente atacada por insetos e fungos (§2.4.4.);
- Mesmo depois de aplicada e protegida é sensível às variações do grau de humidade, variando nas dimensões transversais às fibras, por defeito da sua higroscopicidade (capacidade de absorver a humidade) (§2.4.2.);
- Quando exposta ao sol e à humidade é de fraca durabilidade, mas quando devidamente protegida ou permanentemente submersa, pode durar vários séculos (§2.4.2.).

2.2.2. Defeitos

Segundo Branco (1993), "*qualquer anomalia que prejudique o comportamento, ou em certas espécies, o aspeto da madeira, é denominada como defeito*".

A qualidade de uma peça de madeira é avaliada através das características médias do lenho, e pelo tipo, quantidade e distribuição dos defeitos que apresenta. A

listagem exaustiva destes pode ser encontrada na NP 180:1962, sendo agora enumerados aqueles que têm um fator determinante na qualidade da madeira (Cruz *et al.*, 2012; Branco, 1993; Carvalho, 1996):

- *Nós*: que correspondem à porção da base de um ramo inserida no tronco da árvore. Quando motivados por ramos vivos na altura do corte, denominam-se nós vivos. Se, por outro lado, corresponderem a ramos já mortos, o tecido alterado é denominado nó morto ou seco. A presença de nós sãos, aderentes, reduz a resistência à compressão na seção interessada em cerca de 40% e, na resistência à tração fica mais comprometida, quase nula. Os nós alterados funcionam como vazios na peça e, por vezes, comprometem a zona envolvente;
- *Bolsas de goma de resina*: que são cavidades que aparecem no lenho e que contém goma ou resina. Afetam naturalmente a resistência das peças na secção interessada e comprometem o comportamento de qualquer acabamento na zona;
- *Fio inclinado*: anomalia devia à existência de um ângulo entre a direção geral das fibras da madeira e o eixo longitudinal da peça;
- *Fendas longitudinais*: que introduzem discontinuidades no material, e que podem ser dirigidas ao centro ou acompanhando o desenvolvimento dos anéis de crescimento. Este tipo de fendas normalmente só aparece durante a secagem, sendo por isso um defeito de tratamento do toro;
- *Descaio*: é um defeito de laboração que traz dificuldades na fixação da madeira ao suporte, não tendo efeitos na resistência da madeira.

A secagem natural ou artificial mal conduzida, também pode originar defeitos e desperdícios significativos (Branco, 1993).

2.2.3. Propriedades físicas da madeira

As principais características físicas a considerar num elemento de madeira, para este tipo de estudo, são a massa volúmica, o teor em água e a retractilidade (§2.2.4). Outras características importantes como a resistência mecânica, que incluem a flexão e compressão, e ainda a resistência à fadiga, foram temas excluídos, por saírem fora do âmbito desta dissertação, fazendo-se novamente referência aos autores já enumerados anteriormente (§2.1.1.).

2.2.3.1. Massa volúmica

A massa volúmica define-se como a relação entre a massa e o volume, medidos a um grau de teor em água definido (Branco, 1993), sendo uma característica que varia muito de espécie para espécie e mesmo dentro da mesma espécie, se estiver em condições muito diferentes.

O cálculo da massa volúmica é feito sobre uma amostra de madeira, conforme uma das seguintes situações (Henriques, 2011):

1. Para o mesmo teor em água;
2. Para a massa na situação anidra e volume a 12% de teor em água;
3. Para massa na situação anidra e volume da madeira enquanto verde.

A massa volúmica é um bom indicador da qualidade da madeira, uma vez que, a uma maior massa volúmica está normalmente associada uma maior resistência mecânica, bem como maior impermeabilidade, maior durabilidade natural. Por outro lado, valores elevados podem, em muitas situações, conduzir a maior retractilidade e maior dificuldade de laboração e secagem (Apud Cruz *et al.*, 1994).

O cálculo da massa volúmica é feito segundo a norma NP 616:1973 - *Madeiras. Determinação da massa volúmica*, cuja fórmula se apresenta no **Capítulo 4 - Campanha experimental**.

2.2.3.2. Teor em água

Cruz *et al.* (1997) refere que, a madeira, sendo "*um material higroscópico (...)* perde ou ganha humidade em função das alterações de temperatura e de humidade relativa do ar do local em que se encontra".

Imediatamente após o abate qualquer madeira apresenta elevados níveis de teor em água, podendo esta encontrar-se sob várias formas (Branco, 1993; Cruz *et al.* 1997, Henriques, 2011):

- Água de constituição - ligada à substância lenhosa, não pode ser removida sem que ocorra decomposição química da madeira;
- Água de impregnação - contida nas paredes dos vasos e das células. Esta quantidade de água é variável entre as várias espécies e situa-se entre os 25% e 30%. A sua saída provoca a aproximação das fibras e das micelas, promovendo a retração da madeira, fazendo aumentar a sua resistência e rigidez;

- Água livre - a que preenche os vasos e os espaços que existem no interior das células, não tendo ligações à substância lenhosa. O seu movimento na madeira não gera variações de volume nem alterações do ponto de vista da resistência mecânica.

Por efeito de secagem, quando a água livre saiu completamente, restando apenas a de impregnação dos tecidos lenhosos, diz-se que o teor em água atingiu o ponto de saturação das fibras (PSF), que se verifica com teores de água entre 25% e 30% (Cruz *et al.*, 1997). Este ponto de saturação tem um papel muito importante tanto do ponto de vista da secagem, como na variação de dimensões e na resistência mecânica da madeira.

O teor em água da madeira é definido pela norma NP 614:1973 - *Madeiras. Determinação do teor de água* como "o quociente, expresso em percentagem, da massa da água que se evapora do provete por secagem a $103^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ até massa constante, pela massa do provete depois de seco". É calculado segundo a equação apresentada no **Capítulo 4 - Campanha experimental.**

2.2.3.3. Retractilidade

Uma madeira sujeita à ação de secagem perde água do modo referido anteriormente. Enquanto perde a água livre, a madeira mantém as dimensões iniciais. Os vasos e os espaços de armazenamento das células esvaziam-se e os tecidos lenhosos mantêm-se saturados. Logo que a madeira começa a perder, por secagem, a água de impregnação, inicia-se o fenómeno de retração (Branco, 1993). Se retomar a humidade a madeira volta a dilatar-se proporcionalmente à humidade recebida (Cruz *et al.* 2012).

Tanto a retração como a dilatação se manifestam, portanto, entre o estado de madeira anidro (0% de humidade) e o estado de saturação das fibras (25% a 30%). No entanto, as variações dimensionais não se processam igualmente segundo as três direções da madeira. Esta variação é quase nula no sentido axial, ou sentido das fibras, e é geralmente 1,5 a 2 vezes mais significativa no sentido tangencial do que no sentido radial (Branco, 1993).

2.3. Paredes exteriores

É frequente um consumidor dar maior importância ao aspeto exterior e aparência de um edifício em detrimento da sua qualidade funcional, especialmente no que toca às suas paredes (Mascarenhas, 2010).

Pretende-se com este estudo, demonstrar que não é necessário perder nem qualidade funcional nem um aspeto final apelativo na escolha de uma solução de parede exterior, desde que sejam acautelados todos os requisitos básicos e as principais situações de risco inerentes.

O sistema de paredes de um edifício tem a finalidade de definir e separar os vários espaços que o compõem. Podendo ser de vários tipos, desde materiais homogéneos até aos mais variados materiais compósitos, cada solução deve ser cuidadosamente estudada para satisfazer as exigências funcionais de cada espaço.

As paredes de um edifício podem ser divididas em paredes exteriores e paredes interiores, cada uma com as suas características específicas, sendo que para este estudo importam as paredes exteriores, em especial as de madeira, uma vez que este estudo se centra no comportamento dos revestimentos que lhes são aplicados.

As paredes exteriores são a primeira barreira de isolamento do edifício face aos fatores externos, protegendo os espaços interiores das agressões (Ching, 1991), não devendo, no entanto, ser completamente impermeáveis (Mascarenhas, 2010). A forma de construção destas paredes deve permitir controlo na passagem de calor, frio, ar, som, humidade e vapor de água (Ching, 1991), de forma a garantir os padrões de conforto térmico e acústico requeridos por lei. Devem ainda possuir boa resistência mecânica, aos impulsos do terreno, à ação sísmica, ao fogo, às deformações por sobrecarga e aos movimentos de contração e retração devidos a ações térmicas e de humidade (Mascarenhas, 2010).

A parede pode ser construída com vários panos de alvenaria, separados por uma caixa de ar, ou por um único de grande espessura (Mascarenhas, 2010). Como revestimento, existe atualmente uma grande variedade de soluções, que podem ser aplicadas à própria parede ou serem parte integrante da sua estrutura. As escolhas devem resultar numa solução durável e resistente aos efeitos da intempérie como é o sol, o vento e a chuva (Ching, 1991).

2.3.1.A utilização de madeira nas fachadas

Existem muitas soluções possíveis, desde a utilização da madeira como único elemento construtivo da parede ou unicamente como revestimento, até às mais variadas combinações da madeira com outros elementos construtivos, como tijolo, betão ou pedra (**Figura 2.5**).



Figura 2.5 - Exemplos de soluções de edifícios com elementos de madeira

2.3.1.1. Paredes com pranchas maciças

As lâminas utilizadas no revestimento de paredes com pranchas têm em geral uma espessura de 2,2cm, uma largura de 15,5cm e um comprimento próximo de 2,5m (Mascarenhas, 2010), muito embora existam no mercado outras dimensões disponíveis, sendo cortadas em sistema macho-fêmea de modo ser possível o encaixe lateral entre peças (**Figura 2.6**) (Mascarenhas, 2010). Estas lâminas devem ser protegidas com vernizes de proteção aos ultravioletas, consistindo numa combinação de resinas e óleos (Mascarenhas, 2010), que devem ser renovados periodicamente consoante o fabricante do produto, de modo a garantir a resistência e durabilidade da madeira durante o período de vida útil do edifício.

Mais se diz no **Capítulo 3 - Revestimento por pintura**, sobre o assunto, no entanto, refere-se que as resinas conferem brilho e melhoram a resistência à abrasão e ao choque, enquanto os óleos aumentam a flexibilidade e impermeabilidade das peças de madeira.



Figura 2.6 - Representação das dimensões e encaixe das lâminas de madeira

Além das lâminas, podem ainda ser utilizados toros ou troncos, como é o caso do edifício da **Figura 2.7**, resultando em soluções de parede com espessuras superiores mas de conceção mais simples uma vez que podem ser o seu único elemento constituinte.



Figura 2.7 - Exemplo de um edifício em troncos maciços de madeira

2.3.1.2. Revestimento pelo exterior

O revestimento da parede com madeira pode ser feito de várias formas e com vários tipos de madeira. Neste caso, estuda-se o revestimento com lâminas de madeira natural.

Segundo recomendações de Mascarenhas (2010), este tipo de revestimento é geralmente feito de duas formas distintas, garantindo sempre a ventilação das tábuas pelo lado posterior (**Figura 2.8**):

- Revestimento de parede tradicional (constituído por dois panos de alvenaria, caixa de ar e isolamento), sendo as lâminas assentes sobre batentes que garantem a ventilação e planura do revestimento;
- Constituição de fachada ventilada sobre o paramento de alvenaria. Neste caso os batentes têm uma secção maior para garantir uma caixa de ar e instalação do isolamento térmico. Os prumos devem ser fixos à alvenaria através de braçadeiras metálicas.

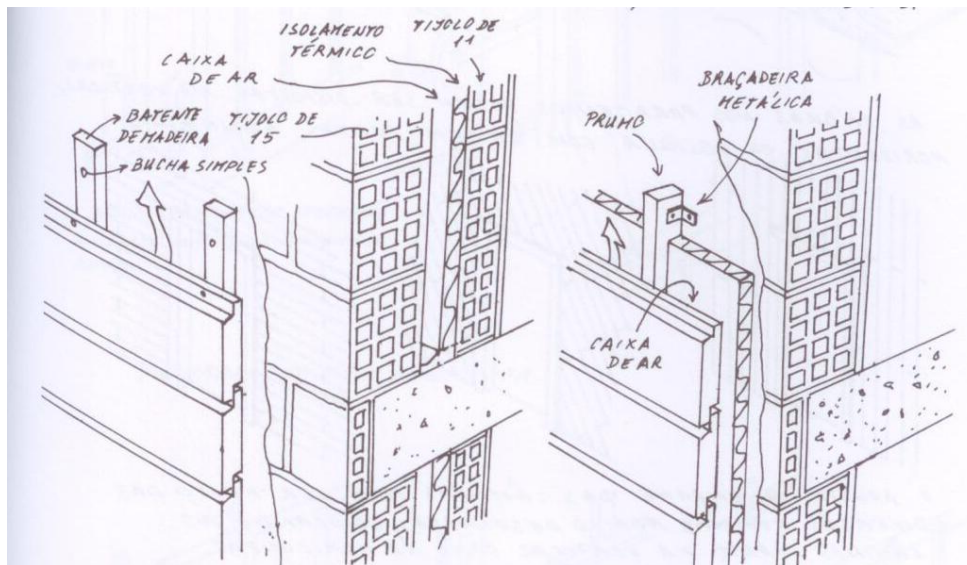


Figura 2.8 - Soluções construtivas para revestimento exterior em lâminas de madeira natural. Mascarenhas, J. (2010)

As lâminas para este tipo de revestimento são um pouco menores do que as da solução anterior, tendo em geral uma espessura de 1,0cm, uma largura de 9cm e um comprimento próximo de 2,5m (Mascarenhas, 2010), sendo cortadas com o mesmo sistema de encaixe das pranchas maciças (**Figura 2.6**).

2.3.1.3. Constituição das soluções

A madeira é um material muito suscetível a empenos, pelo que, logo desde a conceção de um edifício, devem ser tomadas precauções de modo a não perturbar o desempenho da madeira. Assim, é importante controlar a absorção de água da madeira, garantindo a sua drenagem e ainda limitar possíveis variações dimensionais de outros elementos aplicados.

Em termos gerais de conceção das peças, estas devem ser de pequenas dimensões, como já se mostrou, serem cortadas radialmente e terem recortes pouco profundos na face posterior (visíveis pela **Figura 2.6**), promovendo o escoamento e

arejamento da madeira. Na montagem do revestimento, as tábuas devem ser dispostas com os veios desencontrados, ter juntas adequadas e correto isolamento dos topos (Mascarenhas, 2010).

Além do sistema de encaixe já referido, muitas outras formas existem de fixação entre peças, sendo possível dispô-las na horizontal, vertical ou oblíqua. Por sua vez, as juntas podem ou não ser alinhadas, resultando num grande número de soluções e efeitos como se mostra na **Figura 2.9**. Independentemente da solução escolhida, devem ser acauteladas as regras e cuidados de construção que cada solução acarreta, uma vez que, embora saia do âmbito deste estudo, uma má execução tem igualmente repercussões na durabilidade da madeira.

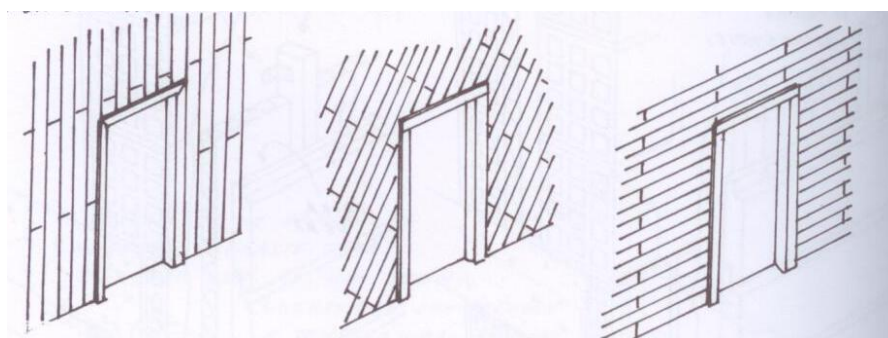


Figura 2.9 - Disposição das lâminas de madeira natural. Mascarenhas, J. (2010)

2.3.2. Fatores que contribuem para a degradação das fachadas

Quando se refere a degradação de uma fachada, neste caso de uma fachada de madeira, a deterioração pode ser de dois tipos: da madeira em si (§2.4), ou do seu revestimento (§3). Este é um assunto mais aprofundadamente debatido nos capítulos correspondentes referidos, sendo seguidamente referenciados os princípios gerais.

A degradação das fachadas pode decorrer de várias causas, tais como má conceção, incompatibilidade de materiais ou fatores climáticos. Relevantes para este estudo são os fatores climáticos, que por processos de expansão e retração nos revestimentos e nas fachadas causam tensões, resultando na abertura de fissuras. Estas, por sua vez, permitem a infiltração de água da chuva, o que leva inevitavelmente ao aparecimento de novas fissuras por aumento do teor de água. Este processo promove

ainda o eventual crescimento de fungos na superfície da fachada (Cruz *et al.*, 1997; Santos *et al.*, 2013).

Mascarenhas (2010) afirma que os processos de expansão/retração devem-se a dois tipos de expansão distintos:

1. Expansão higrotérmica, que acontece devido aos ciclos de molhagem e secagem das fachadas (devidas ao vento e à chuva);
2. Expansão térmica, que ocorre devido aos ciclos de aquecimento e arrefecimento (devidas às diferenças de temperatura entre o dia e a noite).

Existe ainda uma degradação devida à radiação solar, mais intensa no quadrante sul/poente. A persistência dos raios ultravioleta leva ao envelhecimento e descoloração das fachadas. (Mascarenhas, 2010)

2.3.3. Manutenção exterior

Independentemente da solução construtiva adotada, é necessário ter alguns cuidados de manutenção, quanto às peças de madeira, de modo a otimizar o seu aspeto visual e prolongar a vida útil dos materiais. Deste modo, devem ser feitas reparações localizadas logo que se verifiquem sinais de deterioração ou quebra de peças. A pintura das peças (§3) deve ser renovada sendo aconselhada uma periodicidade de cinco anos, dependendo das condições climáticas, do grau de exposição e do produto utilizado, (Skoutarides *et al.*, 1998), cuidados explorados no capítulo referido.

Em termos de princípios construtivos, de modo a assegurar uma boa vida útil da madeira e a diminuição de eventuais problemas de degradação é necessário ter em atenção (AITC, 1994; Cruz *et al.* 2012):

- Boa localização e correto sistema de drenagem das águas pluviais do edifício;
- Adequada separação entre a madeira e fontes de humidade;
- Controlo da condensação, no caso de locais fechados;
- Adequado isolamento e ventilação das caixas de ar;
- Pormenorização e realização de remates na fachada e cobertura;
- Adequada execução e manutenção da rede de águas e esgotos.

Assim, pela importância que a correta aplicação do material tem na durabilidade da madeira, é essencial que as especificações adotadas sejam suportadas na documentação normativa apropriada.

2.4. O envelhecimento da madeira

O envelhecimento e degradação da madeira deve-se a vários fatores, sendo por essa razão muito importante saber identificar, caso a caso, as causas principais da degradação, de modo a permitir o correto e eficaz procedimento, seja ele de proteção (antes da degradação) ou de tratamento (depois da degradação se iniciar).

Independentemente do tipo de degradação presente, a madeira tem uma durabilidade natural, que a norma NP EN 350-1:2008 define como "*a resistência intrínseca da madeira aos ataques de organismos destruidores*". Entendem-se estes organismos como sendo os devidos a degradação biológica uma vez que são os que ocorrem com mais frequência, causam mais problemas e são muitas vezes consequência dos restantes tipos de degradação.

A durabilidade natural da madeira varia consoante a espécie, e mesmo dentro da mesma, não é semelhante no borne e no cerne, sendo maior no cerne (Apud Raberg *et al.*, 2005; Apud Nunes *et al.*, 1995). Outro fator importante para a durabilidade é a sua impregnabilidade (§3.3.1), ou seja a capacidade da madeira de reter o tratamento que lhe é aplicado.

As madeiras com maior durabilidade natural devem-no à sua composição química e morfológica, pela presença de concentrações elevadas de extrativos, como é o caso de substâncias fenólicas, taninos, resinas, ceras e gorduras. Nestas madeiras o processo degenerativo não é promovido uma vez que algumas das substâncias referidas são tóxicas para os microrganismos, têm efeitos antioxidantes e/ou auxiliam na redução da permeabilidade da madeira à água, ao ar e às hifas (filamentos que compõem o fungo) (Pala, 2007).

Assim, foi criado um conjunto de referências normativas que auxiliem sobre a escolha da espécie de madeira a utilizar ou o tipo de tratamentos a serem aplicados consoante os riscos de exposição de cada construção. Os sistemas de classificação da durabilidade natural da madeira face ao ataque de agentes biológicos encontram-se na

EN 350-1:1994 e a listagem das várias espécies consoante a sua durabilidade está descrita na EN 350-2:1994. Se, por outro lado, se pretender escolher a espécie de madeira com melhor durabilidade aos agentes biológicos, deve consultar-se a NP EN 460:1995.

As principais causas de deterioração da madeira devem-se a: desgaste mecânico, degradação física, degradação química ou degradação biológica. Destas, a degradação física é a que mais interesse tem para este trabalho, sendo a degradação química e a degradação biológica relevantes como consequência da degradação física. Por essa razão, é dada maior ênfase a esta, sendo apresentados apenas os conceitos mais gerais das restantes.

2.4.1. Desgaste mecânico

A madeira, quando submetida a movimentos de diversas classes, fica sujeita a desgaste mecânico, sendo, segundo Mendes *et al.* (1988), um exemplo comum o da combinação entre a podridão e abrasão. Este é um efeito usualmente confundido com o apodrecimento causado por fungos, razão pela qual se devem verificar as causas de uma deterioração antes de se decidir o curso de tratamento a seguir.

2.4.2. Degradação física

Os tipos de degradação física devem-se às condições climático-atmosféricas, podendo atuar de forma isolada ou em conjunto, como é o caso da radiação solar, o vento, a chuva, a humidade, entre outros. Estes, agem na madeira, alterando-lhe a cor e tornando a superfície mais áspera (Santos *et al.*, 2013; Cruz *et al.*, 1997).

É a ação conjunta da radiação solar e da chuva, por ciclos de molhagem e secagem, que leva à degradação mais grave da madeira (**Figura 2.10**), pois a lenhina que é decomposta é arrastada ou solubilizada pela água (Santos *et al.*, 2013).

Além disso, a ação conjunta das ações mencionadas causa ciclos de inchaço e contração na madeira, levando à abertura de fendas (Mascarenhas, 2010) que propiciam a degradação biológica. (Mendes *et al.*, 1988). O desaparecimento da lenhina promove a descolagem das fibras de celulose, diminuindo a resistência da madeira (Santos *et al.*, 2013).

As madeiras não protegidas expostas aos agentes exteriores começam a apresentar sinais de envelhecimento ao fim de seis meses, em especial onde existam condições de elevada radiação solar e períodos de chuva, como é o caso do clima português (Santos *et al.*, 2013), sendo um processo de cariz essencialmente estético, afetando a madeira em um a dois milímetros de profundidade (Cruz *et al.* 2012), que quando removidos revelam a madeira com as suas características iniciais.

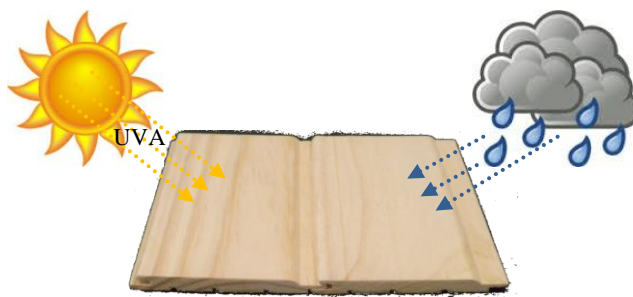


Figura 2.10 - Modelo de degradação da madeira por agentes atmosféricos

A ação das intempéries pode ser retardada com a utilização de produtos apropriados (§3.2), tornando a madeira impermeável e resistente aos UVA à superfície, o segundo particularmente caso o produto de proteção contenha pigmento.

Outro fator físico a mencionar, este já de origem accidental, é o fogo. Ao contrário da ação relativamente lenta e pouco evidente dos tipos de degradação mencionados anteriormente, a destruição da madeira através do fogo é rápida (Mendes *et al.*, 1988), ainda que seja possível que uma estrutura de madeira tenha boa resistência ao fogo (Cruz *et al.* 2012). Do mesmo modo que os tipos de degradação referidos, apenas a superfície carbonizada é afetada, sendo as camadas mais profundas não expostas ao fogo preservadas nas suas propriedades (Cruz *et al.* 2012).

2.4.2.1. Humidade

A humidade é talvez o fator mais importante para a degradação da madeira, seja ela física ou biológica (§2.4.4.). Considera-se que a madeira não tratada tem um bom desempenho por tempo indeterminado desde que o teor de humidade desta se mantenha permanentemente abaixo dos 20%, ou permanentemente molhada, sendo que a necessidade da sua preservação depende do fim para que se destina a madeira. (AITC, 1994; Santos *et al.*, 2013)

A madeira é um material que, na presença de humidade, incha e encolhe na direção perpendicular ao seu grão, tendo um comportamento diferente conforme o seu teor de humidade, aquando instalação das peças. Se for instalada seca, mantém-se em boas condições até ser molhada, causando distorções e torções nas peças de madeira. Se for instalada húmida, com o tempo começa a estabilizar o teor de humidade, secando, o que é um processo que também pode causar movimentações e distorções na madeira (**Figura 2.11**).



Figura 2.11 - Empeno de uma peça de madeira pela presença de humidade excessiva

A zona mais sensível das peças de madeira é a zona de corte, perdendo humidade dez vezes mais rapidamente que as outras faces, pelo que a aplicação de um selante nesta zonas ajuda a prevenir a sua degradação (AITC, 1994).

Apesar de todas as variáveis não controláveis de degradação da madeira, a humidade apresenta-se como a que conduz a degradações mais gravosas pela sua ação isolada, como mostra a **Figura 2.12**, uma vez que tendo a fachada as mesmas condições de exposição, proteção e radiação solar (com exceção de ligeiro aumento de proteção na parte superior da parede por ensombramento) a degradação da madeira não é homogénea. Isto acontece porque, por ação da chuva, a parte inferior da parede permanece molhada por maiores períodos de tempo, promovendo então a degradação da madeira (Santos *et al.*, 2013).

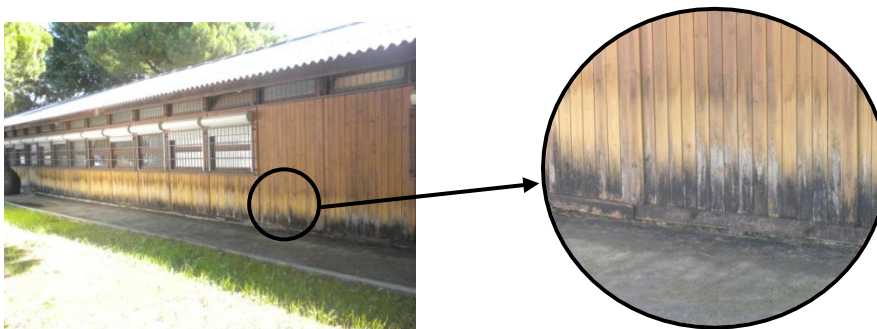


Figura 2.12 - Efeito da degradação de um edifício de madeira em função da agressividade do meio

2.4.2.2. Radiação solar

A radiação solar é composta por UVA, UVB e UVC, sendo que apenas os dois primeiros penetram a camada de ozono. O UVA é o tipo de radiação mais penetrante,

com maior comprimento de onda e responsável pelo envelhecimento da madeira (Santos *et al.*, 2013).

A radiação solar é a principal causa da alteração da cor da madeira por decomposição da lenhina, foto oxidando (Santos *et al.*, 2013) e conferindo-lhe uma tonalidade acinzentada (Cruz *et al.* 2012) (**Figura 2.13**), denominada "greying" ou "weathering" por Ozelton (2002). Deste processo de decomposição resultam quebra de ligações e perda de oxigénio, formando radicais e peróxidos (Santos *et al.*, 2013).



Figura 2.13 - Exemplo dos efeitos dos raios UV (Madeira não tratada - 6 meses de exposição. A1 - Em ambiente salino. A2 - Em ambiente de grande amplitude térmica)

2.4.2.3. Temperatura

A temperatura é um fator muito importante na estabilidade dimensional, bem como na resistência da madeira.

O efeito da temperatura na madeira é imediato e a sua magnitude depende do teor de humidade da madeira e, no caso de se tratar de uma temperatura muito elevada, do tempo de exposição.

De modo geral, a resistência da madeira aumenta a baixas temperaturas e diminui com o aumento da temperatura, sendo que as alterações nas suas propriedades são tanto maiores quanto menor for o teor de humidade da madeira (AITC, 1994).

Quando a madeira é exposta a temperaturas acima de 66°C mas por períodos curtos, é expectável que a madeira recupere a sua resistência original assim que a temperatura retoma valores normais. Este fenómeno não ocorre se, além disso, a madeira for carregada no período de exposição elevada.

Quando a exposição a temperatura superior a 66°C for por grandes períodos de tempo, a madeira fica permanentemente enfraquecida, mesmo quando se volta a baixar a temperatura para valores inferiores, sendo que esta perda de resistência depende de vários fatores como: o teor em humidade, a temperatura da madeira, a temperatura

média ambiente, o tempo de exposição, a espécie da madeira e o tamanho da peça (AITC, 1994).

2.4.3. Degradação química

Embora a madeira seja um material de construção bastante resistente ao ataque químico (Cruz *et al.* 2012), as suas propriedades físicas e mecânicas são reduzidas quando as peças estão em contato com determinadas substâncias químicas, como ácidos e bases fortes, óxido de ferro, dióxido de enxofre, sais de sódio, entre outros (Mendes *et al.*, 1988). Este tipo de deterioração é usual em fábricas de produtos químicos, em peças de madeira em contacto com materiais ferrosos, ou ainda em casos em que as tintas utilizadas para a pintura da madeira contenham quantidades demasiado elevadas de ácidos ou álcalis. (Mendes *et al.*, 1988)

De modo geral, segundo o American Institute of Timber Construction (1994), as madeiras folhosas são mais resistentes ao ataque por ácidos minerais e orgânicos diluídos, sendo por outro lado mais afetadas por ácidos e álcalis do que as madeiras resinosas. Os efeitos de cada composto químico na madeira são (AITC, 1994):

- Água, álcool e outros compostos líquidos orgânicos - São produtos que incham a madeira. Esta é uma ação quase totalmente reversível caso o líquido ou solução sejam removidos por evaporação, devolvendo as dimensões originais e resistência à madeira.
- Petróleo e creosoto - Não incham a madeira.
- Ácidos- A hidrólise da celulose por este tipo de ácidos afetam a madeira de forma permanente, enfraquecendo-a.
- Bases - Causa a deslignificação da madeira e a dissolução de hemicelulose por álcalis afeta permanentemente a madeira.
- Sais de ferro - Precipitam extratos tóxicos que diminuem a capacidade de resistência à degradação da madeira. Esta fica frágil e descolorida nas zonas circundantes onde haja ferro corroído. Este fenómeno é mais pronunciado em espécies de madeira ácida. Este é um processo que, depois de iniciado, também faz aumentar a degradação do metal em si, sendo maior com a presença de humidade e oxigénio (condições agressivas para a corrosão de metais), devendo

por isso usar-se produtos de proteção adequados para este tipo de ação específica.

Independentemente do composto químico em presença na degradação, a madeira decomposta por degradação química tem uma aparência amolecida e, normalmente, com aparência esgarçada ou desfibrada (Mendes *et al.*, 1988).

A resistência da madeira ao ataque químico pode ser aumentada com a impregnação de soluções compostas por resinas fenólicas seguidas de secagem e tratamento apropriados (AITC, 1994).

Resumindo, a degradação química da madeira relaciona-se essencialmente com as variações de pH, sendo que a própria madeira contém alguns ácidos livres, principalmente ácido acético (pelo que não é tão suscetível a níveis baixos de pH), embora esta situação não se verifique quando se dão ciclos de secagem e molhagem, o que favorece a produção de ácido por hidrólise. O excesso de acidez destrói as cadeias de carbono, o que provoca um aspeto semelhante ao da podridão branca. Ambientes alcalinos destroem-se a lenhina e a hemicelulose, o que proporciona perda de resistência da madeira.

2.4.4. Degradação biológica

A madeira é um material orgânico heterogêneo, ficando por isso exposto a organismos que se alimentem de compostos orgânicos: os organismos biológicos (Pala, 2007). Essa alimentação leva à degradação da madeira, causada por vários tipos de agentes como: fungos, insetos, moluscos, crustáceos e bactérias, sendo os primeiros dois os grupos mais importantes (Mendes *et al.*, 1988).

O tipo de degradação bem como a velocidade do seu desenvolvimento dependem largamente das condições higrotérmicas ambientas, da espécie da madeira, do seu grau de impregnabilidade e do grau de exposição (Cruz *et al.* 2012). Assim, a NP EN 335-2 define a classe de risco da aplicação da madeira num determinado local (**Quadro 2.1**), de modo a permitir a sua preparação e tratamento com produto preservador (§3.3) se assim se considerar necessário. Deste modo, ao saber quais as condições de serviço para as quais se pretende a utilização de madeira, é possível saber qual a sua classe de risco e o tipo de agressões biológicas que se poderão encontrar,

diminuindo substancialmente o risco de degradação grave da madeira, caso esta seja submetida a um tratamento preservador (Cruz *et al.* 2012).

Quadro 2.1 - Classes de risco de aplicação de madeira maciça (Adaptação de NP EN 355-2)

Classe de risco	Situações de serviço	Exposição à humidade	Teor de água da madeira	Agentes biológicos expectáveis
1	Interior sem risco de humidade	Não há	≤ 20%	Carunchos ¹
2	Interior com risco de humidade	Ocasional	> 20%	Carunchos ¹ Térmitas Fungos e bolores
3	Exterior, acima do solo e protegida ²	Ocasional	> 20%	Carunchos ¹ Térmitas Fungos e bolores
	Exterior, acima do solo e não protegida ²	Frequente		
4	Exterior, em contacto com o solo e/ou com água doce	Frequente	> 20%	Carunchos ¹ Térmitas Fungos e bolores
	Exterior, em contacto (severo) com o solo e/ou com água doce	Permanente		
5	Em contacto com água salgada	Permanente	> 20%	Xilófagos marinhos

¹ Importância do risco depende da região geográfica

² Sem exposição excessiva ou direta às intempéries

Segundo Cruz *et al.* 2012, se por qualquer razão não for possível prever qual a situação de serviço para a qual será exposta a madeira, ou por outro lado, um mesmo elemento esteja exposto a várias situações de risco diferentes, deve sempre optar-se pela situação que se traduza como a menos favorável (mais gravosa).

2.4.4.1. Fungos

A degradação da madeira causada por fungos deve-se ao fato de serem organismos que se alimentam de compostos orgânicos (organismos heterotróficos) através da segregação de uma enzima extracelular que digere o substrato, permitindo a absorção de nutrientes solúveis pelas células fúngicas (Pala, 2007), e que crescem e se

desenvolvem a partir de esporos microscópicos naturalmente presentes na madeira (Cruz *et al.* 2012) e que se dispersam através do ar, água ou de insetos (Pala, 2007).

São compostos pelo talo (corpo vegetativo), por sua vez constituído por filamentos (hifas) que formam uma rede microscópica (micélio), por onde são absorvidos os nutrientes. As hifas são elementos muito resistentes, uma vez que a sua parede celular é composta por quitina, sendo capazes de se modificar de modo a otimizar a sua interação com o substrato (Pala, 2007) da espécie florestal onde se tenham desenvolvido.

No caso de interrupção de um dos quatro elementos essenciais à vida dos fungos (fonte de alimento, oxigénio, humidade e temperatura favorável) a degradação da madeira não se dá ou pára (AITC, 1994). Sempre que estejam reunidas as condições favoráveis referidas o crescimento de fungos de degradação inicia-se ou continua (Cruz *et al.* 2012).

A madeira não se degrada se (AITC, 1994; Cruz *et al.* 2012; Pala, 2007):

- Totalmente submersa em água;
- O teor de humidade for permanentemente inferior a 20%;
- A temperaturas abaixo do 0°C ou superiores a 45°C (por adormecimento do fungo);
- Temperaturas superiores a 60°C (por morte do fungo);
- Ausência de oxigénio, muito embora os fungos se mostrem resistentes mesmo com concentrações de oxigénio baixas.

A presença de água é um fator essencial para o desenvolvimento de fungos, pela proliferação do micélio. O limite mínimo para que seja possível o desenvolvimento de fungos corresponde a um teor em água que ronda os 20%, denominado ponto de saturação das fibras (PSF). É com valores acima dos 30% que se promove o desenvolvimento de esporos, sendo o teor ótimo para desenvolvimento e permanência dos fungos na madeira entre os 40% e 80%. A presença de água livre na madeira dilata os capilares, facilitando a penetração dos esporos (Pala, 2007). Assim, conclui-se que são as condições de ar livre as mais propícias para o desenvolvimento de fungos (Cruz *et al.* 2012) por haver contato direto da madeira com a água, seja por precipitação ou contato direto com o solo (Pala, 2007).

Para valores inferiores (10-15%) ou superiores (100-250%) os fungos deixam de crescer, voltando a desenvolver-se apenas quando os valores do teor em água retomarem às condições propícias (Pala, 2007).

Segundo Pala (2007), os fungos podem ser classificados como cromogénicos ou destruidores, conforme a tipologia dos efeitos que tenham na madeira. Já, Cruz *et al.* (2012), classifica-os como aqueles que originam manchas, e os que provocam vários tipos de podridão, sendo que dentro dos fungos de podridão, existem os microfungos (podridão mole) e os fungos que provocam podridão branca ou castanha (mais comuns)

O borne é muito suscetível a alteração da sua cor natural (Ozelton, 2002), por ter menor durabilidade que o cerne (Raberg *et al.*, 2005; Nunes *et al.*, 1995), devendo-se esta alteração a dois tipos de manchas: as manchas de seiva, obtidas aquando o corte da árvore; e as manchas ou fungos de azulamento (Ozelton, 2002) que resultam em colorações variadas (AITC, 1994). Estes não são considerados como estágios iniciais de degradação (AITC, 1994) pelo facto de se alimentarem de componentes não estruturais das células da madeira, afetando apenas o seu aspeto visual e não as suas propriedades mecânicas (Pala, 2007; Ozelton, 2002).

O bolor não mancha a madeira mas cria pequenos defeitos que variam em cor, desde mais claras a mais escuras, e que facilmente desaparecem por escovagem da madeira. Assim, o maior problema que o bolor e as manchas apresentam, deve-se a serem superficiais, ocultando os primeiros estágios de degradação por podridão (AITC, 1994). Por essa razão, a existência de bolor deve ser sempre tida como uma indicação provável ao desenvolvimento de fungos de podridão (Pala, 2007).

Já no caso dos fungos que mancham, estes penetram no borne e não podem ser removidos através de escovagem da superfície (AITC, 1994). Além disso, podem igualmente afetar o cerne, zona mais resistente da madeira, diminuindo a sua resistência mecânica (Pala, 2007). O tipo de modificação na madeira dependerá do microrganismo presente, resultando em padrões de podridão variados, (Pala, 2007) de aspeto macio e felpudo, tendo raramente pó, como acontece no caso do crescimento do bolor (AITC, 1994).

A degradação por fungos de podridão reduz a resistência da madeira, tanto mais quanto maior for o período de exposição, sendo que em estágios mais profundos também a resistência ao fogo é afetada (AITC, 1994). No entanto, a existência de

determinados fungos de ação cromogénea inibem o desenvolvimento dos fungos de podridão, protegendo a madeira. Ainda assim, ao serem esgotadas as reservas de alimentação, estes deixam de crescer, ponto a partir do qual os fungos de podridão se instalam (Pala, 2007).

Mecanismos de ação dos fungos de podridão

Existem três tipos de fungos de podridão: branca, castanha e mole, sendo que para esta dissertação importam apenas os fungos de podridão castanha.

Pala (2007) aponta para a existência de dois tipos de mecanismos associados à degradação da madeira por fungos de podridão:

1. Os mecanismos não enzimáticos, ligados às reações químicas do processo de oxidação;
2. Os mecanismos enzimáticos, relacionados com as reações de conversão dos constituintes da madeira noutros componentes. Sistemas multi-enzimáticos complexos como celulasas, hemicelulasas, lacases, peroxidases, entre outros são os responsáveis pela promoção da solubilização do substrato da madeira.

O mecanismo não enzimático consiste na invasão das células da madeira pelas hifas, nos estágios iniciais de colonização. Estas segregam oxidantes que afetam a estrutura da madeira, sendo um mecanismo ainda pouco estudado.

De entre os tipos de fungos existentes, são os de podridão castanha que causam mais estragos à constituição da madeira, predominantemente em madeiras macias, pela rápida despolimerização dos seus polissacarídeos (celulose e hemicelulose) desde o início da colonização. Isto resulta numa aparência oxidada da madeira e em resíduos de lenhina castanha. Consequentemente há uma diminuição da resistência mecânica da espécie florestal mesmo antes de ser mensurável a perda de massa ou sinais visuais de degradação à superfície (Pala, 2007, Cruz *et al.* 2012).

O mecanismo associado a uma degradação por podridão castanha é não enzimático, causando alterações, por erosão, na microestrutura da madeira, resultando num aumento de porosidade. Este aumento promove, por sua vez, a penetração de enzimas que continuam o processo de degradação (Pala, 2007).

Por despolimerização, a madeira tem tendência a encolher, formando fendas longitudinal e perpendicularmente ao grão. Estas fendas originam o padrão cúbico típico da podridão castanha (Pala, 2007; Henriques, 2011).

As tentativas de tipificar o padrão de degradação provocada por este tipo de fungos revelaram-se pouco conclusivas uma vez que há uma grande dependência do tipo de fungo, bem como da espécie florestal envolvidos. Apud Irbe *et al.* (2006) conseguiram determinar um desempenho diferente com os fungos de podridão castanha *Postia placenta* e *Coniophora puteana*, concluindo que esse se devia ao fato de a primeira espécie produzir apenas endoglucanases e β -glicosidases e a segunda o sistema enzimático completo (Pala, 2007).

Reconhecimento do ataque por fungos à madeira

Segundo Mendes (1988), os sintomas de um ataque à madeira causado por fungos, depende não só da espécie do fungo e do tipo de madeira atacada, como também do grau de infestação.

Os primeiros sintomas de ataque são os de mais difícil identificação, ao contrário dos que já estejam em estados mais avançados, por se darem alterações mais notórias não só de cor, mas também na textura da madeira, sendo eles:

- 1) Mudança de coloração - Começam a aparecer tiras ou bandas escurecidas em tons castanhos. Dependendo da espécie de fungo envolvido, podem também aparecer zonas mais escuras ou mais claras que a região não afetada da madeira. Pode haver casos onde não haja alteração da cor ou esta se assemelhar a madeira molhada.
- 2) Amolecimento da madeira - Uma zona que esteja a ficar degradada apresenta uma textura quebradiça, tornando difícil a tarefa de retirar com uma faca um bloco que não tenha fibras partidas ou maceradas.
- 3) Mudança de densidade - A perda de massa e de descoloração da madeira são sinais claros de degradação e que aumentam com o avançar do apodrecimento. Este é, no entanto, um indicador de difícil contabilização uma vez que diferentes espécies de madeira apresentam diferentes densidades e também o fato de a humidade da madeira afetar a sua densidade aparente.
- 4) Mudança de cheiro - Um cheiro semelhante ao de lugares abafados e húmidos é um sinal de que a madeira está afetada por fungos, sendo este o sinal que mais facilmente reconhecível.

2.4.4.2. *Insetos*

Existem muitas espécies de madeira suscetíveis a ataque por insetos em alguma fase do seu ciclo de vida (Santos *et al.*, 2013), existindo uma grande variedade de espécies de insetos que a deterioram, com diferentes modos de ação, no entanto, no caso de Portugal, os insetos xilófagos de mais difícil diagnóstico são as térmitas subterrâneas. Estas, vivem em sociedade, organizadas por colónias, em que cada elemento tem a sua própria função dentro do seu agregado (Cruz *et al.* 2012).

Tal como no caso dos fungos, os prejuízos para a madeira acontecem sempre que estejam reunidas as condições necessárias para o desenvolvimento dos xilófagos, como é o caso do aumento do teor em água da madeira. O ataque processa-se por alimentação da celulose da madeira e abertura de galerias de circulação (Santos *et al.*, 2013), não sendo visível do exterior, dificultando uma ação proactiva no sentido de impedir a sua progressão, sendo tanto mais grave, quanto maior for a quantidade de material lenhoso depredado (Cruz *et al.* 2012).

O sinal mais comum de que uma peça de madeira foi atacada por insetos xilófagos é o seu aspeto laminado, onde apenas as camadas de Primavera são destruídas. Em estados avançados de degradação, é também possível identificar canais de terra ao longo das peças de madeira, utilizados pelas térmitas como método de deslocação ao abrigo da luz. Outra observação possível é a de galerias e pequenos espaços abertos. (Cruz *et al.* 2012)

Os carunchos são insetos de ciclo larvar completo, também denominados insetos de madeira seca, existindo variadas espécies, cada uma delas com preferência pelo ataque a um tipo específico de madeira (Cruz *et al.* 2012) (**Figura 2.14**). Estes, depositam ovos em aberturas na madeira que eclodem e a utilizam como alimento (Santos *et al.*, 2013).



Figura 2.14 - Pormenor de uma viga infestada por caruncho

2.4.5. Prevenção, controlo e conservação

Como referido, apesar de a madeira ser um material muito utilizado em construções, pelo seu bom comportamento e durabilidade, está sujeito ao ataque e degradação por diversos agentes, apresentando-se a degradação biológica como a de maior gravidade.

Será sempre preferível ter um bom conhecimento da espécie da madeira a utilizar, da sua durabilidade natural e dos agentes de degradação expectáveis para a sua exposição em serviço, de modo a que a conservação seja sempre efetuada de forma preventiva, com aplicação de algumas medidas de proteção adequadas.

As medidas de proteção referidas podem ser de dois tipos (Cruz *et al.* 2012): A primeira passa por reduzir ou eliminar as probabilidades de ataque, controlando o teor de água da madeira dentro de valores que não propiciem o seu desenvolvimento. A segunda, é a aplicação de produtos preservadores, compostos por químicos, que podem ser aplicados na própria madeira (§3.3), nos elementos construtivos circundantes ou no solo. Alguns tipos específicos de infestantes podem também ser controlados pela utilização de armadilhas.

Além do referido em §2.3.3, referente às disposições construtivas, é ainda importante ter um plano de manutenção bem definido, em especial em casos onde seja difícil assegurar a estabilidade do teor em água da madeira, como é o caso da sua aplicação no exterior.

Concluindo, o processo de escolha da madeira mais adequada consoante o ambiente de exposição deve seguir a seguinte sequência (Cruz *et al.* 2012):

1. Determinar o desempenho pretendido para o elemento de madeira;
2. Determinar a classe de risco para a situação de serviço, bem como os agentes biológicos expectáveis, segundo NP EN 335-2:2011;
3. Selecionar uma espécie de madeira;
4. Determinar a durabilidade natural da madeira, avaliando se esta é suficiente face às imposições do ponto anterior, ou se é necessário aplicar um tratamento preservador, segundo as normas EN 350-1:1994, EN 350-2:1994 e NP EN 460:1995;

5. Avaliar a hipótese de alterar a espécie de madeira selecionada no Ponto 3, caso necessário, para uma outra mais durável, ou alterar a tipologia da solução, ou o tipo de tratamento preservador;
6. No caso de se optar pela utilização de um tratamento preservador, utilizar as normas EN 351-1:2007, EN 351-2:2007 e EN 599-1:2009 no auxílio da escolha adequada do produto a utilizar consoante a tipologia do ataque biológico.

Independentemente de se escolher uma espécie florestal adequada para uma determinada classe de risco, em situações onde a madeira esteja pouco acessível ou sejam levantadas questões de segurança graves na possibilidade de rotura da peça, deve sempre optar-se por uma madeira de durabilidade superior à necessária em condições ordinárias (Cruz *et al.* 2012).

Apesar de tudo o que foi dito, existe sempre a possibilidade de degradação, seja por inadequada avaliação da espécie escolhida, da classe de risco associada, do produto preservador escolhido ou por manutenção com regularidade insuficiente. Nestes casos, é necessário dar início a um processo de reabilitação do edifício (Cruz *et al.* 2012), de forma a interromper a progressão da degradação ou, em casos onde esta já seja extrema, repor ou melhorar as características que a madeira foi perdendo, devolvendo a durabilidade e resistência necessárias ao bom funcionamento do edifício.

O processo de degradação pode ser interrompido através de dois métodos: o passivo, que passa pela reparação de possíveis deficiências detetadas que propiciem a progressão da degradação; o método ativo, que consiste na aplicação de tratamentos curativos específicos para irradicação dos agentes biológicos.

3. REVESTIMENTOS DECORATIVOS, PROTETORES E PRESERVADORES

3.1. Introdução

Durante muitos anos a madeira foi um material utilizado no exterior sem que lhe fosse aplicado qualquer tipo de proteção, sendo o processo natural de descoloração devida à exposição aceite desde que a espécie de madeira tivesse durabilidade natural elevada de modo a manter-se sem necessidade de manutenção durante vários anos (Santos *et al.*, 2013).

No entanto, os avanços tecnológicos que aconteceram desde o século XX levaram ao aumento exponencial de produtos disponíveis, embora resultem em efeitos muito variados desde o efeito sobre a madeira, à sua duração e ao tipo de proteção assegurada, permitindo que espécies de madeira menos duráveis pudessem ser igualmente utilizadas no exterior das construções (Santos *et al.*, 2013). Por consequência, a abundância de produtos atualmente disponíveis leva a uma grande indecisão quanto à escolha do produto mais adequado para a situação pretendida.

Antes de mais há que fazer distinção terminológica entre os dois tipos de revestimentos existentes para pintura da madeira para exterior, consoante o tipo de proteção que se pretenda:

1. Revestimento contra degradação superficial por agentes atmosféricos - efeito decorativo e protetor;
2. Revestimento contra a degradação superficial por agentes biológicos - efeito preservador.

Ao primeiro dá-se o nome de revestimento decorativo e protetor, uma vez que também visa a proteção das características estéticas da madeira e, o segundo, chama-se tratamento preservador pelas propriedades resistentes a insetos e fungos, preservando as características físicas da madeira (Cruz *et al.*, 1997).

Os revestimentos protetores têm acabamentos superficiais, como é o caso do envernizamento, a pintura, a lacagem e a utilização de velaturas (Santos *et al.*, 2013),

enquanto os revestimentos preservadores penetram mais profundamente na madeira (Henriques, 2011).

As principais funções dos produtos protetores são: impedir a entrada de água ou humidade na madeira, a incidência dos raios UV e facilitar a limpeza da superfície. Além disto, dependendo da tipologia de produto utilizada, podem ser alteradas as propriedades da superfície da madeira. Exemplos disso são o aumento da dureza superficial ou da resistência ao desgaste (Santos *et al.*, 2013).

Muito embora, como se referiu, não seja essa a sua função essencial, um revestimento decorativo e protetor pode também ter propriedades resistentes aos fungos, sendo que esta proteção incide somente sobre o próprio revestimento (Cruz *et al.*, 1997).

O comportamento e eficácia de um revestimento depende de vários fatores como: o esquema de pintura, o modo de aplicação e principalmente a qualidade do substrato. Outra questão importante é a espécie de madeira escolhida, bem como o seu estado aquando da aplicação, consoante se trate de madeira nova (nunca protegida), madeira degradada (devida a exposição) ou madeira tratada (cujo revestimento necessita de ser renovado) (Cruz *et al.*, 1997), temas abordados ao longo deste capítulo.

O estudo desenvolvido nesta dissertação incide sobre os revestimentos decorativos e protetores, sendo por isso feita maior referência a esse tipo de produtos, no entanto, para fins informativos, são mencionados alguns conceitos base dos revestimentos preservadores.

3.1.1. Características gerais dos produtos

Segundo Henriques (2011), Mascarenhas (2010) e Mendes *et al.* (1988), independentemente de se tratar de produto de proteção ou preservador da madeira pretende-se que, pela sua composição química, este seja capaz de retardar a degradação da madeira, seja ela física, química ou biológica, devendo ter, idealmente, determinadas características gerais, tais como:

- Boa toxicidade aos agentes biológicos degradadores de madeira, mas não tóxico ao homem, a animais domésticos e ser o menos tóxico possível ao ambiente;
- Não ser volátil ou insolúvel em água;
- Não se alterar nem decompor rapidamente;

- Ter boa permanência e boa penetração na madeira, qualquer que seja a sua densidade;
- Não ser corrosivo a metais, que são muitas vezes necessários para a instalação das peças de madeira;
- Não aumentar a combustibilidade da madeira;
- Não ser reativo com outras tintas e vernizes;
- Não alterar as propriedades físicas e mecânicas da madeira;
- Não alterar a cor da madeira, a não ser que se o pretenda;
- Ser económico;
- Ser acessível em termos de mercado.

Enumeraram-se as características ideais de ambos os tipos de produtos referidos, no entanto, dificilmente se encontra no mercado um produto que as consiga reunir na totalidade. Deste modo, devem ser tomadas em conta as características mais importantes requeridas para cada situação em particular, de modo a escolher o produto que melhor se adequa a essa mesma situação e, em muitos casos, utilizar uma combinação de produtos, sendo esse um dos objetivos desta dissertação (§1.2.).

É afirmado por Henriques (2011) e Mascarenhas (2010), no que se refere a tratamentos preservadores, que outro aspeto muito importante é a determinação do tipo de proteção que se pretende, ou seja, se se procura prevenir um ataque (proteção preventiva), ou se, por outro lado, se procuram limitar os efeitos de um ataque existente (proteção curativa). Neste caso, tratando-se de um revestimento decorativo e protetor, a ação será sempre como proteção preventiva, que deverá ser renovada consoante indicações do fabricante e, caso se verifiquem problemas ao longo dos anos, dever-se-á passar para uma abordagem de proteção curativa.

O maior obstáculo na proteção da madeira, especialmente no que se refere a tratamentos de proteção, é a escolha da solução e produto mais adequado para cada situação. Há que ter em consideração fatores como a espécie de madeira envolvida, o ambiente onde esta vai ser aplicada e as características dos produtos a utilizar (Santos *et al.*, 2013).

3.1.2. Causas da deterioração e considerações para pré-tratamento da madeira

A aplicação de um produto por pintura cria uma película protetora contra os agentes atmosféricos que deterioram a madeira conforme explicado em §2.4.2.. Assim, com o passar do tempo, é esta película que sofre a degradação, devida à radiação solar, perdendo a elasticidade inicial e plastificando (Santos *et al.*, 2013).

Embora as principais causas de deterioração e desgaste de um revestimento por pintura sejam devidas a agentes atmosféricos, também existem outros fatores não desprezáveis tais como: o excessivo teor em água da madeira, a humidade do ar elevada aquando da aplicação do produto, aplicação mal executada, incompatibilidade entre produtos, uso de pigmentos de baixa durabilidade, excessivos teores em resina da madeira e pouca regularidade de manutenção (Cruz *et al.*, 1997).

Características naturais da maioria das espécies de madeira, como o seu teor em humidade e estabilidade dimensional são fatores que auxiliam no desempenho geral dos revestimentos de proteção, no entanto, características como espécies muito permeáveis, com elevadas quantidades de resina ou com muitos nós devem ser estudadas de modo a encontrar-se o produto ou método mais adequado para esses casos, uma vez que promovem a degradação acelerada do revestimento. Deve também ser dada especial atenção aos casos em que se utilizem compósitos de madeira como contraplacados ou aglomerados de partículas (Cruz *et al.*, 1997).

Todos os trabalhos de corte e preparação da madeira devem ser feitos antes da aplicação de qualquer produto (Ozelton, 2002), permitindo a sua estabilização inicial, sendo posteriormente executada a primeira demão de produto e selagem de topos e ligações de modo a minimizar a deposição de detritos, bem como promover a estabilização da humidade da madeira, minimizando o efeito do ambiente exterior (Cruz *et al.*, 1997).

O teor em humidade da madeira deve ser controlado, para a aplicação do produto, devendo rondar valores iguais ou inferiores a 22%, sendo preferíveis valores mais baixos. Já para a aplicação da madeira, o teor de humidade ideal é o inferior a 20% (Ozelton, 2002). Os nós da madeira soltos ou aderentes, são zonas que requerem atenção especial de modo a não porem em causa a durabilidade do revestimento. Se

estiverem soltos devem ser removidos e substituídos por madeira sã, se forem aderentes pode ser aplicado um isolamento antes do revestimento (Cruz *et al.*, 1997).

Outro aspeto a respeitar é a limpeza da superfície a revestir, que deve estar isenta de pó, gorduras ou partículas pouco aderentes, caso contrário a aderência entre o revestimento e a madeira não fica assegurada. (Cruz *et al.*, 1997)

Apesar de não ser expectável que a aplicação de produtos de proteção da madeira afetem a sua aderência ao suporte é importante que seja previamente verificada a compatibilidade com todos os materiais que possam estar em contato com o produto. Além disso, alguns autores, como Ozelton (2002), recomendam um intervalo de sete dias entre a aplicação do produto e a montagem da madeira de modo a permitir o correto desempenho deste.

3.1.3. O tratamento da madeira

Segundo Mascarenhas (2010), Cruz *et al.* (1997) e Mendes *et al.* (1988), quando se pretende tratar uma peça de madeira, quer se trate de proteção ou de preservação, há que ter em conta:

- A durabilidade da espécie;
- As exigências funcionais;
- As condições do local;
 - a) Condições de humidade e temperatura
 - b) Se a aplicação é feita no exterior ou no interior
 - c) Estado de conservação das construções vizinhas
 - d) Proximidade do terreno
 - e) Severidade da exposição
- As consequências de uma possível deterioração;
 - a) Dependendo se se trata de um elemento de revestimento, decorativo ou estrutural
- A acessibilidade para manutenção;
- A existência de componentes metálicos ou outras restrições estéticas;
- Questões ambientais (toxicidade);
- Custos (custos de aplicação iniciais mais baixos podem determinar uma vida mais curta do revestimento e períodos de manutenção mais curtos e vice-versa).

3.1.3.1. Condições de exposição

O grau de exposição revela-se como um fator determinante no tratamento de uma madeira, devendo ser considerados três aspetos essenciais: a direção da exposição, a inclinação da superfície e as condições climáticas. A direção da exposição mais severa, na Europa, em termos de degradação do produto de revestimento, é entre sul e oeste, e em termos de degradação biológica, a norte. Por outro lado, a degradação será tanto maior quanto menor for o ângulo de inclinação da superfície com a horizontal. Finalmente, as condições climáticas, em que, como já se referiu, a radiação UV, a humidade, a temperatura e a regularidade de precipitação são fatores que influenciam grandemente a degradação dos revestimentos. Assim, as condições de exposição dependem não só do clima mas igualmente da proteção oferecida ao produto de revestimento (Cruz *et al.*, 1997), uma vez que, se este estiver protegido à agentes ou condições deterioradoras, terá maior durabilidade e, por sua vez, proteger melhor e durante mais tempo a madeira.

No caso dos produtos protetores, a norma NP EN 927-1:1997 avalia o ambiente de exposição, subdividindo-o em três classes: suave, médio e severo, considerando não só a proteção oferecida ao produto de revestimento pela construção, mas também o clima do local de exposição. Outras normas apresentam outras formas de avaliação do ambiente de exposição como é o caso da norma inglesa BS 6150:2006.

Já para o caso dos produtos preservadores, são definidas cinco classes de risco consoante a durabilidade natural da madeira, pela norma NP EN 460:1995.

Em casos onde se preveja o contacto simultâneo com diferentes classes de exposição ou de risco, uma das soluções passa pela aplicação de vários produtos em diferentes partes do mesmo elemento, assegurando assim a sua proteção (Santos *et al.*, 2013).

Muitos métodos de preservação existem hoje em dia, cujos processos são já bem conhecidos, bem como as limitações de cada um, estando divididos em métodos com ou sem pressão (Henriques, 2011). Na presente tese só se tratará de aplicações sem pressão, integradas nas classes de uso profissional ou doméstico, ou seja, não industrial.

Para esta dissertação, o método escolhido foi a pincelagem superficial à trincha, que consiste na penetração do produto por ação capilar (§3.2.1.3.). Com o avançar do tempo, os primeiros sinais de degradação serão o aparecimento de fendas (§2.4.2.),

ficando a madeira sujeita a contaminação por fungos e insetos (§2.4.4.), pois nas zonas de abertura das fendas a madeira fica sem proteção (Cruz *et al.*, 1997; Santos *et al.*, 2013).

3.1.4. Manutenção

Como em qualquer tipo de edifício, devem ser feitas inspeções periódicas de modo a avaliar o estado de conservação não só da madeira, mas também do próprio revestimento. Cruz *et al.* (1997) afirmam que a periodicidade da manutenção é um aspeto que varia muito consoante a madeira utilizada, o produto de revestimento e o grau de exposição, devendo por isso ser estudado cada caso em particular, atuando-se logo que se evidenciem os primeiros sinais de deterioração, evitando a sua propagação para as camadas mais profundas da madeira.

Cruz *et al.* (1997) elaboraram um quadro de recomendações para o sistema a implementar consoante o tipo de aplicação que se pretende, dividido consoante a espécie de madeira, o tipo de tratamento, o tipo de produto, o número de camadas a aplicar e o tempo de duração expectável até ser necessária a primeira manutenção (§3.1.4.). Como se explica no **Capítulo 4 - Campanha Experimental** foram escolhidas três velaturas para o estudo, pelo que, segundo o quadro referido, o tempo de duração até à primeira manutenção é variável, dependendo da conceção do produto e respetivo grau de exposição, não sendo expectável um período superior a três anos.

A forma como é feita a manutenção depende igualmente do produto em causa. De uma forma geral, inclui a limpeza da superfície, secagem e lixagem ligeira da madeira, sendo depois aplicado novamente o produto. Se, por outro lado, se pretender remover a totalidade do revestimento ou se se pretender a adição de um tratamento preservador é necessário proceder à lixagem total do revestimento de modo a que a madeira fique no estado inicial antes da aplicação do revestimento (§3.2.1.3.) (Cruz *et al.*, 1997).

3.2. Revestimento decorativo e protetor

Um revestimento decorativo e protetor é uma proteção superficial que oferece melhorias no desempenho da madeira face às condições adversas que afetam a sua estética e durabilidade natural (Santos *et al.*, 2013). Para que o revestimento desempenhe as suas funções de modo correto é necessário que este tipo de produtos tenha propriedades de aderência, flexibilidade, durabilidade, permeabilidade e eventual resistência a fungos. A permeabilidade é uma característica muito importante, por se tratar de um revestimento exterior, pois permite o controlo da absorção de água da madeira pelo ambiente, de forma a minimizar o aparecimento de empenos e fendas (Cruz *et al.*, 1997).

Outra característica deste tipo de revestimentos é a proteção contra os raios ultra violeta (UV), através da adição de pigmentos e outros aditivos absorventes dos raios, atuando como filtros à degradação da madeira (Cruz *et al.*, 1997).

Segundo a NP EN 927-1, os produtos de pintura são classificados segundo três aspetos essenciais: o poder de cobertura (opacidade), o poder de enchimento e o brilho.

O poder de cobertura entende-se como sendo a capacidade de um produto para cobrir, a cor ou o veio da madeira, variando desde transparente a opaco. Esta é a principal característica responsável pela reflexão dos raios UV, sendo que produtos transparentes apresentam menos durabilidade, pela falta de pigmento, fator determinante para a proteção da madeira.

O poder de enchimento, ou espessura do revestimento, depende não só do teor de sólidos que o produto contém, mas também do número de camadas que são aplicadas. De modo geral, uma menor espessura do revestimento resulta numa maior capacidade de transmissão do vapor de água. A NP EN 927-1 divide o poder de enchimento em quatro níveis: mínimo ($<5\mu\text{m}$), baixo ($5-20\mu\text{m}$), médio ($20-60\mu\text{m}$) e alto ($> 60\mu\text{m}$).

O brilho é a capacidade do produto de refletir a luz. Esta é a característica menos determinante para a durabilidade da madeira, no entanto, uma superfície brilhante tem menos tendência a reter sujidades em comparação com uma superfície sem brilho (mate), sendo também mais fácil de limpar. Outra consequência importante do brilho é o facto de proteger a madeira do desgaste. A NP EN 927-1 define cinco classificações para o brilho do produto: mate, semimate, semibrilhante, brilhante e alto brilho.

A proteção superficial apresenta-se inútil quanto ao aparecimento de fungos térmitas se estiverem reunidas as condições favoráveis ao seu aparecimento (§2.4.4.), no entanto, uma proteção de película contínua e resistente ou a impregnação de um tratamento preservador de características repelentes ou tóxicas para os insetos e larvas mostra-se eficiente na interrupção do ciclo de vida dos mesmos (Santos *et al.*, 2013).

3.2.1. Tipologia dos produtos

Os produtos adequados à pintura da madeira utilizada no exterior podem dividir-se em três tipos: tintas, vernizes e velaturas, sendo que apenas os dois primeiros preservam o aspeto natural da madeira utilizada. Todos os tipos de produtos requerem a preparação da superfície antes da sua aplicação e cuidados específicos como se explica seguidamente.

3.2.1.1. Tintas

Uma tinta é um produto pigmentado que, quando aplicado, forma uma película opaca. No processo de pintura utilizam-se geralmente três tipos de tintas aplicadas sequencialmente. São elas o primário, a subcapa e o acabamento.

O primário é a primeira camada a ser aplicada, tendo a função de selante ou isolante da superfície, servindo para garantir a ligação entre o substrato e as camadas seguintes de produto e também como controlo da absorção de humidade da madeira.

A subcapa é a camada intermédia, cujo objetivo é aumentar a espessura, uniformização e opacidade do revestimento.

Finalmente, com propriedades essencialmente decorativas, é aplicado o acabamento, podendo variar entre liso e texturado (Cruz *et al.*, 1997).

Uma típica solução tradicional passa pela preparação de tintas com adição de óleos secativos (óleos de absorção lenta) que melhoram não só o aspeto estético como o desempenho da madeira menos durável (Apud Gettens *et al.*, 1996; Matsukawa, 1999-2002). É uma solução válida até aos dias de hoje, em particular nos casos em que se pretenda dar à construção um aspeto rústico (Santos *et al.*, 2013).

Pela sua pigmentação, as tintas são muito duráveis (Cruz *et al.*, 1997), sendo exetável uma boa conservação da madeira mesmo após três anos de exposição e em espécies de baixa durabilidade natural (Santos *et al.*, 2013), conferindo ainda uma boa proteção da madeira aos UVA's (Cruz *et al.*, 1997).

3.2.1.2. Vernizes

O envernizamento é um processo que deixa à vista a textura da madeira. Um verniz é um produto que, após aplicado, forma uma película sólida contínua, transparente (Cruz *et al.*, 1997) e impermeável (Santos *et al.*, 2013). É o tipo de produto menos durável dos três referidos, dependendo muito do número de demãos aplicadas (Santos *et al.*, 2013), requerendo manutenções frequentes, o que faz com que também seja a opção mais onerosa. Por esta razão, é um produto pouco utilizado desde o aparecimento das velaturas (Cruz *et al.*, 1997).

Nos casos em que a aplicação seja de espessura suficiente, os vernizes têm uma durabilidade razoável até que a película comece a deteriorar-se por perda de elasticidade, uma vez que, mesmo com proteção, são expectáveis movimentos de expansão e retração por parte da madeira, que não acompanhados pela camada protetora, são fator determinante para a sua acelerada destruição do verniz. Iniciando-se este processo é possível a penetração de água na madeira, promovendo então a destruição da madeira (Santos *et al.*, 2013).

Do mesmo modo, sendo um produto de baixa permeabilidade, se não for feita a correta proteção dos topos, permite-se através deles a entrada de água, podendo ocorrer o destaque do produto protetor e da camada superficial da madeira. Além disso, o fato de ser transparente, permite a passagem dos raios UV, degradando a madeira prematuramente. Assim, a utilização deste tipo de produto deve ser reservada a elementos protegidos da incidência direta do sol e da chuva (Cruz *et al.*, 1997).

Outra característica negativa deve-se no momento da manutenção, que exige sempre a remoção total do verniz aplicado e da camada superficial da madeira (até 0,5mm) para que seja possível a colocação de novas camadas (Santos *et al.*, 2013).

Uma solução viável é a da utilização de uma camada fina de velatura antes da aplicação do verniz, para melhorar a sua aderência. Outra precaução importante é a utilização de um tratamento preservador (Cruz *et al.*, 1997).

3.2.1.3. Velaturas

É um produto que, quando aplicado sobre a madeira é total ou parcialmente absorvido, formando uma película não contínua, fina e flexível, que pode ser transparente ou semitransparente. Podendo ter solvente orgânico ou aquoso, é composto

por resinas, corantes e pigmentos, podendo muitas vezes ter propriedades fungicidas (Cruz *et al.*, 1997), se incluir este tipo de substância ativa na sua composição.

Acompanha as contrações e dilatações naturais da madeira, permitindo que esta respire sem comprometer a impermeabilidade à água da chuva. No entanto, o facto de permitir estas variações dimensionais apresenta alguns inconvenientes exigindo maiores folgas e a proteção de ligadores metálicos contra a corrosão, caso estes sejam utilizados.

O desgaste do produto é feito por erosão, não havendo destacamento nem empolamento, facilitando o processo de manutenção.

Com os produtos em solvente aquoso, obtém-se, em geral, menor penetração, necessitando ainda de períodos de secagem subsequentes (Cruz *et al.*, 1997).

As resinas têm função hidrófuga, reduzindo a possibilidade de aparecimento de fendas e empenos. As propriedades fungicidas, protegem unicamente o revestimento, não dispensando a aplicação prévia de um tratamento preservador da madeira em si.

As velaturas são divididas em dois grupos, consoante a espessura de camada formada após aplicação: espessura fina ou espessura média. As finas, pouco viscosas e sem alterações aparentes na madeira após aplicação. Estas têm boa penetração na madeira mas apresentam pouca durabilidade em condições de alta exposição. As velaturas de espessura média são perceptíveis após aplicação e têm menor poder de penetração, pelo que devem ser acompanhadas de uma camada prévia de velatura de espessura fina. Por outro lado, são mais duráveis e resistentes à transmissão de vapor de água (Cruz *et al.*, 1997).

O processo de aplicação de uma velatura deve respeitar os passos esquematizados na **Figura 3.1**.

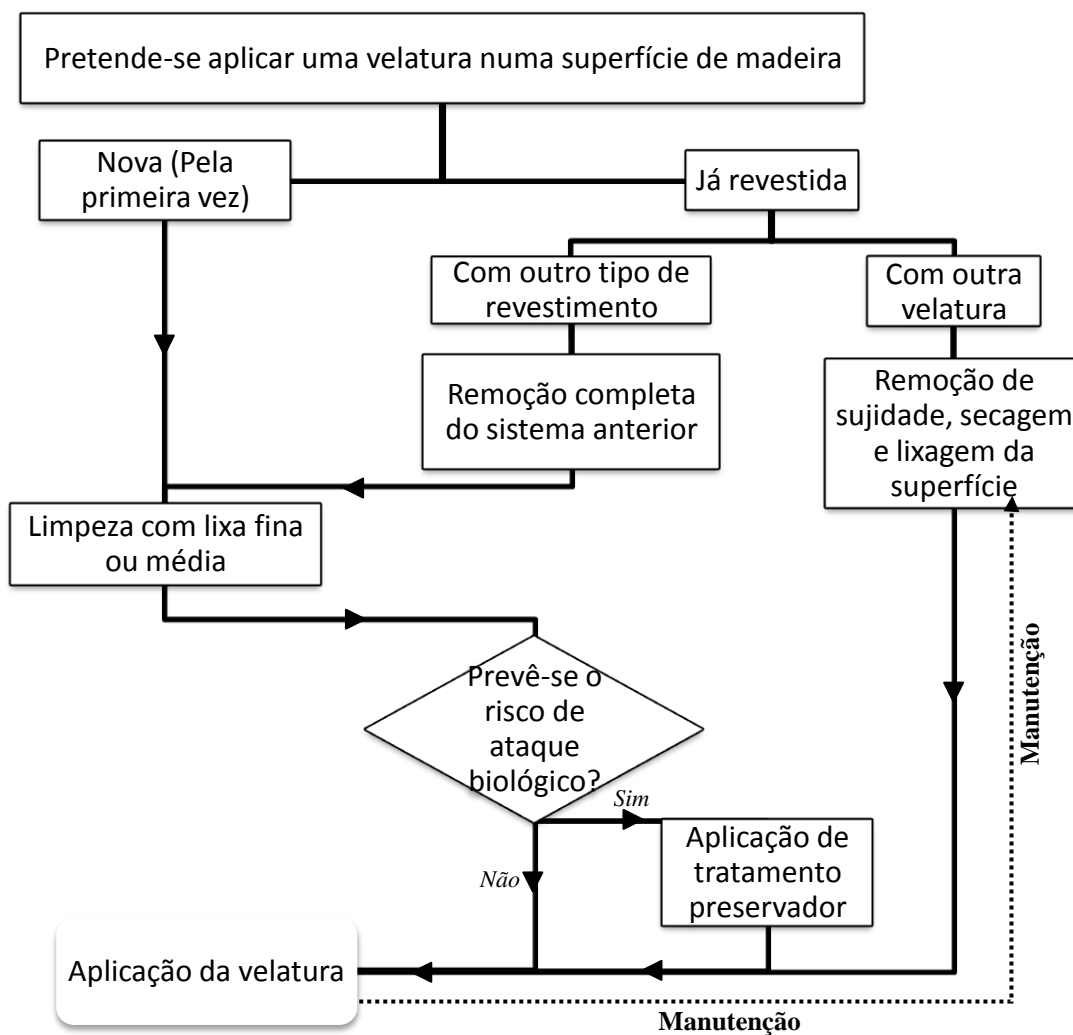


Figura 3.1 - Aplicação de velaturas. Adaptação de Cruz et al. (1997)

Para esta dissertação, foram utilizadas três velaturas de diferentes fabricantes, como exposto no **Capítulo 4 - Campanha Experimental**.

3.3. Tratamento preservador

Apesar de não ser sobre este tipo de tratamento que incide a dissertação, é de referir que a necessidade de tratamento da madeira com produtos preservadores é sempre importante, em particular no caso de revestimentos exteriores, uma vez que o risco de infeções ou infestações por agentes biológicos é elevado. Existem produtos decorativos e protetores com ação fungicida, no entanto estes não devem ser considerados tratamentos preservadores uma vez que só fazem uma proteção do próprio revestimento, e não da madeira em si, contra fungos e bolores. Assim, em situações reais, as soluções deverão sempre passar pela inclusão dos dois tipos de produtos, protetor e preservador, de modo a aumentar a vida útil da madeira não só em termos estéticos mas também estruturais e, por essa razão, incluíram-se aqui os aspetos essenciais dos tratamentos preservadores.

Os produtos de tratamento preservador são classificados consoante a sua capacidade de solubilização em óleo ou em água, podendo ser, por isso, óleosolúveis ou hidrossolúveis, cada um com as suas próprias especificidades, vantagens e desvantagens (Henriques, 2011).

A escolha do tipo de produto mais adequado consoante a espécie da madeira e os agentes a que está exposta é feita com o auxílio da EN 351-1:2007.

3.3.1. Fatores que afetam o tratamento preservador

A eficácia de um determinado tratamento preservador está ligada essencialmente a três fatores tendo por base a retenção e a penetração do produto, sendo eles (Mendes *et al.*, 1988):

- O tipo de tratamento;
- A técnica utilizada na aplicação;
- Espécie de madeira a tratar.

Define-se retenção como a quantidade de produto preservador contido num determinado volume de madeira, em kg/m^3 , após secagem do solvente (Henriques, 2011). Por outro lado, define-se como penetração a forma como o produto se distribui pela peça a tratar, existindo cinco classificações possíveis: Total e uniforme (TU), Parcial periférica (PP), Parcial irregular (PI), Vascular (V) e Nula (N), conforme se mostra na **Figura 3.2** (Mendes *et al.*, 1988).

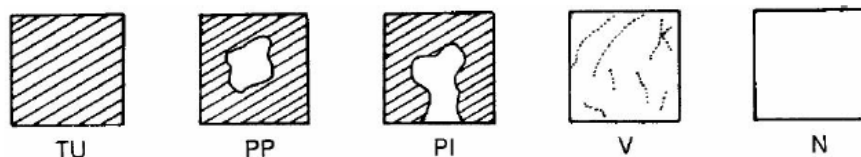


Figura 3.2 - Tipos de penetração do produto preservador na madeira. (Mendes *et al.*, 1988)

Uma peça que apresente uma alta retenção mas tenha penetração irregular considera-se como mal preservada, uma vez que será nas zonas irregulares (isentas de produto preservador) que mais facilmente se darão os primeiros sinais de degradação. É importante ainda referir que a retenção e penetração são fatores mais determinantes quando o tratamento é feito de forma industrial e dependem essencialmente dos fatores físicos envolvidos no processo de tratamento: a pressão, a temperatura e o tempo de aplicação (Mendes *et al.*, 1988).

A norma EN 351-1: 2007 define nove Classes de Penetração de produto preservador líquido, P1 a P9, fazendo a correspondência da profundidade de penetração com o nível de retenção de produto e com a Classe de Risco a que o elemento esteja sujeito.

4. CAMPANHA EXPERIMENTAL

No presente capítulo apresentam-se, numa primeira fase, os materiais escolhidos para desenvolvimento do trabalho experimental, incluindo as razões para a sua seleção e os pressupostos de trabalho considerados. Seguidamente, são apresentados os métodos desenvolvidos durante todas as fases do trabalho laboratorial, desde a preparação dos provetes, a sua exposição, recolha e ensaios de avaliação, devidamente descritos e fundamentados.

Muitos dos fundamentos teóricos referidos doravante foram baseados na norma EN 927, composta por seis partes, referente aos produtos de pintura e esquemas de pintura para a madeira em exteriores.

4.1. Materiais

4.1.1. Provetes

Para os ensaios laboratoriais desenvolvidos, foram utilizados provetes com as dimensões exteriores de 10 x 95 x 150 mm (**Figura 4.1**), cortados a partir de régulas para lambris prontos a utilizar em madeira de abeto e outras espécies de *pinaceae*, com encaixe macho-fêmea. Os provetes são de cerne e borne, com várias disposições dos anéis e alguns apresentando nós, tendo sido seleccionados, os provetes com menos defeitos visíveis.

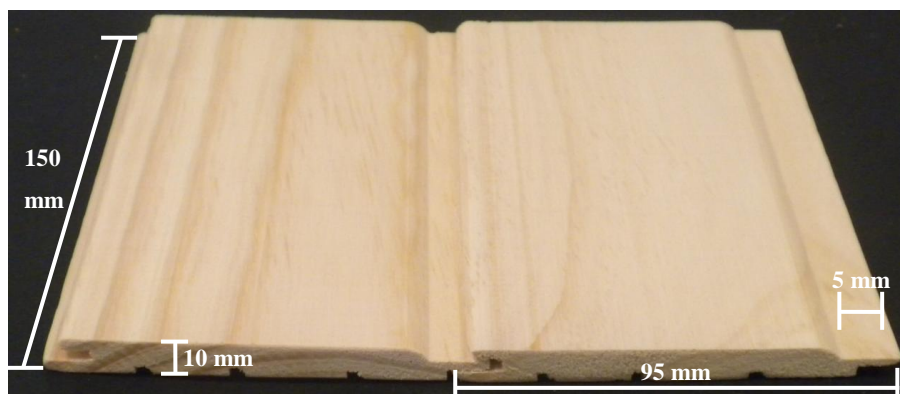


Figura 4.1 - Dimensões dos provetes

A utilização de provetes a partir de madeira já preparada para colocação como lambril deveu-se à pretensão de simulação da situação real de utilização das peças para

revestimento. Foi escolhido este perfil de lambril, dentro das opções comerciais disponíveis, esperando-se que a sua durabilidade natural e menor espessura permitissem evidenciar os efeitos de degradação esperados para o tempo de exposição disponível, dada a escassez de tempo disponível para o desenvolvimento da tese.

Pela EN 927-3:2000, norma referente ao ensaio de envelhecimento natural da madeira, as dimensões dos provetes devem ser de 20 x 100 x 375 mm, no entanto, para o estudo apresentado, estas foram condicionadas pela dos lambris originais disponíveis para compra, tendo-se optado por sensivelmente metade das dimensões da norma em cada uma das direções.

Estes provetes foram agrupados em cinco grupos (**Figura 4.2**), um para cada tipologia de degradação. Cada grupo é, por sua vez, composto por quatro lotes, correspondentes a cada produto de proteção aplicado, replicado sete vezes, sendo o número total de provetes 140. Dos quatro lotes referidos, um deles ficou sem tratamento, servindo como lote de controlo.



Figura 4.2 - Agrupamento de provetes

Após agrupamento dos provetes, e antes de se iniciar a aplicação dos produtos protetores, foi criada uma nomenclatura para separação dos mesmos conforme o produto utilizado, o local de exposição e o número do provete, como se indica.

Pxx-Xx-Xx

i – Número do provete $\underbrace{\quad\quad\quad}_{\text{i}} \quad \underbrace{\quad\quad\quad}_{\text{ii}} \quad \underbrace{\quad\quad\quad}_{\text{iii}}$

ii – Local de exposição

iii – Produto de proteção

Foram depois lixadas quaisquer irregularidades (**Figura 4.3a** e **4.3b**) e feito o registo da massa de cada provete individual (**Figura 4.3c**). Os provetes foram depois colocados em ambiente controlado (**Figura 4.3d**) de $60 \pm 5\%$ HR e $21 \pm 2^\circ\text{C}$, tendo sido

feitas pesagens periódicas até estabilização do seu teor em água, tomando-se como referência o disposto na norma NP 614:1973 sobre a determinação do teor em água, ponto a partir do qual se iniciou a aplicação dos produtos de proteção (**Figura 4.3e**).

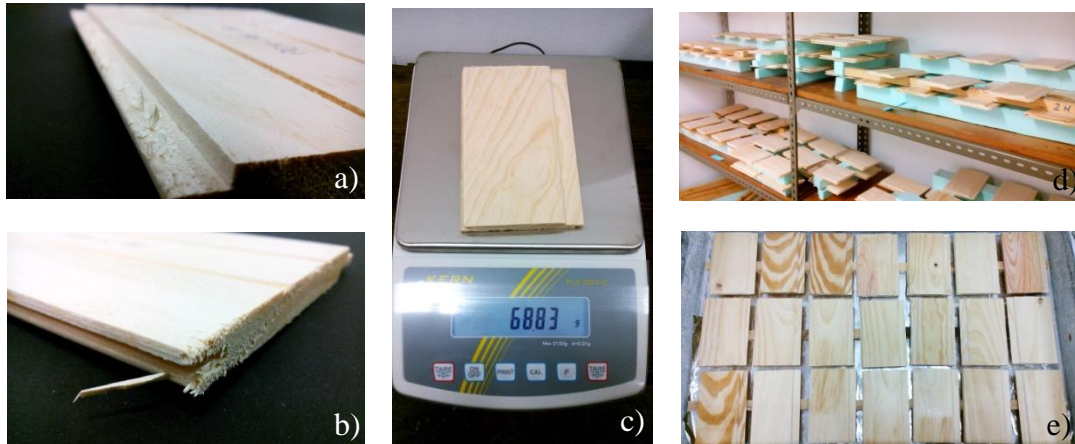


Figura 4.3 - Preparação dos provetes

4.1.1.1. Determinação do teor em água

Segundo a norma NP 614:1973, o teor em água de referência de um provete de madeira é de 12%, para condições ambientais de humidade relativa de $65 \pm 5\%$ e temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$. No entanto, e apesar de a maioria das normas tomar este valor como referência, como referido atrás, as condições da sala de acondicionamento foram ligeiramente diferentes, resultando em valores de teor em água ligeiramente superiores aos de referência.

Quando todas as amostras se encontravam estabilizadas, por aplicação da norma referida, foi seca em estufa uma amostra de cinco provetes, determinando-se o valor real de teor em água, a partir do qual se admitiu que todos os outros provetes teriam o mesmo teor.

O processo descrito na norma envolve a pesagem de cada provete (**Figura 4.4b**) e a sua secagem em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ (**Figura 4.4a** e **4.4c**), deixando-se depois arrefecer no exsiccador (**Figura 4.4d**) antes de nova pesagem. Este é um processo repetitivo e intervalado (24 horas iniciais seguidos por períodos de 2 horas) até que se obtenham duas pesagens consecutivas com diferenças de massa inferiores a 0,5%.

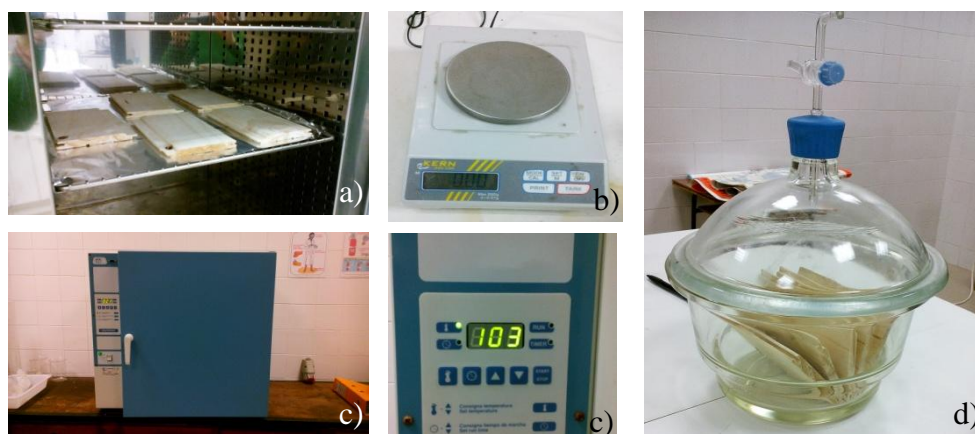


Figura 4.4 - Determinação do teor em água dos provetes

O cálculo do teor em água é feito através da fórmula abaixo, onde m_1 é a massa do provete húmido (g) e m_2 a massa do provete seco (g), sendo o valor obtido expresso em percentagem (NP 614:1973).

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

Deste modo, foi possível obter-se um teor em água de, aproximadamente, 14% para os provetes a ensaiar. As tabelas que contém os cálculos efetuados para o teor em água obtido encontram-se no **Anexo A1**.

Para determinação do teor em água, pode também utilizar-se um higrómetro de superfície, sendo contudo um método com maior grau de erro, pouco fiável na presença de eventuais fendas ou rugosidades da peça a ensaiar (AITC, 1994).

4.1.1.2. Determinação da massa volúmica

A determinação da massa volúmica a partir do teor em água da madeira foi feita com base na norma NP 616:1973 através da fórmula abaixo, onde ρ_H é a massa volúmica ao teor em água calculado pela NP 614:1973, m_H é a massa volúmica do provete (Kg) e V_H o volume do provete (m^3).

$$\rho_H = \frac{m_H}{V_H} \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

Assim, concluiu-se que a massa volúmica dos provetes tem uma média e desvio padrão de $467 \pm 75 \text{ Kg/m}^3$. As tabelas que contém os cálculos efetuados para o teor em água obtido encontram-se no **Anexo A2**.

4.1.2. Produtos

Pretendendo-se avaliar o desempenho de vários revestimentos decorativos e protetores da madeira, foram selecionados três produtos dentro dos disponíveis no mercado português, com algumas características comuns e outras díspares de modo a ser possível avaliar qual o produto mais adequado para diferentes condições de exposição. Assim, foram escolhidas três velaturas cujas marcas e designações comerciais são: Dyrup - Bondex, Xylazel - Madex Aqua e NanoPhos - SurfaPore W. De forma a facilitar a nomenclatura dos produtos, foi dada a seguinte abreviatura à designação dos produtos: Bondex - *Bx*, Madex - *Mx* e SurfaPore W - *Sp*.

Para os produtos escolhidos, pretendeu-se avaliar a sua capacidade de resposta à intempérie (simulando as paredes exteriores sem contacto com o solo) e ao ataque por fungos (simulando as paredes exteriores em contacto com o solo).

A escolha de velaturas deveu-se às suas características que permitem a absorção do produto pela madeira, formando uma película não contínua, fina e flexível, que permite que esta se contraia e dilate, sem comprometer a impermeabilidade à água da chuva. Além disso, foram consideradas características fungicidas, de durabilidade, reversibilidade², cor, facilidade de manuseamento, tempos de secagem, acabamento final, facilidade de manutenção, facilidade de aquisição, preço, entre outros.

4.1.2.1. Bondex - Bx

Segundo indicação do fabricante, este produto é uma "*velatura para madeira de acabamento transparente e corada, formulado com resinas acrílicas em fase aquosa. A sua inovadora fórmula com TEFLON®, proporciona uma proteção e qualidade superior à película que a velatura forma sobre a madeira, conferindo uma ótima impermeabilização*".

O fabricante indica ainda, ser este um produto de elevada resistência no exterior e proteção contra os raios UV, com manutenções fáceis sem necessidade de lixagem prévia. É ainda indicada a facilidade de aplicação do produto, sendo recomendada a aplicação de duas a três demãos à trincha no sentido do veio da madeira, resultando num acabamento acetinado.

Como preparação da superfície indica-se que deve estar "*compacta, seca (grau*

² Ser possível remover completamente o produto sem que sejam perdidas propriedades na madeira

de humidade inferior a 18%) e isenta de pó, gordura, bolores, etc.". É ainda recomendada a eliminação da pintura ou verniz anterior (caso existam) e a aplicação prévia de uma ou duas demãos de Bondex Tratamento para proteção a ataques de insetos xilófagos e fungos, o que não foi feito, com o intuito de limitar o número de variáveis no estudo.

É o produto mais viscoso dos três utilizados, (embora essa informação não seja fornecida), de consistência gelatinosa, cor branca e com um odor considerado de intensidade média pois desaparece após alguns minutos.

A manutenção do produto envolve a limpeza da superfície com um pano, não havendo necessidade de lixagens ou decapagens prévias, recomendando-se nova aplicação de uma a duas demãos de produto.

A marca disponibiliza, para este produto, uma gama de cores para alterar a cor natural da madeira, bem como uma opção incolor que foi a escolhida para ensaio. É advertida na embalagem a possibilidade de durabilidade inferior do produto incolor pela ausência de pigmento, sendo também indicado que as condições de degradação extremas se dão em exposições com orientação de Sul a Sudoeste e inclinações com a vertente horizontal entre 0° e 45°.

4.1.2.2. Madex - Mx

Segundo indicação do fabricante, este produto é uma "*velatura incolor de dispersão aquosa de copolímero³ acrílico core-shell⁴ impermeável e à prova de intempéries. Ele contém uma combinação de pigmentos inorgânicos e aditivos orgânicos à escala nanométrica microencapsulados, permitindo a absorção da radiação UV de forma eficaz*". Na embalagem, o produto é caracterizado como "*protetor decorativo especialmente desenvolvido para proteger a madeira contra humidades e intempéries. Acabamento acetinado ou mate. Resistência e durabilidade: evita a degradação causada pela humidade e pelos raios UV. Contém princípios ativos, conferindo ao filme uma barreira protetora contra o aparecimento de fungos e bolores*", tendo sido escolhida a opção com acabamento acetinado, tal como no caso do produto anterior.

³ Polímero formado por diferentes monómeros. Um monómero é uma pequena molécula que pode ligar-se a outras formando moléculas maiores (polímeros)

⁴ Nanopartículas compostas por um núcleo (core) e uma camada exterior (shell)

Como preparação da superfície indica-se que deve estar "*limpa, seca e isenta de poeiras*". Recomenda-se também a aplicação de uma ou duas demãos de Xylazel Fondo para proteção contra ataques de insetos xilófagos e fungos, o que não foi feito, pelas mesmas razões apresentadas para o produto anterior.

É um produto líquido mas com alguma viscosidade (embora essa informação não seja fornecida), de cor branca e com uma intensidade de odor média pois desaparece após alguns minutos.

A manutenção do produto é muito semelhante à do anterior e, também como o produto anterior, a marca disponibiliza uma gama de cores para alterar a cor natural da madeira, bem como uma opção incolor que foi a escolhida para ensaio. É advertido na embalagem a durabilidade inferior do produto incolor para madeiras expostas ao sol.

4.1.2.3. SurfaPore W - Sp

Segundo indicação do fabricante, este produto "*foi criado baseado nas propriedades únicas das superfícies em madeira. A combinação de um conjunto de ingredientes ativos, repelem a água sem alterar o aspeto natural da madeira. Pode ser utilizado como um primário antes da aplicação de vernizes ou outra qualquer proteção*". É ainda dito que "*providencia uma estabilidade dimensional às superfícies em madeira mesmo nos ambientes mais húmidos. Repele água de forma muito ativa, impedindo a degradação das suas superfícies em madeira. Muito versátil e de fácil aplicação, não contém inseticidas. A resistência à degradação advém do facto de o interior da madeira ficar livre de humidades*".

Para aplicação do produto, é recomendada uma limpeza prévia das superfícies a tratar antes de iniciar a aplicação. Esta deve ser feita por meio de um pincel, rolo ou pulverizador, cobrindo toda a superfície com o produto. Deve permitir-se a absorção do produto durante 30 segundos ou até se verificar que a madeira não absorve mais produto, ponto a partir do qual se deve remover o excesso com um pano suave. A proteção ótima contra a humidade dá-se a partir das 24 horas de secagem.

É um produto muito líquido, incolor, com viscosidade de 20mPa.s⁵, não sendo esperadas alterações visíveis à superfície da madeira onde é aplicado o produto. O odor, aquando da aplicação, é de intensidade suave e desaparece rapidamente.




⁵ mPa = milipascal 1 mPa= 1x10⁻³ Pa

Como forma de comparação, indica-se a viscosidade de alguns outros líquidos (a 20°C), como a água (1,003mPa.s), o azeite (81mPa.s) ou o ácido sulfúrico (30mPa.s).

4.1.2.4. Resumo das características dos produtos escolhidos

De acordo com as informações já fornecidas nos pontos anteriores, foram compilados no **Quadro 4.1** as características essenciais e relevantes dos produtos escolhidos para desenvolvimento dos ensaios.

Quadro 4.1 - Caracterização dos produtos de proteção utilizados

	Nomenclatura usada	<i>Bx</i>	<i>Mx</i>	<i>Sp</i>
Produto	Marca	Dyrup	Xylazel	NanoPhos
	Produto	Bondex	Madex	SurfaPore W
	Tipo	Velatura	Velatura	Velatura
	Embalagem ⁽¹⁾			
	Origem	Portugal	Espanha	Grécia
Aquisição	Local	Leroy Merlin	Aki	⁽²⁾
	Quantidade (L)	0,75	0,75	⁽²⁾
	Preço (€/L) ⁽³⁾	13,72	14,33	⁽²⁾
Características	Solvente ⁽⁴⁾	Aquoso	Aquoso	Aquoso
	Eficiência (m ² /L) ⁽⁴⁾	10 a 15	12 a 16	6 a 8
	Número de demãos aplicadas	2	2	n.a.
	Cor final escolhida ⁽⁴⁾	Incolor	Incolor	Incolor
	Cor do produto fresco	Branco	Branco	Incolor
	Acabamento	Acetinado	Acetinado	Mate
	Intensidade do odor ⁽⁵⁾	Médio	Médio	Suave
	Densidade ⁽⁴⁾	1,03	1,04	0,98
	Viscosidade (mPa.s)	n.i.	n.i.	20
	Secagem ao tato (min) ⁽⁴⁾	30	60	n.a.
	Secagem entre demãos (h) ⁽⁴⁾	3	3	n.a.
Secagem para utilização (h) ⁽⁴⁾	12	12	24	

n.a. - não aplicável

n.i. - não indicado

⁽¹⁾ Em 2014

⁽²⁾ Produto fornecido pela orientadora

⁽³⁾ Em 2014, valor estimado a partir da quantidade de 0,75L

⁽⁴⁾ Informação do fabricante

⁽⁵⁾ Estimado por observação em ensaio (21 ± 2°C)

4.1.3. Conclusões preliminares

Como foi referido, os produtos Bondex e Madex devem ser utilizados em conjunto com outros de modo a garantir a proteção contra ataques de insetos xilófagos e fungos, sendo também referida a incapacidade de resistência a este ataque por parte do SurfaPore W. No entanto, por não se pretender adicionar variáveis aos ensaios, porque cada produto preservador que fosse adicionado criaria novos leques de resultados, optou-se por excluir esta proteção, verificando, ainda assim, qual a sua capacidade de resposta sem o produto recomendado pelo fabricante.

De modo geral todos os produtos têm preparações de superfície para aplicação semelhantes, e tempos de secagem semelhantes, exceto o SurfaPore, pelas suas características mais absorventes.

Existe igualmente diferença no aspeto final dos provetes tratados, uma vez que o acabamento dos dois primeiros produtos é acetinado (**Figura 4.5**), ao contrário do SurfaPore que se assemelha ao aspeto da madeira não tratada.

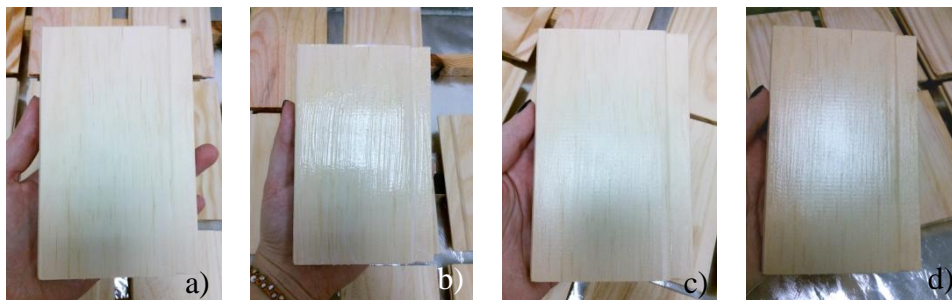


Figura 4.5 - Exemplo do processo de pintura dos provetes de acabamento acetinado. a) sem pintura; b) Primeira demão (fresco); c) Primeira demão (seco); d) Segunda demão (seco)

4.2. Métodos

No estudo desenvolvido pretendeu-se avaliar o comportamento do revestimento e da própria madeira às intempéries. No entanto, ao construir uma parede exterior de madeira, esta ficará, em parte, em contacto com o solo, promovendo a possibilidade de ataque por insetos xilófagos e fungos. Assim sendo, o estudo foi dividido em duas partes essenciais: a degradação natural (§4.2.1.), simulando os provetes sem contacto com o solo, e a degradação laboratorial (§4.2.2.), onde é promovida a degradação dos provetes enterrando-os em solo inoculado com fungos. A preparação dos provetes bem como todas as especificidades relevantes à tipologia de degradação imposta são indicadas nos capítulos referidos. Findos os períodos de degradação os provetes são recolhidos, ponto a partir do qual se iniciam os ensaios de avaliação (§4.2.3.).

4.2.1. Degradação natural

O comportamento de uma peça de madeira e do tipo de produto de proteção que lhe é colocado, depende, não só da interligação entre ambos os componentes, mas também e em grande parte, das condições de exposição, sendo por isso difícil obter conclusões definitivas para a durabilidade de um produto ou os seus períodos de manutenção, devendo ser feita uma correlação com o local onde se pretende colocar a madeira protegida.

Outro problema relacionado com este tipo de estudos deve-se ao grande número de variáveis não controláveis e não mensuráveis, dificultando o processo de recolha de dados para posterior comparação, como é o caso da intensidade e duração da radiação solar ou pluviosidade. Ainda assim foram feitos os possíveis para reconhecer o maior número de variáveis sendo também feito um esforço no sentido de replicar o maior número destas pelos vários locais de degradação, de forma a criar padrões comparativos no final dos períodos de exposição.

De forma a facilitar o transporte e colocação dos provetes, estes foram colocados em painéis, conforme se explica mais à frente.

4.2.1.1. Tipologia dos locais de degradação

Tendo em conta o que já foi referido, foram escolhidos três locais distintos para que se obtivessem resultados mais ou menos representativos das possibilidades de exposição em Portugal:

- Junto à costa (ambiente salino);
- Num grande centro urbano (ambiente poluído);
- No interior do país (ambiente de elevada amplitude térmica).

A altura face ao solo a que os provetes foram colocados é variável, não só por se tratar de diferentes zonas, mas também por condicionantes relacionadas com os locais de fixação. Uma variável replicável foi a inclinação de exposição, a $25 \pm 4^\circ$ em relação à horizontal, bem como a orientação entre Sul e Sudoeste a que foram colocados todos os provetes.

Os locais de degradação escolhidos foram, para o ambiente salino, a Ericeira, para o ambiente poluído, Lisboa e para o ambiente de elevada amplitude térmica, a aldeia alentejana de Montalvão, na freguesia de Nisa. De forma a facilitar a nomenclatura dos provetes, foi dada a seguinte abreviatura à designação dos locais: Ambiente Salino - *AS*, Ambiente Poluído - *Lx* e Ambiente de elevada amplitude térmica - *Al*.

O zonamento climático do País baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, cuja composição por municípios tem por base o Decreto-Lei n.º 68/2008 de 14 de abril de 2008, alterado depois pelo Decreto-Lei n.º 85/2009, de 3 de abril e pela Lei n.º 21/2010 de 23 de agosto. Assim, os dois primeiros locais escolhidos encontram-se na sub-região da Grande Lisboa e o terceiro corresponde à sub-região do Alto Alentejo, respetivamente.

Para a Ericeira, o local escolhido para a colocação do painel de ensaio foi no primeiro piso de uma moradia à entrada da vila, na Rua das Lombas, ficando a uma distância de aproximadamente 400 metros da costa, não tendo quaisquer obstruções (**Figura 4.6**).



Figura 4.6 - Localização do ambiente salino escolhido - Ericeira. (Google Maps)

Já no caso de Lisboa, o local escolhido foi o parque de estacionamento da empresa Solbel, situada na Avenida Marechal Gomes da Costa (**Figura 4.7**).



Figura 4.7 - Localização do ambiente poluente escolhido - Lisboa. (<http://solbel.pai.pt-esq.> ; Google Maps - dta.)

Finalmente, o local de amplitude térmica elevada escolhido foi a aldeia de Montalvão, em Nisa, numa moradia unifamiliar na Rua da Vinha (**Figura 4.8**).



Figura 4.8 - Localização do ambiente de amplitude térmica elevada escolhido - Montalvão. (Google Maps)

4.2.1.2. Preparação dos provetes

Como se referiu os provetes foram colocados em painéis com as dimensões indicadas na **Figura 4.9**, de modo a acomodar um lote de cada produto mais um lote de controlo, cada um composto por sete provetes.

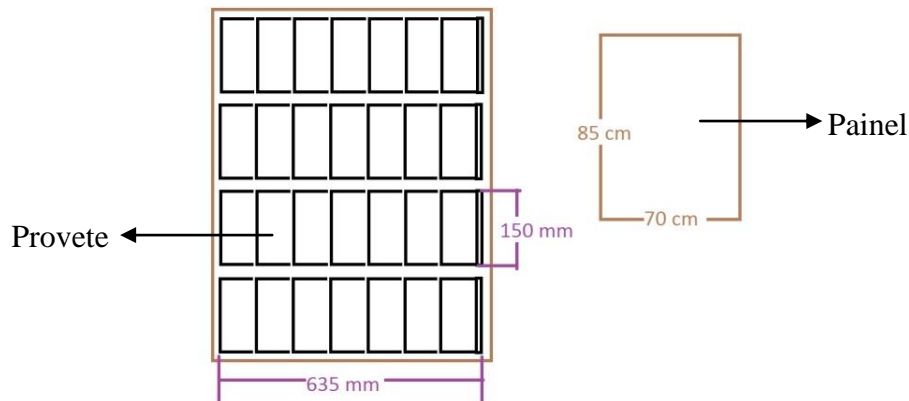


Figura 4.9 - Dimensões dos painéis

Foi escolhida uma placa de aço inoxidável para a construção dos painéis de modo a formar não só uma estrutura mais resistente mas também inócua aos provetes, evitando a sua degradação adicional devida à eventual formação de ferrugem. A placa foi dividida (**Figura 4.9**) e furada de modo a acomodar todos os provetes no local pretendido (**Figura 4.10a e 4.10b**).

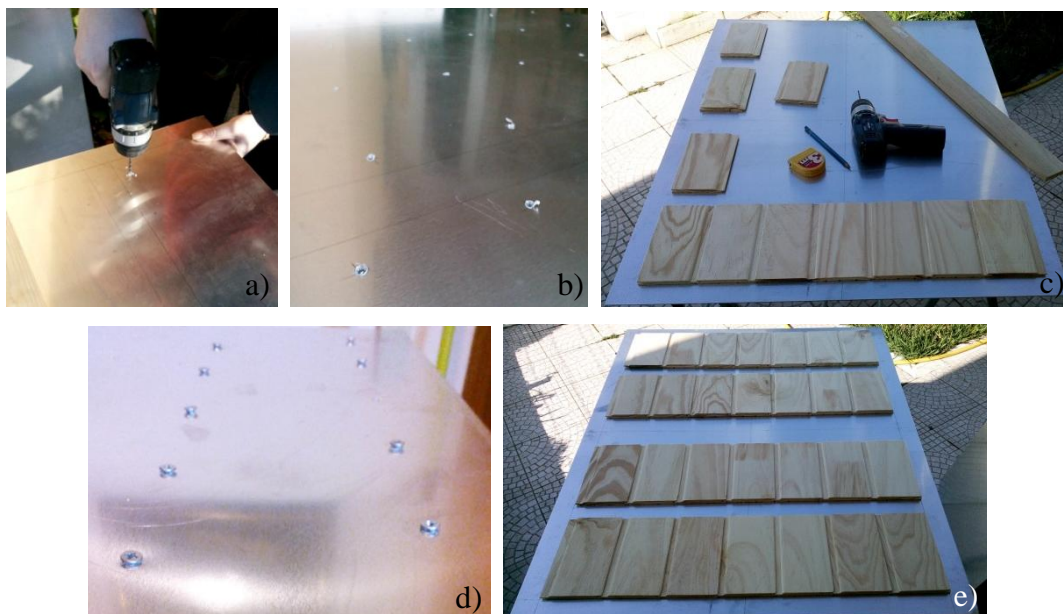


Figura 4.10 - Montagem dos painéis

Os provetes dentro do mesmo lote foram encaixados uns nos outros (**Figura 4.10c e 4.10e**) e fixos ao suporte por meio de parafusos de aço zincado para madeiras (**Figura 4.10d**), sendo colocados dois por cada provete.

4.2.1.3. Colocação dos provetes no ambiente de degradação

Ambiente Salino - AS

O painel foi colocado a degradar no dia 22 de Março de 2014. Pela tipologia do edifício, o local escolhido foi a varanda virada a Sudoeste, sendo o painel fixado à guarda da varanda (**Figura 4.11**). A inclinação foi garantida com a ajuda de um inclinómetro digital (**Figura 4.11a**).



Figura 4.11 - Colocação do painel na Ericeira (AS)

Ambiente de elevada amplitude térmica - AI

O painel foi colocado a degradar no dia 29 de Março de 2014. Pela tipologia da moradia, o local escolhido foi numa das águas do telhado da garagem virada a Sudoeste, sendo o painel fixado às telhas (**Figura 4.12a e 4.12b**). A inclinação foi garantida com a ajuda de um inclinómetro digital (**Figura 4.12c**). Neste caso foi esta a inclinação que serviu de base para as restantes, uma vez que esta advém da inclinação da própria água do telhado e não pôde ser alterada.

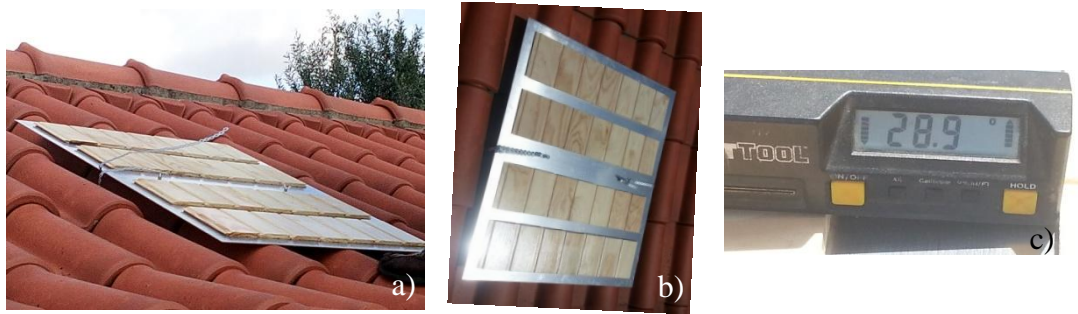


Figura 4.12 - Colocação do painel em Montalvão (Al)

Ambiente poluído - Lx

O painel foi colocado a degradar no dia 19 de Abril de 2014. Inicialmente pensou-se em colocar o painel no Campus do ISEL, no entanto, não tendo sido possível, foi colocado no Edifício Solbel, situado na mesma área geográfica. Pela tipologia do edifício, o local escolhido foi a grade virada a Sudoeste que delimita o terreno, na zona de estacionamento, fixada a esta (**Figura 4.13**). A inclinação foi garantida com a ajuda de um inclinómetro digital.



Figura 4.13 - Colocação do painel em Lisboa (Lx)

4.2.1.4. Recolha dos provetes

Ambiente Salino - AS

O painel foi deixado a degradar no local referido durante seis meses, tendo sido retirado no dia 22 de Setembro de 2014. No dia em que foi retirado o painel tinha chovido na noite anterior, pelo que os provetes se encontravam húmidos (**Figura 4.14**).

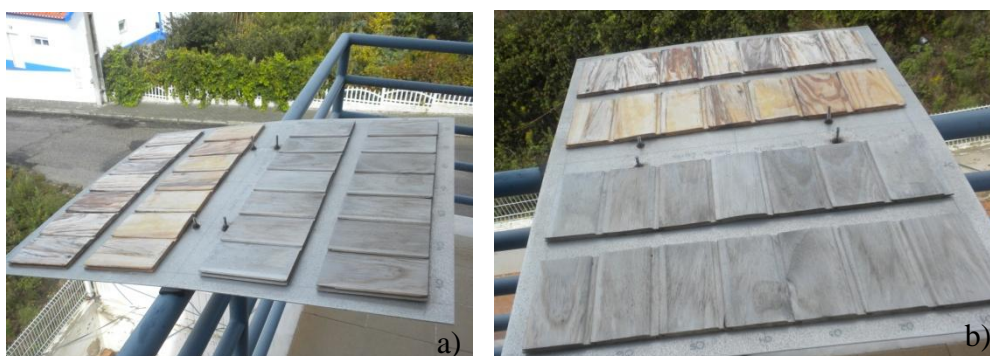


Figura 4.14 - Painel da Ericeira (ao fim de seis meses)

Ambiente de elevada amplitude térmica - A1

O painel foi deixado a degradar no local referido durante aproximadamente seis meses, sendo retirado no dia 28 de Setembro de 2014. No dia em que foi retirado o painel estava a chover, pelo que os provetes se encontravam muito molhados. Verificou-se também que um dos provetes estava partido e tinha deslizado do seu suporte (**Figura 4.15b**) e um outro foi arrancado e estava livre no telhado (**Figura 4.15c**).

É de referir que, no início de Setembro, houve um incêndio na aldeia de Montalvão, aproximando-se bastante do local onde o painel foi fixo, tendo este facto de ser tido em conta num possível potenciamento na degradação dos provetes.



Figura 4.15 - Painel de Montalvão (ao fim de seis meses)

Ambiente poluído - Lx

O painel foi deixado a degradar no local referido durante aproximadamente cinco meses, tendo sido retirado no dia 19 de Setembro de 2014. No dia em que foi retirado o painel estava bom tempo pelo que os provetes estavam secos ao toque (**Figura 4.16**).



Figura 4.16 - Paineis de Lisboa (ao fim de cinco meses)

Todos os painéis foram recolhidos e levados para o Laboratório de Materiais de Construção (LMC) do ISEL, onde foram desmontados, feito o registo fotográfico de todos os provetes e registo da sua massa. Seguidamente foram colocados em ambiente controlado de $60 \pm 5\%$ HR e $21 \pm 2^\circ\text{C}$ até estabilização, tal como preconizado em §4.1.1 aquando a preparação dos provetes.

4.2.2. Degradação laboratorial

A segunda fase do trabalho experimental envolveu a simulação da degradação do revestimento estando este em contacto com o solo resultando em exposições à humidade superiores bem como a propensão a ataque biológico. Deste modo, foi ensaiado um grupo de provetes de cada lote, enterrados numa mistura de solos seleccionados e inoculados com um fungo, neste caso *Postia Placenta*, fungo de podridão castanha. O método de degradação laboratorial utilizado foi desenvolvido por Henriques (2011) no LNEC e complementada por Neves (2013) no LMC do ISEL.

4.2.2.1. Preparação dos provetes

A preparação do solo foi feita a partir da adaptação da norma DD CEN/TS 15083-2:2005, sendo recomendada a utilização de solo natural ou argiloso sem produtos químicos e com capacidade de retenção de água WHC (Water Holding Capacity), entre 25 e 60%, de modo a promover-se a propagação e degradação da madeira por fungos.

A composição do solo seguiu os trabalhos realizados por Henriques (2011) e Neves (2013), por se ter revelado uma mistura com resultados positivos em ambos os casos, contribuindo igualmente para o enriquecimento dos resultados desta mistura para

várias espécies de madeira. A mistura contém terra de jardim, turfa comercial e areia calibrada (de 250 µm a 2 mm), num traço mássico de 40/40/20.

A mistura foi feita no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) do ISEL, tendo-se determinado, segundo a norma referida, a quantidade de água a adicionar à mistura para garantir o WHC pretendido e tendo em conta dos resultados obtidos anteriormente por Neves (2014). A composição final utilizada para o solo foi a apresentada no **Quadro 4.2**.

Quadro 4.2 - Composição da mistura de terra utilizada

Componente	% Massa	Massa total da mistura (Kg)
Terra de Jardim	32,47	8
Turfa Comercial	32,47	8
Areia (250 µm a 2mm)	16,24	4
Argila expandida	3,69	0,9
Água	16,13	3,9

Foi depois adicionada à mistura uma parte de solo inoculada pelo fungo pretendido, que tinha servido de base ao trabalho de investigação de Neves (2014).

4.2.2.2. Colocação dos provetes no ambiente de degradação

O procedimento de ensaio foi igualmente adaptado da norma DD CEN/TS 15083-2:2005 e envolveu:

- Preparação dos provetes conforme descrito em §4.1.1.;
- Preparação da mistura de terra de acordo com as quantidades referidas em §4.2.2.1. (**Figura 4.17a**);
- Humedecimento dos provetes, por imersão, durante duas horas (**Figura 4.17b**);
- Distribuição dos provetes pelas floreiras (contentores de ensaio) (**Figura 4.17c**), estando os provetes do mesmo lote encaixados entre si, e garantindo uma distância mínima de 20 mm entre outros do mesmo lote (**Figura 4.17**), as paredes e fundo do contentor de ensaio (**Figura 4.17d**);
- Registo da posição de cada lote (**Figura 4.17g**) e aplicação de proteção sobre cada contentor de ensaio (**Figura 4.17f**);
- Colocação dos provetes em câmara acondicionada a $80 \pm 5\%$ HR e $27 \pm 2^\circ\text{C}$;

- Controlo semanal da humidade do solo à superfície, com humidificação uniforme quando necessário.



Figura 4.17 - Procedimento para degradação laboratorial

O início dos trabalhos, com a preparação da terra laboratorial foi feito no dia 11 de Março de 2014, tendo sido os provetes colocados nas floreiras no dia 18 de Março de 2014.

4.2.2.3. Recolha dos provetes

Ao fim de seis meses de degradação, no dia 18 de Setembro de 2014, os provetes foram retirados dos contentores de ensaio (**Figura 4.18a** e **4.18b**), limpos superficialmente sem recurso a água (**Figura 4.18c**), sendo feito o seu registo fotográfico e também o seu peso à saída. Foram posteriormente colocados em ambiente controlado de $60 \pm 5\%$ HR e $21 \pm 2^\circ\text{C}$ até estabilização, tal como preconizado em §4.1.1 aquando a preparação dos provetes.



Figura 4.18 - Recolha dos provetes de degradação laboratorial

4.2.3. Ensaio de avaliação

Findos os períodos de degradação e após estabilização de todos os provetes, processo que demorou aproximadamente um mês, devido ao facto da sua maioria se apresentar muito molhada no dia de recolha, deu-se início ao estudo comparativo entre provetes.

Para todos os ensaios mencionados são referidas as normas a partir das quais os ensaios foram ou deveriam ter sido feitos, uma vez que não foi possível o acesso a todos os equipamentos necessários para a execução dos ensaios conforme normativa. Por esta razão, todos os resultados de inspeção visual foram feitos de forma a conseguir-se uma conclusão quantitativa, considerando-se para isso uma escala percentual de 0% a 100%, e não a escala de 0 a 5 (mais qualitativa), sugerida no Anexo E da norma EN 927-3:2000.

4.2.3.1. Inspeção visual

Brilho

Esta é uma característica que só se pode avaliar para os produtos Bondex e Madex uma vez que o produto SurfaPore é mate.

Idealmente, este seria um ensaio a fazer antes e depois do período de exposição, com o auxílio de um medidor de brilho ou brilhómetro (**Figura 4.19a**) e de acordo com a ISO 2813:1994. Este processo envolve a iluminação controlada da superfície a estudar, quantificando a luz refletida através do aparelho (**Figura 4.19b**).

Não sendo possível, optou-se por se fazer uma avaliação, a olho nu, quanto à permanência do brilho inicial (aquando aplicação) em comparação com os vários provetes expostos às tipologias de degradação, avaliando assim o seu desgaste. Para

facilitar a avaliação, considerou-se uma escala percentual, sendo 100% o brilho obtido após aplicação do produto e 0% a perda total de brilho visível a olho nu.

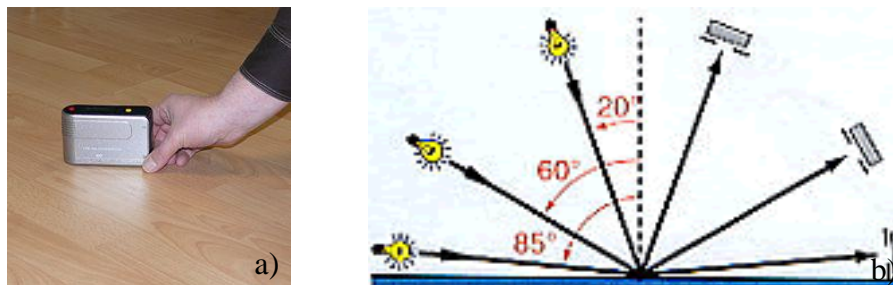


Figura 4.19 - Brilhómetro e seu funcionamento (<http://www.pce-medidores.com.pt/>)

Apresenta-se no **Anexo A3** os resultados obtidos para cada tipologia de degradação, bem como os valores médios para cada produto de proteção.

Coloração

Como já se referiu, independentemente do local de exposição, os provetes de Controlo e protegidos com SurfaPore W apresentavam uma coloração acinzentada, enquanto os protegidos com Bondex e Madex derivaram para tonalidades amareladas. Adicionalmente, os produtos protegidos com Bondex apresentavam manchas brancas ou esbranquiçadas nos provetes.

A coloração pode ser medida com o auxílio de um colorímetro, seguindo a norma ISO 7724-2:1997.

Não sendo possível fazer o ensaio com um colorímetro, optou-se por se fazer uma comparação visual entre um provete não degradado e os vários expostos a desgaste. Selecionou-se uma gradação de cor (**Figura 4.20**), graduada percentualmente, de modo a avaliar qual a cor que mais se parece com a do provete, comparando-os igualmente entre si (**Figura 4.21**).



No **Anexo A4** são apresentados os resultados percentuais obtidos para cada provete individual, bem como os valores médios de cada grupo de degradação.



Figura 4.21 - Alteração da cor do produto Madex - Mx. a) Não degradado; b) Lisboa - Lx; c) Ericeira - AS d) Alentejo - Al; e) Terra Laboratorial - TL

Perda de integridade do revestimento

A perda de integridade de um revestimento pode ser de várias formas tais como a formação de bolhas, descamação ou desaparecimento do próprio revestimento. A norma EN 927-3:2000 recomenda a avaliação da densidade da anomalia em cada provete exposto através das normas ISO 4628-2:2003 para a formação de bolhas, ISO 4628-5:2003 para a formação de descamação e ISO 4628-4:2003 para fissuração do revestimento.

Pela análise feita aos provetes após os seus períodos de degradação, verificou-se que a perda de integridade do revestimento deve-se essencialmente à formação de fissuras. Em algumas zonas, a perda de revestimento pode dever-se à formação de bolhas que se desfizeram posteriormente, tornando a avaliação mais complexa. Deste modo, optou-se por determinar visualmente a percentagem de perda de revestimento face à área total do provete.

Esta é, apesar de tudo, um ensaio difícil de quantificar uma vez que a grande maioria dos provetes apresenta pouca degradação do revestimento, fazendo com que a sua percentagem face à área total do provete seja muito pequena, logo, pouco representativa. Ainda assim, de modo a manter a coerência de quantificação, entre ensaios, optou-se por se manter o mesmo modo de avaliação.

No **Anexo A5** são apresentados os resultados percentuais obtidos para cada provete individual, bem como os valores médios de cada grupo de degradação.

Desenvolvimento de manchas

Como foi dito no §2.4.4.1., os fungos que atacam a madeira são essencialmente de dois tipos: os cromogéneos (que mancham a madeira) e os de podridão (que não mancham, podendo no entanto exercer um escurecimento uniforme do interior da madeira, quando degradada) (Henriques, 2011). Para os provetes que foram colocados a degradar ao ar, a percentagem de provetes onde cresceram fungos de podridão foi muito pequena, tendo o seu desenvolvimento sido essencialmente na forma de esporos e na zona do provete em contacto com o painel de suporte (**Figura 4.22**). Assim, estes não chegaram a penetrar seriamente na madeira, instalando-se apenas na sua superfície.

Deste modo, para o cálculo da percentagem de desenvolvimento de fungos face à área total do provete, foram consideradas somente os que mancham permanentemente a madeira.



Figura 4.22 - Filamentos superficiais de fungos de podridão

O procedimento envolve, segundo a norma EN 927-3:2000, o estudo de cada provete com o auxílio de um microscópio com capacidade de ampliação em 10 vezes. Deve depois ser escolhido o valor que mais se adequa à escala fornecida no Anexo C da norma referida.

Por não ser possível fazer o estudo com o microscópio, foi feita uma avaliação tal como preconizado pela norma, mas sem a ampliação requerida, limitando-se à avaliação visual.

No **Anexo A6** são apresentados os resultados percentuais obtidos para cada provete individual, bem como os valores médios de cada grupo de degradação.

Fissuras

Seguindo o mesmo raciocínio que para os ensaios anteriores, foi feita uma avaliação da percentagem de fissuras nos provetes em relação à sua área total. Por

existirem variadas fissuras com diferentes tamanhos, optou-se por fazer uma divisão da percentagem de fissuras em três grupos, com o auxílio de um fissurómetro (**Figura 4.23**), em função da sua abertura total: entre 0 e 0,35 mm, 0,40 a 0,80 mm e 0,85 e 1,5 mm.

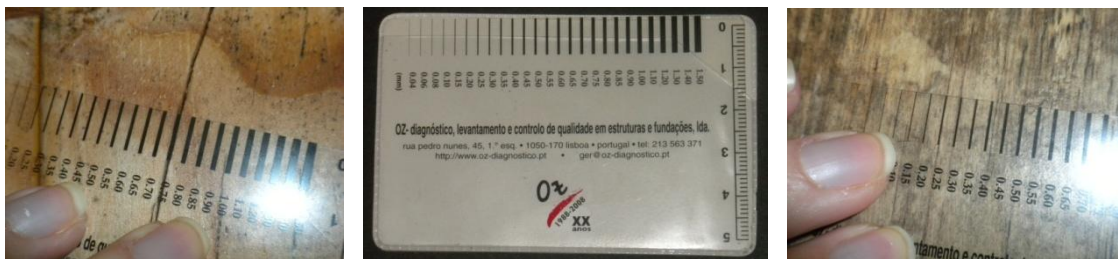


Figura 4.23 - Avaliação da percentagem de fissuras

Os resultados percentuais obtidos deste estudo, bem como os valores médios encontram-se no **Anexo 7**.

Neste caso, teve-se em conta a percentagem total de fissuras no final dos períodos de degradação. No entanto, através do registo fotográfico de todos os provetes, antes e após exposição, foi possível verificar que algumas zonas dos provetes já estavam fissuradas antes do ensaio, possivelmente por efeitos da secagem da própria madeira antes de ser comercializada (**Figura 4.24**). Assim sendo, em §4.3.3.5., é feita uma tentativa de distinção entre as fissuras anteriores à degradação, das que só apareceram após degradação.

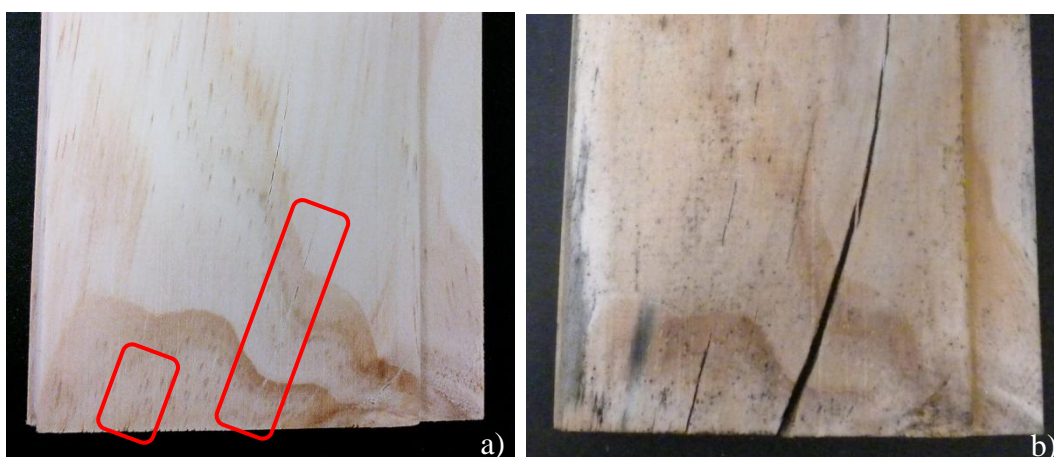


Figura 4.24 - Padrão de aparecimento de fissuras. a) Antes da degradação; b) Depois da degradação

4.2.3.2. Perda de Massa Teórica

Apesar da inspeção visual ser um bom indicador da degradação de um provete, é difícil saber-se até que ponto este ficou afetado a nível estrutural. Outra questão é a comparação entre provetes provenientes de diferentes locais de exposição. Assim, um método de comparação de provetes é a verificação da massa perdida de cada um por efeitos da degradação. Deste modo, foi calculada a massa teórica antes ($m_{i,0\% \text{ teórica}}$) e após ($m_{f,0\% \text{ teórica}}$) a sua degradação, utilizando as seguintes expressões (Henriques, 2011):

$$m_{i,0\% \text{ teórica}} = \frac{m_{i,H\%}}{1 + \frac{H\%}{100}} \quad m_{f,0\% \text{ teórica}} = \frac{m_{f,H\%}}{1 + \frac{H\%}{100}}$$

Sendo $m_{i,H\%}$ e $m_{f,H\%}$ respetivamente, massa húmida inicial e final, e $H\%$ o valor do teor em água calculado, tal como preconizado em §IV.1.1.1., para antes e depois da degradação, sendo que no segundo caso foi utilizada uma amostra de 12 provetes para cada tipologia de degradação (três de cada lote).

Assim, a perda de massa de um provete (pm) é calculada através da fórmula abaixo, permitindo avaliar o nível de degradação de cada provete individual (Henriques, 2011).

$$pm = \frac{m_{i,0\% \text{ teórica}} - m_{f,0\% \text{ teórica}}}{m_{i,0\% \text{ teórica}}} \times 100$$

No **Anexo A8** são apresentados os resultados obtidos para cada provete individual, bem como os valores médios de cada grupo de degradação.

4.2.3.3. Ensaio de tubo de Karsten

O ensaio de tubo de *Karsten* é amplamente utilizado na medição da permeabilidade à água sob baixa pressão em variados materiais de construção do tipo inorgânico, como ladrilhos e argamassas, tendo como objetivo a realização de uma avaliação da capacidade de impermeabilização dos revestimentos.

A utilização deste dispositivo em revestimentos de madeira é inovadora, não tendo sido possível encontrar outros estudos científicos nos quais tivesse sido utilizado.

O tubo de *Karsten* (**Figura 4.25**) é um dispositivo de vidro graduado de 0 cm³ a 4 cm³, com um formato de cachimbo. A parte inferior e superior são abertas, sendo a inferior de formato cilíndrico e a que se faz aderir ao suporte a ensaiar. A adesão ao suporte é feita com o auxílio de silicone (**Figura 4.26b**), sendo também possível a utilização de outros materiais como plasticina ou massa anti-vibratória (Mendonça, 2007; Santos, 2009; Flores-Colen, 2009).

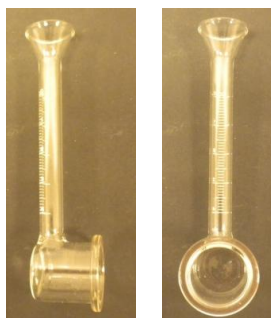


Figura 4.25 - Tubo de *Karsten*

O preenchimento do tubo até à graduação de 0 cm³ corresponde a uma altura de água de 9,8 cm, pressão de 961,38 Pa ou pressão dinâmica do vento de 142,6 km/h (LNEC, 2002).

Dentro das vantagens deste método estão a possibilidade de se fazerem ensaios tanto *in situ* ou em laboratório e ainda, não só a avaliação da permeabilidade de um determinado revestimento, mas também o seu grau de degradação, por comparação de resultados com o seu estado original.

Outra forma de ensaiar a permeabilidade à água é através do ensaio descrito na norma EN 927-5:2006 que passa por um processo de flutuação dos provetes em água desionizada, sendo controlada a massa antes de se iniciar o ensaio e ao fim de 72 horas.

Equipamento de ensaio

Para o ensaio feito foi utilizado o seguinte material:

- Tubo de Karsten graduado de 0 a 4 cm³ (**Figura 4.26a**);
- Silicone (**Figura 4.26b**) e pistola manual (**Figura 4.26c**) para fixação;
- Esguicho para reposição do nível de água (**Figura 4.26d**).

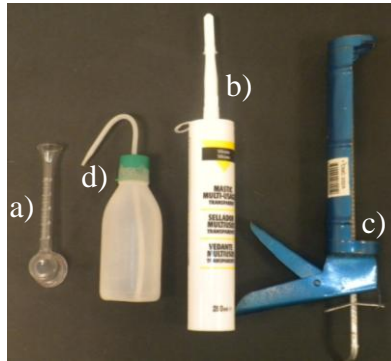


Figura 4.26 - Equipamento de ensaio

Procedimento de ensaio

O procedimento de ensaio tem vários métodos, como os propostos pelo RILEM (1980) e LNEC (2002). Neste caso, optou-se por se criar um método semelhante mas com tempos de leitura e reposição de água distintos, de modo a ajustar o ensaio às especificidades da madeira.

O procedimento experimental seguido neste trabalho envolve as seguintes etapas:

- Revestimento do bordo do tubo de *Karsten* com silicone (**Figura 4.27a**) com o cuidado de depositar a quantidade suficiente para evitar fugas ou reduzir a área de contacto do revestimento com a água;
- Fixar o tubo à zona a ensaiar, pressionando-o sobre a superfície (**Figura 4.27b**);
- Deixar o silicone secar durante o tempo aconselhado pelo fabricante (neste caso 48 horas);
- Fixação dos provetes ao suporte (**Figura 4.27c**);
- Encher o tubo com água até à graduação de 0 cm³ (**Figura 4.27d**);
- Fazer observações do nível de água e registo do valor aos: 5, 10, 15, 20, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300, 600, 1140, 2280, 3420 e 4560 minutos;
- Quando, a uma leitura, se prever que o tubo ficará com um nível inferior a 4 cm³, voltar a encher o tubo com água até ao nível inicial (**Figura 4.27d**);
- Parar o ensaio ao fim dos 4560 minutos (4 dias) ou quando o provete estiver saturado (**Figura 4.27e**).

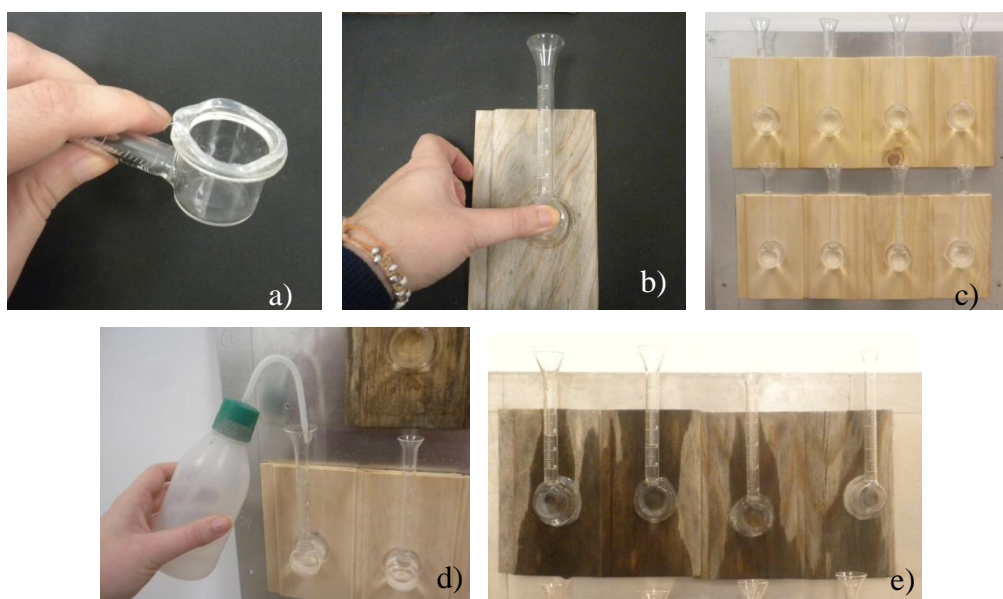


Figura 4.27- Ensaio de Karsten

Parâmetros de medição

Este ensaio permite, a cada leitura, registrar a quantidade de água absorvida (em cm^3), durante o intervalo de tempo definido. Com base neste estudo é possível a construção de gráficos volume-tempo, resultando na obtenção da quantidade de água absorvida de cada provete. É assim possível comparar a resposta de cada produto individualmente, bem como sobre o grau de desgaste do mesmo após cada período de exposição.

No **Anexo A9** são apresentados os resultados obtidos para cada provete individual, bem como os valores médios de cada grupo de degradação. É também feita a representação gráfica de cada resultado obtido para posterior discussão.

4.3. Resultados obtidos

As conclusões obtidas a partir do estudo desenvolvido para esta dissertação podem dividir-se em três grupos: Antes da exposição, após da exposição e após ensaios, cujos resultados se apresentam de seguida, além das considerações já enumeradas em §4.1.3..

4.3.1. Provetes antes da exposição

Como referido, logo após a aplicação do produto nos três provetes é possível ver as primeiras diferenças de cada um (**Figura 4.28**): a aplicação do SurfaPore W é perfeitamente impercetível a olho nu, ao contrário dos produtos Madex e Bondex que deixam um aspeto acetinado, sendo o Madex o produto que mais brilho confere à madeira.

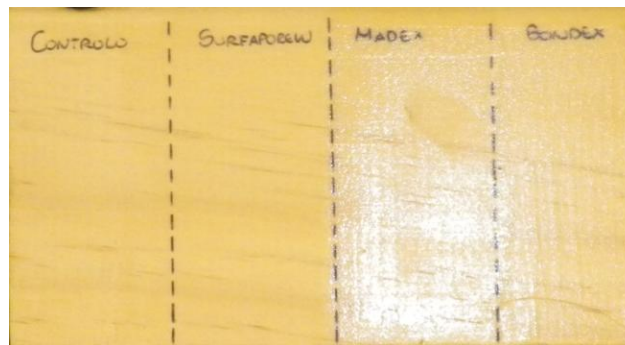


Figura 4.28 - Comparação de produtos

Uma das principais características destes produtos é a sua capacidade de proteção da madeira contra a água da chuva, pelo que se tentou perceber, de forma expedita, até que ponto seria comparável a impermeabilidade à água. Assim, colocou-se uma gota de água em cada um dos produtos e verificou-se que na zona de controlo esta era rapidamente absorvida, nos produtos Madex e Bondex a água espalhava-se ao longo de uma determinada área, e que no caso do SurfaPore W se criava uma gotícula de água (Nye, 2012) (**Figura 4.29**). Deste modo foi possível concluir, *a priori*, que o produto com melhores capacidades repelentes da água seria o SurfaPore W.



Figura 4.29 - Comparação expedita da impermeabilização à água

Outra questão prende-se com a própria madeira a partir da qual se cortaram os provetes. Ao analisar o aspeto visual de cada provete, bem como os valores das suas massas volúmicas (**Anexo A2**) é possível verificar que, existem valores muito díspares, muito embora se trate de peças com as mesmas dimensões. Apesar de a média se situar em 466 Kg/m^3 existem provetes com massas que variam entre 336 kg/m^3 e 602 kg/m^3 o que leva a crer que a madeira adquirida se trate de uma mistura de várias espécies de *pinaceae*, sendo a maioria abeto. Muito embora não seja uma questão significativa para o estudo em causa, é importante ter em consideração este facto em possíveis estudos futuros (§5.2.).

4.3.2. Provetes após exposição

4.3.2.1. Degradação natural

Após o período de degradação definido é possível observar as diferenças entre painéis. Em termos de variações dimensionais, o painel que menos empenos apresentava é o painel do ambiente salino (**Figura 4.14**), estando os outros dois em piores condições (**Figura 4.15** e **Figura 4.16**). Em termos de coloração, o painel onde se verificam maiores diferenças é no painel colocado em ambiente de elevada amplitude térmica (**Figura 4.15**) apesar de se notar uma clara diferença entre os lotes de Controlo e SurfaPore W (que escureceram) e os lotes Madex e Bondex (que amarelaram) independentemente do local de exposição.

Também se faz notar uma diferença nos lotes de Bondex que apresentam uma coloração mais esbranquiçada.

4.3.2.2. Degradação laboratorial

Após humedecimento dos provetes, por imersão alguns deles apresentavam deformações (**Figura 4.30a**), especialmente os provetes protegidos. Isto dever-se-á ao facto de apenas uma das faces do provete ter o produto de proteção.

Outra situação a notar é o facto de, alguns provetes protegidos com Bondex apresentarem uma película ou zonas esbranquiçadas após a imersão dos provetes.

Após o período de exposição os provetes apresentavam-se bastante escurecidos, em parte devido a estarem húmidos, havendo ainda a presença de organismos vivos (**Figura 4.30b**).

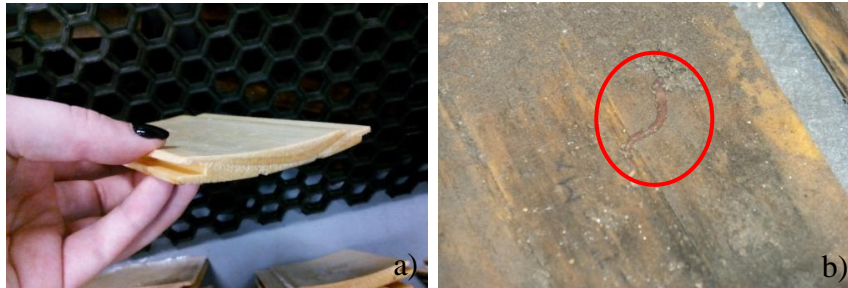


Figura 4.30 - a) Deformação do provete após imersão em água; b) Presença de organismos após exposição

4.3.3. Provetes após ensaios

A escolha dos ensaios a efetuar foi fortemente condicionada não só pelo tempo disponível mas também pelos equipamentos acessíveis. Assim, estes basearam-se principalmente em ensaios de cariz visual de onde, ainda assim, foi possível retirar várias conclusões.

4.3.3.1. Perda de brilho

A partir do estudo do brilho (**Figura 4.31**) verificou-se que ambos os produtos em causa (Madex e Bondex) têm um comportamento semelhante, sendo condicionados somente pelo local de exposição. O Bondex conseguiu manter praticamente todo o brilho original dos seus provetes (95%) tanto para o ambiente salino (AS) como para o poluente (Lx), ficando o Madex um pouco abaixo destes valores (75% e 80% respetivamente) verificando-se que para o tempo de exposição estes produtos têm um bom desempenho.

É ainda possível concluir que, com o aumento da agressividade do meio, piores são os resultados obtidos, como se verifica para os casos do ambiente de elevada amplitude térmica (AI), onde a perda de brilho está entre 35% e 25% (para Madex e Bondex respetivamente), e para o caso dos provetes enterrados e expostos a fungos (TL), onde os valores obtidos são francamente inferiores, uma vez que só 20% do brilho original do Madex ainda se mantém, situando-se o da Bondex em 30%.

Independentemente do local de exposição, e muito embora seja já um valor de referência de pouca importância, uma vez que fica condicionado pelo conjunto de locais específicos deste estudo, verifica-se que, em média, para os quatro locais de exposição estudados, e tempo de exposição de seis meses, se verifica uma conservação do brilho na ordem de 70% para o Madex, e de 85% para o Bondex.

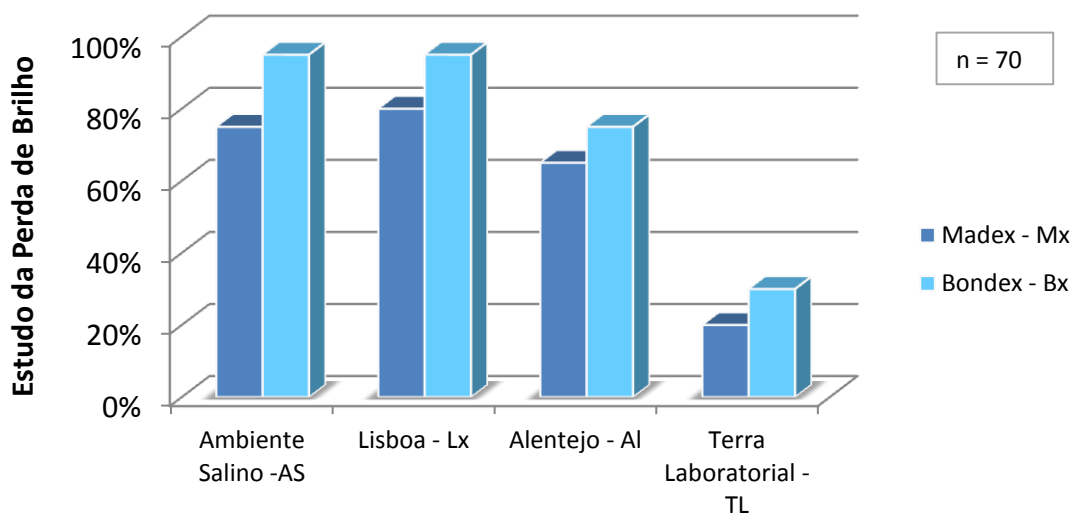


Figura 4.31 - Resultados do estudo do brilho

4.3.3.2. Alteração da coloração

Uma consequência notória logo no momento da recolha dos painéis e contentores de ensaio dos locais de degradação é a diferença de tonalidade entre provetes. Mesmo entre os provetes protegidos com Madex e Bondex, que tinham um aspeto muito semelhante após a aplicação do produto, tiveram respostas diferentes às exposições a que foram sujeitos.

Este foi o ensaio mais difícil de definir, uma vez que a escolha da gradação depende fortemente da espécie de madeira utilizada e dos produtos de proteção escolhidos.

Uma vez escolhida a escala de gradação mais adequada para este caso (§4.2.3.1.) verificou-se que, antes da degradação, os provetes se encontravam com o valor 10% na escala, sendo que os restantes provetes têm valores superiores a partir desse (Figura 4.32).

Tal como para o estudo do brilho, são imediatamente evidentes dois factos:

1. Independentemente do método de proteção escolhido, quanto mais agressivo foi o meio de exposição, maior o escurecimento progressivo dos provetes;
2. Os ambientes AS e Lx têm resultados semelhantes, seguidos do ambiente Al e, com maior proeminência, o ambiente TL.

Olhando agora para cada produto individual verifica-se que, apesar de ser um produto de proteção, o SurfaPore W apresenta resultados muito semelhantes aos provetes não protegidos, ou seja, com escurecimento acentuado, variando entre 85% e 95% consoante o local de exposição. Isto indica que, sem uma proteção contra os raios UV e contra agentes biológicos, o SurfaPore W fica facilmente degradado por estas ações.

Quanto aos produtos Madex e Bondex, tal como se verificou na inspeção após exposição (§4.2.1.5.) as percentagens verificadas devem-se ao facto de, devido à exposição aos meios de degradação, as cores dos produtos variarem para tonalidades mais amareladas ou esbranquiçadas, respetivamente, o que faz com que os valores obtidos pelo produto Madex sejam ligeiramente superiores que os de Bondex, para cada local de degradação. Ainda assim, visualmente, o produto que mantém melhor o aspeto natural (não tratado) é o Madex, visto que as tonalidades heterogéneas e não uniformes do produto Bondex conferem à madeira um aspeto artificial.

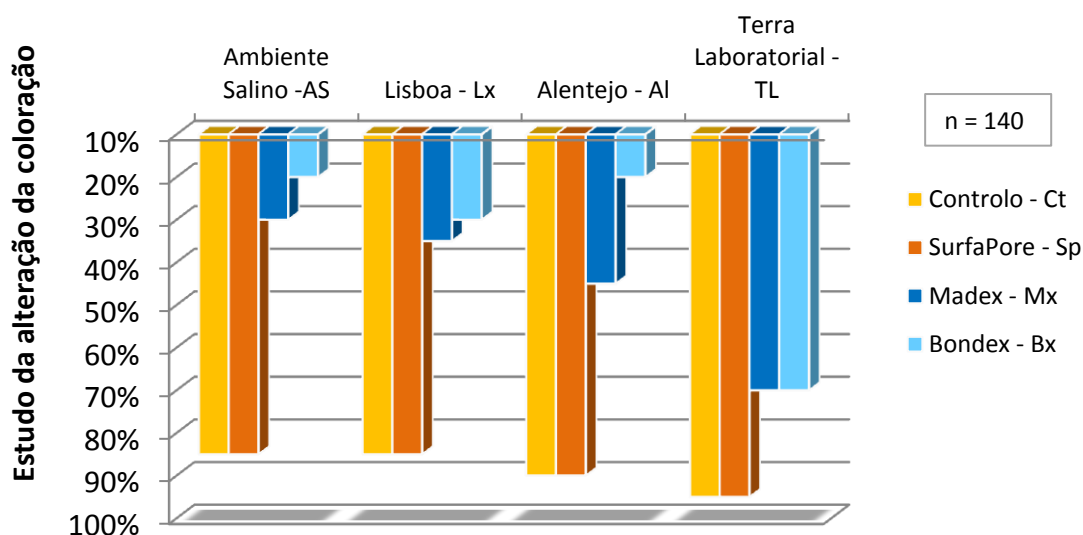


Figura 4.32 - Resultados do estudo da cor

Finalmente há que fazer referência particular ao ambiente TL, uma vez que a mistura de solo onde se enterraram os provetes promoveu um escurecimento mais

acentuado, sendo em média, da ordem dos 95% para provetes não tratados ou protegidos com SurfaPore W, e 70% para os produtos Madex e Bondex.

4.3.3.3. *Perda de integridade do revestimento*

Este é outro dos ensaios válidos apenas para os produtos Madex e Bondex uma vez que o produto SurfaPore W não forma um revestimento visível a olho nu.

Este será o ensaio que mais beneficiaria de um estudo por maiores períodos de exposição, uma vez que nenhum dos produtos sofreu uma degradação significativa, mesmo estando sob as condições de exposição (inclinação e orientação) mais desfavoráveis, segundo informações dos fabricantes (**Figura 4.33**).

Comparando provetes não degradados com os obtidos após seis meses de degradação nos locais definidos, verificou-se que, para o ambiente AS e Lx não houve alteração visível no aspeto do revestimento. O ambiente TL alterou o revestimento de ambos os produtos de forma, em média, semelhante, na ordem de 10%. Como ambiente mais gravoso mostrou-se o Al, havendo perdas superiores para o produto Madex (20%) que para o produto Bondex (15%), sendo ainda assim valores muito semelhantes, como aconteceu para os ensaios anteriores.

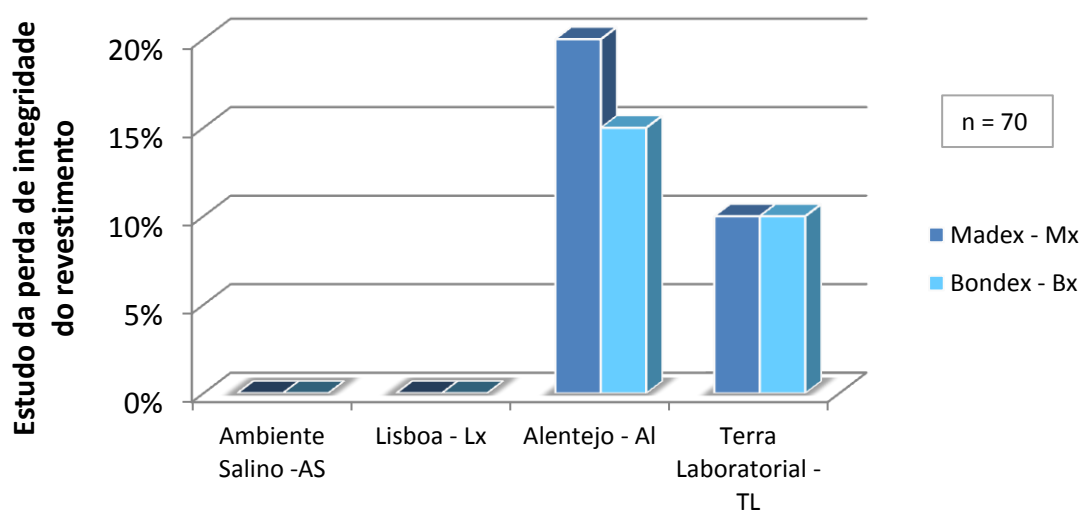


Figura 4.33 - Resultados da perda de revestimento

A partir deste ensaio, são depois tiradas outras conclusões de interligação, uma vez que uma vez posta em causa a integridade do revestimento, mais facilmente será a proliferação de agentes biológicos e aparecimento de fissuras. Ainda assim, não se pode descartar a hipótese dos valores obtidos serem mais baixos que a realidade (em

particular nos ambientes AS e Lx), havendo sempre alguma degradação do revestimento, ainda que esta não seja visível a olho nu.

4.3.3.4. Desenvolvimento de manchas

Tal como a alteração da coloração, esta é uma consequência dos períodos de exposição bastante notória em termos visuais. Ainda assim, com uma tipologia de resultados diferente daquela apresentada até agora.

Antes de mais é necessário referir que a presença de manchas nos provetes se deve, no caso da degradação laboratorial, à inoculação do fungo de podridão *Postia Placenta* e, no caso da degradação natural, às condições comuns de temperatura, humidade e oxigénio propícias ao desenvolvimento de fungos naturalmente presentes no ambiente.

Outra questão refere-se ao ensaio por degradação laboratorial, mais especificamente à forma de inoculação do fungo nos contentores, que foi feita por transferência da terra utilizada por Neves (2013) e não de forma direta, o que pode afetar o desenvolvimento do fungo pelos contentores de ensaio de forma abundante e uniforme. Outra questão prende-se com o facto de terem sido utilizados dois contentores de ensaio, um com o conjunto de provetes não protegidos e protegidos com SurfaPore W, e um segundo com os provetes protegidos com Madex e Bondex respetivamente. Estes dois factos levam a que tenha sido difícil controlar condições perfeitamente semelhantes em ambos os contentores de ensaio, não só em termos do desenvolvimento do fungo mas também em termos de humidade.

Finalmente, deve referir-se que, estando os provetes protegidos unicamente numa das suas faces e respetivos topos, os provetes ficaram, pela tipologia do painel, sujeitos a eventual degradação na face desprotegida. Assim, é expectável que os valores não difiram muito entre si, para cada tipologia de degradação.

Ainda assim, ao analisar a **Figura 4.34**, verifica-se que, tal como esperado, o ambiente que mais promoveu o desenvolvimento de fungos, independentemente do tipo de produto utilizado, é o ambiente TL, com uma média de 88%, sendo o mais gravoso para o produto Bondex (95%) e o menos gravoso para o SurfaPore W (80%). Aqui denota-se o referido relativamente à possível heterogeneidade de condições de permanência do fungo na madeira, embora não sejam diferenças muito significativas.

Tal como esperado também, para os ambientes de degradação natural, verifica-se que todos os provetes têm tendências semelhantes sendo as situações mais gravosas para os provetes não protegidos ou protegidos com SurfaPore W.

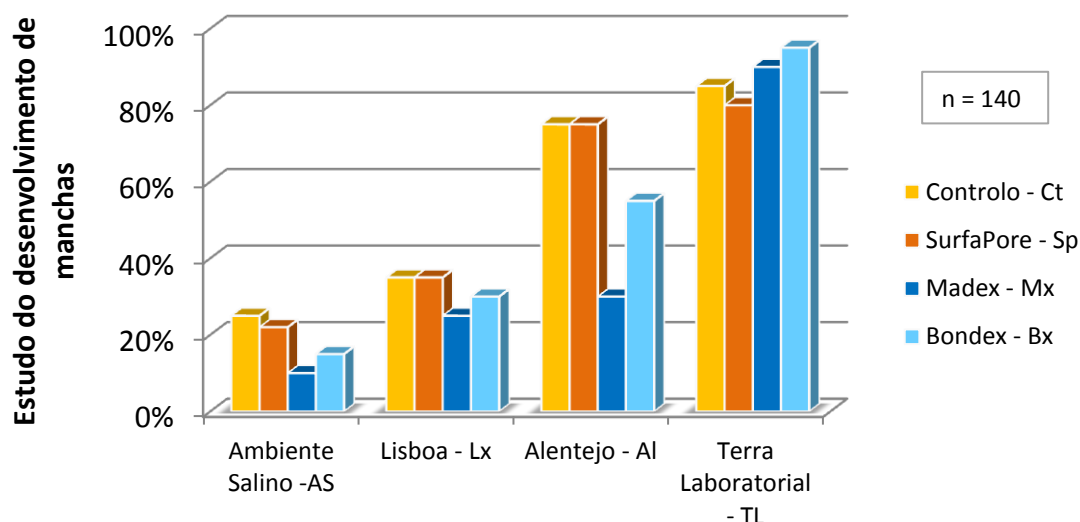


Figura 4.34 - Resultados do estudo do desenvolvimento de manchas

Dentro dos produtos protetores, verifica-se que o que apresenta melhores resultados é o Madex, que tal como indicado pelo fabricante, já tem incorporadas substâncias fungicidas (§4.1.2.2.), tendo uma média de aparecimento de manchas de 28% contra os 43% obtidos com a proteção através de Bondex.

4.3.3.5. Desenvolvimento de fissuras

Como já se referiu, no estudo do desenvolvimento de fissuras verificou-se, através da análise do registo fotográfico de todos os provetes antes e após degradação, que a grande maioria das fissuras que se desenvolveram, particularmente as de maiores dimensões, já se encontravam no provete antes de se iniciar o período de degradação. Assim, verificou-se que pequenas alterações de cor nos provetes, inicialmente consideradas como veios da madeira, eram na realidade defeitos que, em conjunto com os movimentos de contração e retração da madeira, devidos aos sucessivos ciclos de molhagem e secagem (§2.4.2.), promoveram a abertura de fissuras nessas zonas mais frágeis.

Ainda assim, com exceções pontuais, seria difícil fazer uma distinção clara das fissuras devidas a defeitos prévios dos provetes, sendo somente possível verificar que todas as fissuras de maiores dimensões eram fissuras causadas por defeitos, não sendo possível concluir sobre as de menores dimensões. Apesar disso, mesmo sendo fissuras de maiores dimensões, por serem casos pontuais, o seu peso na percentagem total de fissuras do provete é bastante pequena, não sendo representativa em valores médios (**Anexo A7**).

Ao analisar a **Figura 4.35** verifica-se que os provetes sem proteção ou protegidos com SurfaPore W têm uma percentagem de fissuras superior aos de protegidos com Bondex ou Madex, como seria expectável uma vez que o provete com pouca ou nenhuma proteção fica mais sujeito às ações da intempérie e consequentes ciclos de movimentos internos da madeira. Por outro lado, embora tenha uma percentagem superior de fendas, as de maiores dimensões (ao longo do provete) encontram-se nos provetes protegidos com Bondex e Madex, devendo-se este facto ao provete estar protegido em apenas uma das faces, restringindo os movimentos de expansão e contração da madeira só nessa face, promovendo também a possibilidade de empenos.

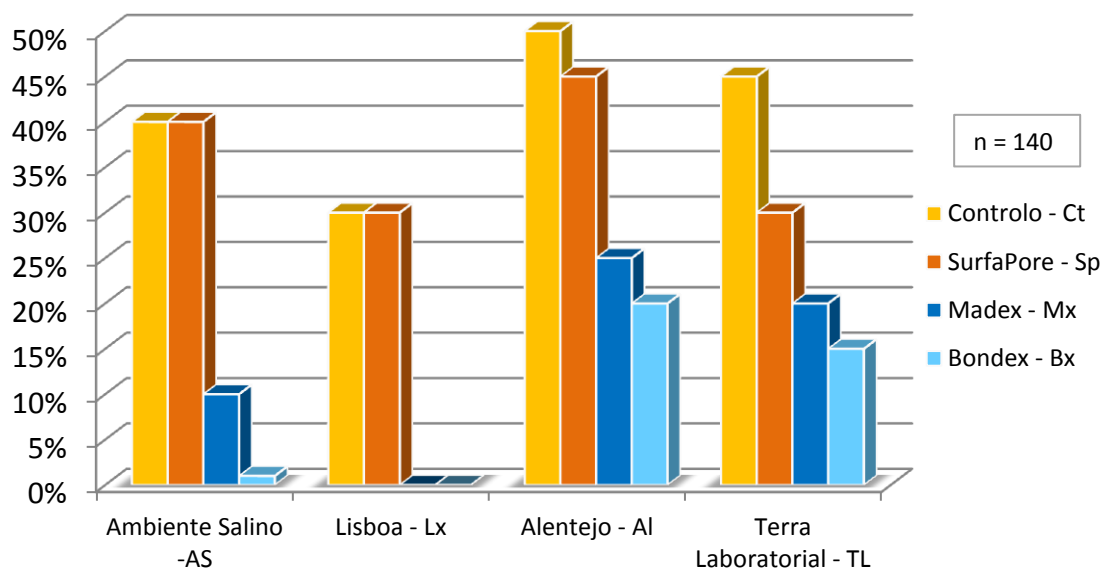


Figura 4.35 - Resultados do estudo do desenvolvimento de fissuras

Tal como esperado, o desenvolvimento de fissuras no ambiente Al é superior (em média) ao dos restantes ambientes, uma vez que o ambiente Al é o mais propício a

este tipo de degradação pelas suas grandes amplitudes térmicas que promovem movimentos internos na madeira que os produtos têm de acompanhar.

Verifica-se ainda que a tendência de aparecimento de fissuras é constante para todos os ambientes de degradação.

É importante salientar, no entanto, que foram contabilizadas somente as fissuras visíveis, não sendo possível aferir acerca de microfissuras.

4.3.3.6. Perda de massa teórica

O estudo da perda de massa tem muito interesse na medida em que é possível verificar, para além do revestimento, até que ponto a madeira foi afetada pelas agressões a que foi exposta.

Deve também aqui ter-se em consideração o facto de só uma das faces ter sido tratada com produto, potenciando a degradação na face posterior. Ainda assim, estando todos os provetes de todos os produtos sob essas mesmas condições, é possível tirar conclusões entre si, por comparação.

Tal como esperado (**Figura 4.36**), a grande diferença na perda de massa encontra-se no ambiente TL, uma vez que o fungo colocado nos contentores de ensaio alimenta-se dos nutrientes solúveis da madeira, resultando numa perda de massa dos provetes, em média, de 6,5% (independentemente do produto de proteção). Novamente, há que ter aqui em atenção a possibilidade de diferentes ambientes dos contentores para os produtos de controlo e SurfaPore em comparação com os Madex e Bondex.

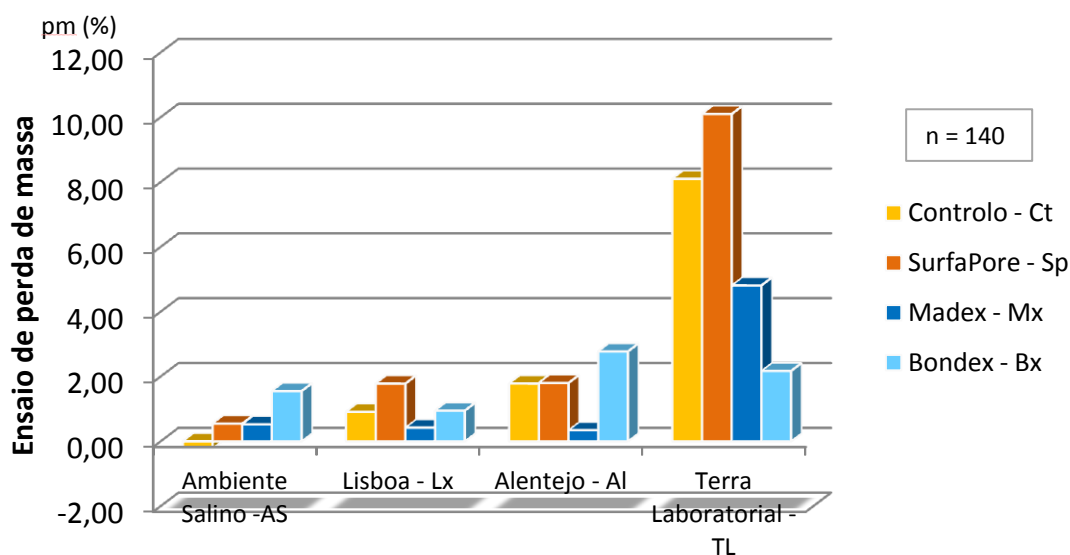


Figura 4.36 - Resultados do estudo da perda de massa teórica

Para os ambientes de degradação natural verifica-se que as perdas de massa obtidas são bastante inferiores (em média menos de 2%), sendo que a maior perda de massa se verifica no ambiente A1, como é esperado, uma vez que, estando os provetes mais degradados devido às ações físicas (já verificadas pelos ensaios anteriores), maior é a probabilidade de infeção biológica, como se veio a verificar.

Outro aspeto a ter em consideração é a possibilidade de deposição de alguns detritos ou sujidade que não tenham sido removidos aquando limpeza, uma vez que esta foi sempre feita de forma muito leve de modo a não agredir a integridade dos revestimentos. Esta situação pode levar a um aumento da massa no período após degradação, falseando os resultados, pelo que se deve ter um cuidado especial.

O disposto no parágrafo anterior parece acontecer para os provetes de controlo em ambiente salino, uma vez que o valor obtido de perda de massa é de -0,22%, ou seja, não há uma perda de massa mas sim um aumento. Neste caso, tratando-se de um valor tão pequeno, opta-se por considerar se trata de um erro de cálculo, possivelmente devido a deposição de detritos, concluindo-se que, na realidade e nesse caso, não existiu qualquer alteração na massa dos provetes.

4.3.3.7. Ensaio de tubo de Karsten

Este foi um ensaio que, apesar de inovador, trouxe resultados bastante aceitáveis, tornando-se viável a sua utilização noutras situações futuras para este tipo de material.

Neste capítulo optou-se por indicar somente os resultados obtidos, sendo que todas as considerações são feitas no **Capítulo 5.1. - Considerações Finais**.

No caso deste ensaio, o objetivo é a comparação do comportamento dos provetes antes e após degradação, pelo que foram igualmente ensaiados os produtos não degradados (EL). Os provetes foram ensaiados ao longo de cinco dias, sendo os resultados os dispostos na **Figura 4.37**.

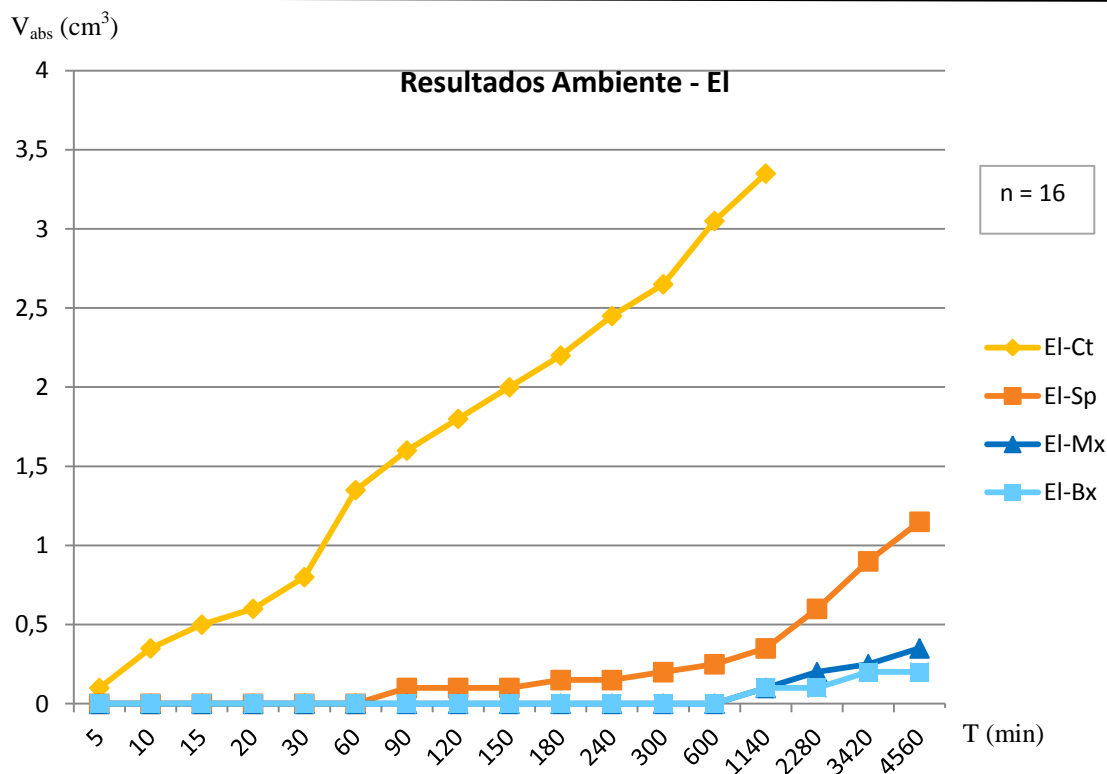


Figura 4.37 - Resultados do ensaio de Karsten. Ambiente EL.

Os provetes não protegidos (Figura 4.38) ou protegidos com SurfaPore W (Figura 4.39) atingiram saturação mais rapidamente em todos os ambientes de exposição. Por esta razão, ao contrário do que foi feito para os restantes ensaios, optou-se por se agrupar os valores por produto de proteção.

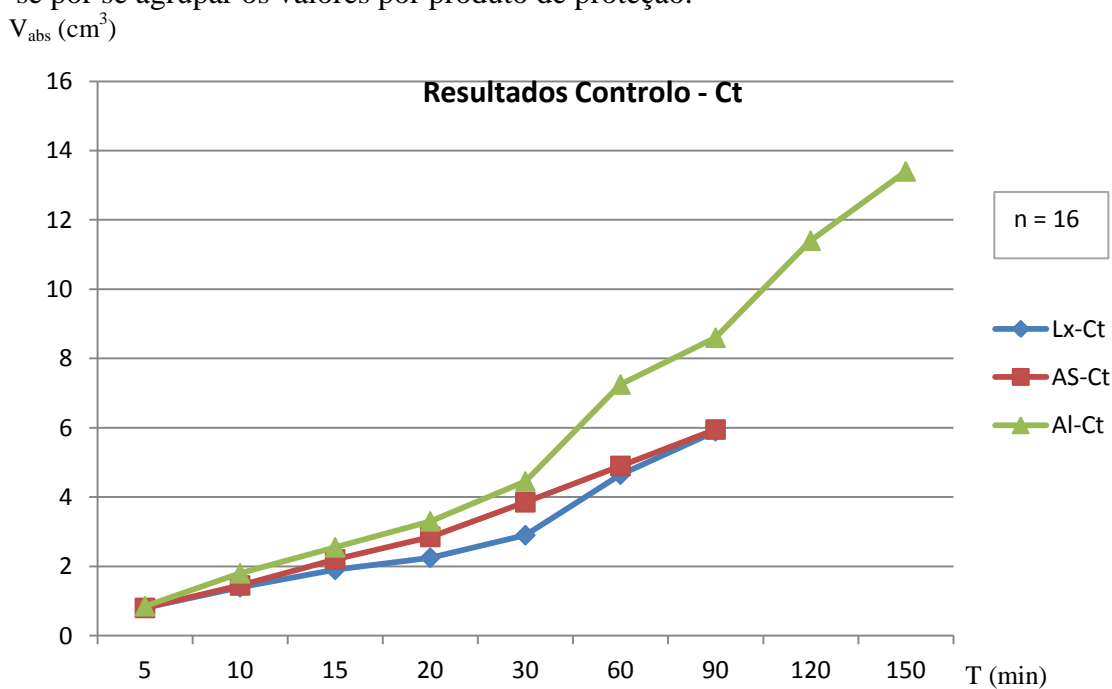


Figura 4.38 - Resultados do ensaio de Karsten. Controlo - Ct

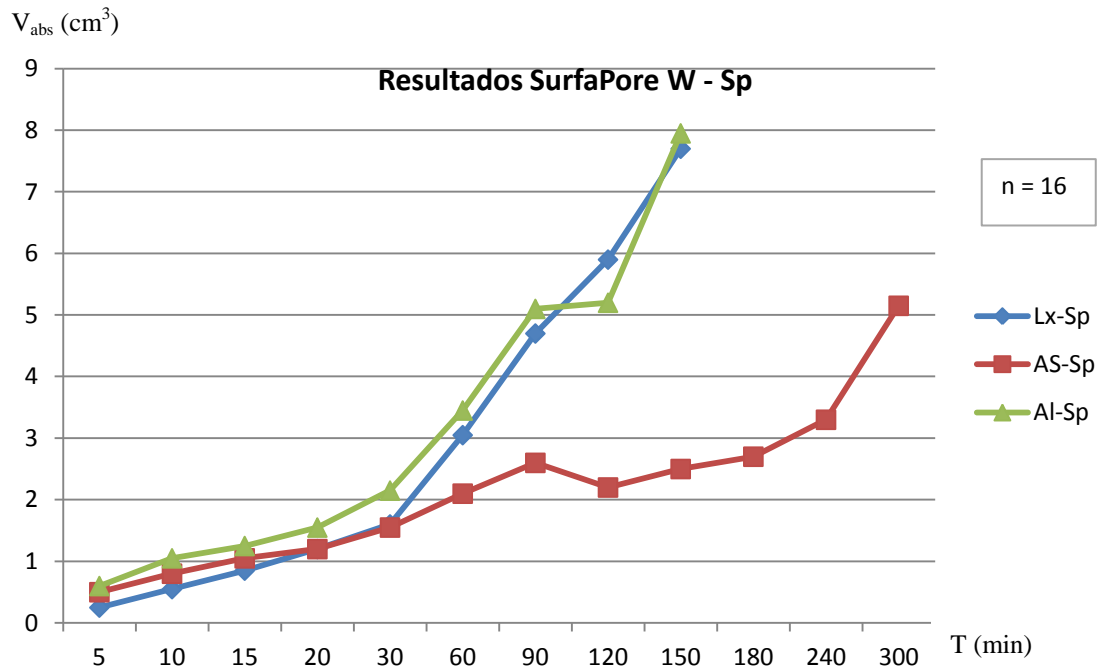


Figura 4.39 - Resultados do ensaio de Karsten. SurfaPore W - Sp

No entanto, os provetes não protegidos e protegidos com SurfaPore W para o ambiente de degradação laboratorial encontravam-se muito degradados, pelo que as leituras foram feitas de 5 em 5 min e depois de 10 em 10 min. Assim, os resultados foram compilados na **Figura 4.40**.

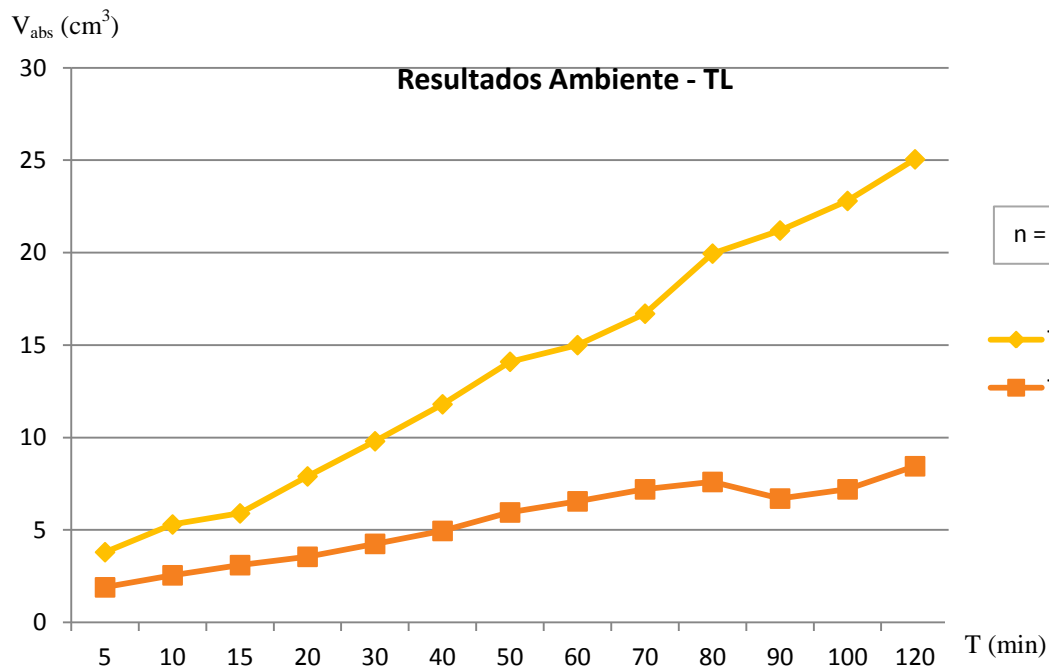


Figura 4.40 - Resultados do ensaio de Karsten. Ambiente TL. Produtos Ct e Sp

Os provetes protegidos com Madex (Figura 4.41) e Bondex (Figura 4.42) foram ensaiados ao longo de cinco dias, cujos resultados se encontram abaixo.

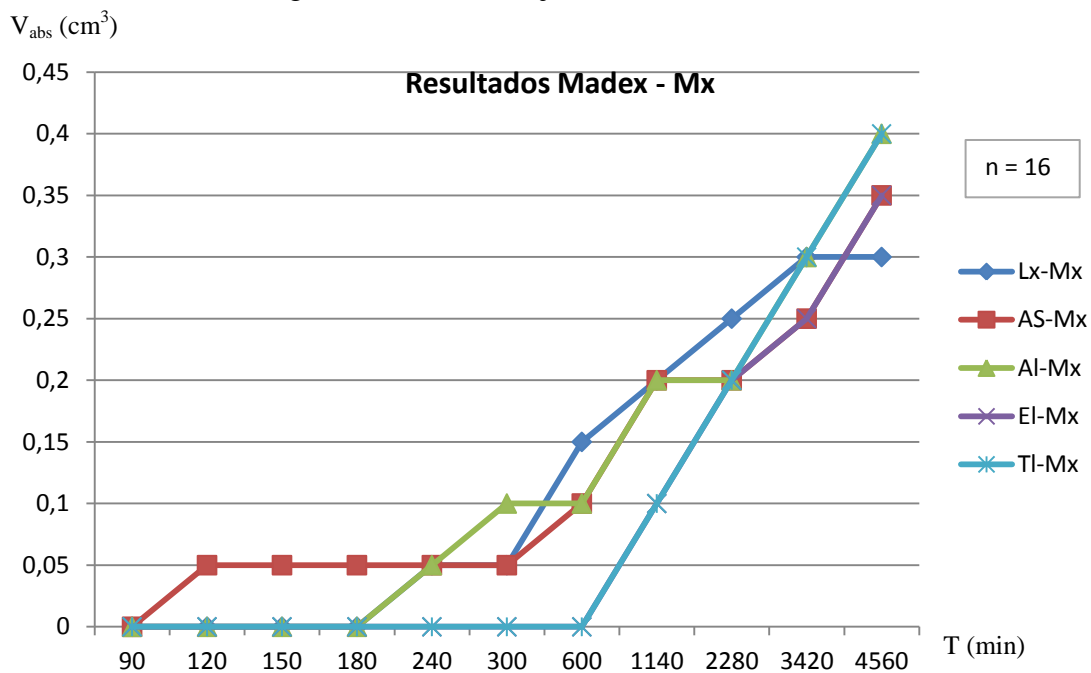


Figura 4.41 - Resultados do ensaio de Karsten. Madex - Mx

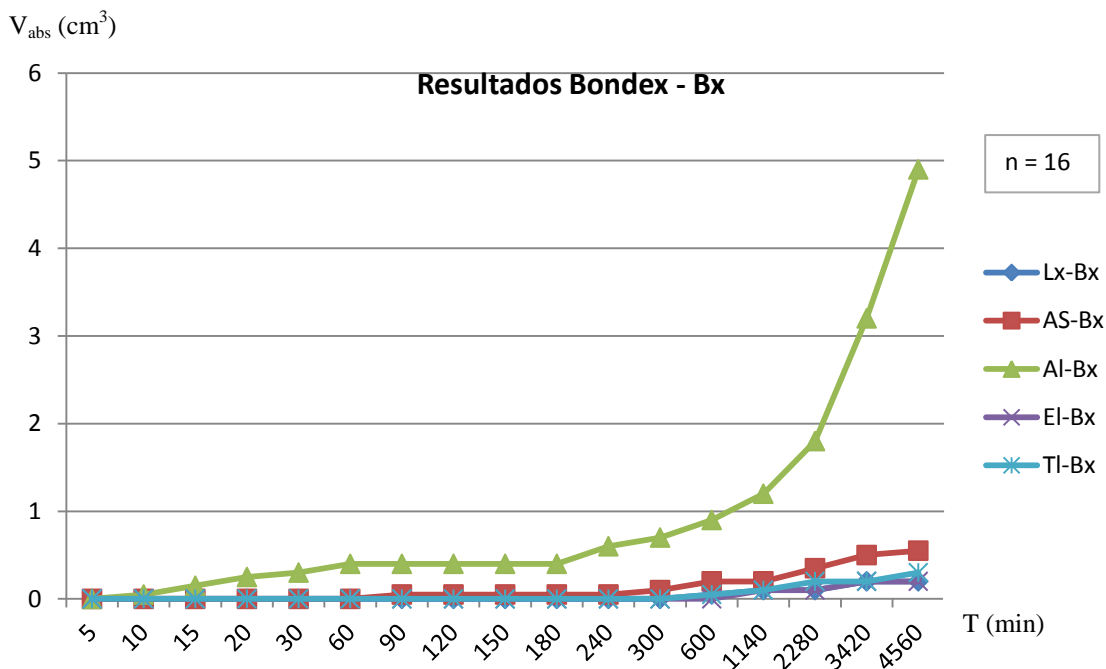


Figura 4.42 - Resultados do ensaio de Karsten. Bondex - Bx

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E DE DESENVOLVIMENTO FUTURO

5.1. Considerações Finais

Como se tem vindo a referir, este é um trabalho cujos ensaios englobam muitas variáveis de difícil controlo uma vez que cada local de exposição tem as suas próprias condições e especificidades que dificultam o processo de recolha e comparação de resultados, sendo esta a maior dificuldade encontrada.

A segunda questão mais desafiante deve-se ao tempo disponível para todo o processo de desenvolvimento da tese de mestrado, em particular ao período de tempo em que foi possível manter os provetes expostos, uma vez que pela tipologia deste trabalho, quanto mais longo fosse o tempo disponível, melhores, mais notórios e diferenciados seriam os resultados obtidos, enriquecendo de forma mais significativa o contributo para a área da Engenharia Civil, sobre o qual mais se fala no subcapítulo das considerações de desenvolvimento futuro (§5.2.).

Essencialmente, aquilo que se pretendia para este trabalho era testar o desempenho de três produtos de proteção (§4.1.2.) da madeira quando expostos a várias condições de degradação (§4.2.), numa tentativa de aferir sobre quais os que melhor se adequam às condições de aplicação específicas de cada utilizador que pretenda proteger a sua construção, ou revestimento de fachada, em madeira, independentemente do local de implantação, não só em termos estruturais, mas também estéticos. Foram para isso protegidos vários lotes de provetes em madeira de abeto e escolhidos três locais de degradação natural (§4.2.1.) e um de degradação laboratorial (§4.2.2.), cujos tempos de exposição foram de aproximadamente seis meses. Após este período, os provetes foram ensaiados e comparados (§4.2.3.) quanto às suas alterações visíveis antes e após exposição, tendo sido avaliados os seguintes fatores: perda de brilho, alteração da cor, perda de integridade do revestimento, desenvolvimento de manchas, desenvolvimento de fissuras, perda de massa e permeabilidade à água.

Apesar do pouco tempo disponível para manter os provetes de ensaio expostos, foi possível obter resultados (§4.3.) interessantes, uma vez que as condições de exposição (orientação e inclinação) foram as mais desfavoráveis possíveis (segundo indicações do fabricante), possibilitando o agrupamento de várias conclusões sobre quais os produtos mais adequados para cada situação de exposição, que se apresentam de seguida.

Antes de mais há que determinar qual o ambiente de exposição mais agressivo, uma vez que esta é a variável mais determinante para o comportamento dos produtos de proteção. Independentemente do tipo de ensaio que foi feito, e do produto de proteção envolvido, os ambientes salino (AS) e poluído (Lx), apresentam sempre resultados muito semelhantes, pelo que se poderia concluir que são ambientes cuja agressão aos produtos de revestimento é semelhante, no entanto, há que salientar que o painel colocado no ambiente poluído (Lx) teve exposto somente cinco meses (menos um que os restantes). Deste modo, conclui-se que a ordem crescente de agressividade dos locais de exposição escolhidos para esta dissertação é a seguinte:

- Ambiente salino (AS) - Ericeira;
- Ambiente poluído (Lx) - Lisboa;
- Ambiente de elevada amplitude térmica (Al) - Alentejo.

Esta era uma conclusão já esperada, uma vez que a madeira é uma opção construtiva muito comum nas zonas costeiras, pelos seus bons desempenhos, em termos de durabilidade, em comparação com outros materiais como é o caso do betão, sendo expectável que os produtos de proteção para a madeira também apresentem bons resultados face a este tipo de ambientes..

Exclui-se desta enumeração a degradação laboratorial, uma vez que esta tem pressupostos diferentes, não sendo comparáveis as variáveis de exposição.

Em termos de ensaios visuais é possível retirar várias conclusões, tanto de forma singular como interligando os vários valores obtidos para cada caso.

Quanto à perda de brilho (§4.3.3.1.)

- Difícil quantificação sem o devido equipamento que se referiu (§4.2.3.1.), uma vez que outros fatores como a integridade do revestimento e/ou o desenvolvimento de manchas dificultam a visualização;

- Não houve alterações significativas nos produtos, verificando-se perdas do brilho original de 15% para o produto Bondex e de 30% para o caso do Madex (valores médios para os quatro ambientes de exposição), sendo estes valores espectáveis, uma vez que os períodos de exposição não foram muito prolongados;
- Retirando o ambiente TL dos cálculos, os valores de perdas baixam para os 5% e os 25%, respetivamente, colocando ainda mais em evidência que o brilho é uma característica não muito afetada pelo efeito da intempérie;
- Por outro lado, considerando somente o ambiente TL, verifica-se que, do brilho original obtido pelos produtos, apenas se mantém cerca de 30% para o Bondex e 20% para o Madex. Isto acontece não só por degradação do revestimento, mas também e essencialmente porque este fica manchado pela terra onde foi enterrado e pelo próprio fungo, dificultando a avaliação sem o recurso aos equipamentos adequados;

Analisando os resultados obtidos conclui-se que, independentemente do ambiente de exposição, o produto mais adequado, em termos de brilho, é o Bondex.

Quanto à alteração da cor (§4.3.3.2.)

- Difícil quantificação sem o devido equipamento que se referiu (§4.2.3.1.), uma vez que outros fatores como o desenvolvimento de manchas dificultam a visualização;
- Não havendo outro tipo de proteção aos raios UV (como utilização de um produto com pigmento) todos os produtos têm um desempenho pouco durável, tal como advertido pelos fabricantes;
- O acabamento do produto de proteção tem bastante influência no seu desempenho, uma vez que o acabamento visualmente impercetível do SurfaPore W também resultou num escurecimento da madeira semelhante ao dos provetes não protegidos;
- Tal como referido por Santos *et al.* (2013), outra razão para a diferença de desempenho do produto SurfaPore W deve-se à espessura da camada protetora, inferior neste em comparação com os produtos Bondex e Madex;

- Os resultados mais elevados para o ambiente TL devem-se essencialmente ao facto de a madeira ficar muito manchada não só pelo fungo inoculado mas também pela própria terra, não estando os produtos preparados para fazer face a este tipo de agressão.

Focando somente nos produtos Bondex e Madex, verifica-se que, independentemente do ambiente de exposição (exceto para o caso do ambiente TL) o produto Bondex é aquele que mantém o aspeto mais perto do original. No entanto, esta não é uma conclusão linear, uma vez que se deve à interligação de duas condições: a cor do produto fresco e a cor original da madeira. O produto (fresco) Bondex tem uma coloração esbranquiçada, sendo o Madex incolor, embora ambos se tornem incolor após secagem. Durante o processo de exposição, especialmente quando os provetes estão em contacto com a água, o produto Bondex tende a desenvolver uma película esbranquiçada, manchando, ao longo do tempo, a madeira. Sendo os provetes originais também bastante claros, o produto Bondex mantém (de forma aparente) mais eficazmente o aspeto original da madeira.

Acredita-se que, para uma outra qualquer espécie de madeira, em especial se for de tonalidade mais escura, esta era uma situação de onde se concluiria que o produto Madex seria o mais adequado, uma vez que não mancha a madeira original. No entanto, não é possível afirmá-lo perentoriamente sem que se repetisse o estudo aqui desenvolvido para uma espécie de madeira mais escura.

Outro fator volátil é a gradação escolhida que, sendo alterada, pode gerar conclusões diferentes das expostas.

Pelas razões apresentadas, conclui-se:

- Ambos os produtos (Bondex e Madex) têm desempenhos aproximadamente iguais, sendo por isso igualmente adequados para os três ambientes de exposição;
- O produto Bondex é mais adequado para espécies de madeira de tonalidades claras.

Quanto à integridade do revestimento (§4.3.3.3.)

Santos *et al.* (2013) afirma "(...) *O não acompanhamento dos movimentos internos da madeira pela camada protetora superficial é o fator decisivo para a*

destruição rápida da eficácia do acabamento (...). Após a primeira quebra de continuidade a água começa a entrar para a madeira e em poucos meses toda a superfície está quase totalmente degradada".

Uma vez que os produtos utilizados são velaturas, têm a capacidade de acompanhar os movimentos referidos, pelo que eram expectáveis bons desempenhos como se veio a verificar uma vez que, mesmo para condições de orientação e inclinação muito desfavoráveis, em seis meses de exposição, não se verificaram perdas visíveis para os ambientes AS e Lx, pelo que se conclui que qualquer dos produtos é adequado para estes ambientes.

Já para o caso dos ambientes mais agressivos (Al e TL) foram notadas perdas de continuidade. Isto deve-se:

- No caso do ambiente TL, os provetes estiveram, durante o tempo de exposição, permanentemente húmidos. Este processo leva à expansão da madeira, no entanto não existe um quadro de ciclos de expansão e contração, principal agente de desgaste do revestimento;
- Apesar do referido anteriormente, uma vez que os provetes estavam protegidos somente numa das faces, o processo de expansão é desigual ao longo da totalidade do provete, isto porque apesar deste tipo de produtos acompanhar os movimentos da madeira, na face protegida há um maior impedimento do processo de expansão em comparação com a face não protegida, razão pela qual estes provetes também apresentavam mais empenamentos que os provetes não protegidos;
- Ainda para o ambiente TL, tendo em consideração que as perdas de continuidade foram semelhantes, em média, para ambos os produtos, conclui-se que qualquer um seria adequado para este tipo de ambiente;
- Para o ambiente Al, as perdas de continuidade foram superiores às do ambiente anterior, como seria expectável, uma vez que é o ambiente de maior amplitude térmica que testa com maior precisão a capacidade do produto acompanhar os sucessivos movimentos da madeira consequentes da sua expansão e contração.
- Ainda para o ambiente Al, a diferença de perda de continuidade entre produtos, apesar de pouco significativa (5%), permite concluir que o produto Bondex tem

um comportamento superior ao Madex, sendo este o mais adequado para este tipo de ambiente.

Tendo em conta tudo o que foi referido, ambos os produtos são adequados quando à resistência aos movimentos internos da madeira, sendo que o Bondex é ligeiramente mais adequado.

Quanto ao desenvolvimento de manchas (§4.3.3.4.)

Este foi dos ensaios mais complicados de quantificar, uma vez que a alteração da coloração (no caso da degradação natural) e as manchas obtidas pela própria terra (no caso da degradação laboratorial) dificultaram o processo. Outra questão prende-se com o facto de não ser possível avaliar se o desenvolvimento dos fungos se deu pela face protegida ou não protegida dos provetes. No entanto, estando todos na mesma situação de proteção apenas da face exterior, é possível fazer comparação entre eles pois estão sob as mesmas condições.

Assim, é possível concluir:

- O ambiente mais agressivo, como esperado, é o TL, no entanto verifica-se que as condições de inoculação do fungo foram ligeiramente diferentes para cada contentor de ensaio, uma vez que os resultados obtidos pelos provetes não protegidos, ou protegidos com SurfaPore W são inferiores aos obtidos pelos produtos Madex e Bondex. Ainda assim, esta diferença não é significativa, uma vez que ronda os 10% (entre o menos agredido e o mais agredido dos quatro lotes);
- Os provetes protegidos com SurfaPore W tem um comportamento semelhante ao dos provetes não protegidos, não sendo possível concluir se isto se deve à deterioração do revestimento ou à incapacidade de resposta a este tipo de ataque;
- Do mesmo modo, para o produto Bondex, e mesmo para o Madex, é difícil distinguir até que ponto os provetes são atacados por deterioração do revestimento ou por incapacidade de resposta ao ataque;

Atendendo às conclusões enumeradas até aqui para os restantes ensaios, é também facilmente explicado o desenvolvimento de fungos para o ambientes de degradação natural, uma vez que a perda de integridade do revestimento potencia o seu aparecimento.

Conclui-se também sobre a veracidade das informações dadas pelo fabricante do produto Madex, onde é dito que este revestimento tem propriedades fungicidas, o que é bem visível em todos os ambientes de degradação natural, com resultados de desenvolvimento de fungos inferior aos restantes (28% de desenvolvimento, em média, contra 43% do Bondex e 55% do SurfaPore W).

Quanto ao desenvolvimento de fissuras (§4.3.3.5.)

O principal problema deste estudo deve-se ao facto de se ter verificado que muitas das fissuras que se desenvolveram se deviam a defeitos na madeira, provavelmente resultantes do processo de corte desta, influenciando de forma significativa o número de fissuras obtidas.

O desenvolvimento de fissuras decorre de duas situações essenciais: das variações de humidade ocorridas na madeira que originam ciclos de expansão e retração, e da radiação UV. Uma vez corrompido o revestimento o processo de degradação aumenta exponencialmente, aumentando também o número de fissuras na madeira.

Neste caso, e tal como já se tinha concluído em ensaios anteriores, o tipo de produtos utilizados são capazes de acompanhar estes movimentos, razão pela qual o número de fissuras dos provetes não protegidos ser bastante superior. No entanto, como a proteção foi feita somente numa das faces dos provetes, o processo de expansão é desigual ao longo da totalidade do provete, havendo um maior impedimento do processo de expansão na face protegida, em comparação com a face não protegida, razão pela qual estes provetes também apresentavam fissuras de maiores dimensões.

Como também já se tinha concluído anteriormente, o SurfaPore W fica muito agredido pela ação da radiação UV e dos ciclos de humedecimento da madeira, o que faz com que tenha um comportamento semelhante ao dos provetes não protegidos. Ainda assim, para a degradação laboratorial, verifica-se que o número de fissuras diminui em comparação aos provetes não protegidos, corroborando a conclusão de que a principal ação destruidora deste produto deve-se à radiação UV.

Conclui-se também que a capacidade de acompanhamento dos movimentos internos da madeira é superior para o Bondex, uma vez que se obtém percentagens de

fissuras inferiores, independentemente da tipologia de exposição, sendo assim o produto mais adequado.

Quanto à perda de massa (§4.3.3.6.)

Este é dos ensaios mais interessantes, uma vez que é possível fazer uma comparação credível com outros resultados obtidos. No caso do estudo de Neves (2013), os resultados para as perdas de massa para os provetes de ensaio situou-se entre os 5% e os 11% para cinco meses de exposição, com provetes de pinho e dimensões 30 x 60 x 180 mm. Posto isto, para a degradação laboratorial, conclui-se:

- Apesar da possibilidade de haver menor desenvolvimento fúngico, os resultados obtidos são satisfatórios, uma vez que as perdas de massa obtidas no presente estudo se situaram entre os 2% e os 10%, para provetes de dimensões diferentes (menor espessura e maior área de contacto);
- Entre os três produtos de proteção aquele que sofreu maiores perdas foi o SurfaPore W, e o com menores perdas o Bondex;
- O produto Madex tem uma perda de quase 5% de massa, o que não era expectável, comparando com o produto Bondex (perda de 2%), uma vez que o produto Madex tem propriedades fungicidas. No entanto verifica-se que, tal como dito por Cruz *et al.* (1997), a proteção fúngica oferecida remete somente ao revestimento, não havendo proteção uma vez penetrado. Uma vez que os provetes estão protegidos em apenas uma das faces, é expectável que o fungo penetre pela face não protegida, fazendo com que haja maior deterioração;
- Hipotetiza-se que a diferença de perda de massa se deva ao poder de penetração do produto, ou seja, apesar da capacidade fungicida, se o poder de penetração do produto Madex for inferior à do Bondex, a quantidade de madeira "consumível" pelo fungo pela face não protegida será maior, criando uma preferência pelos provetes protegidos com Madex.

Para o caso da degradação natural, a infestação dá-se sobretudo pela face exposta do provete, face essa protegida pelos produtos. Assim, o produto cujo revestimento contém propriedades fungicidas (Madex) é o que apresenta menores perdas de massa (0,42%).

Por outro lado, os resultados obtidos pelos provetes de controlo e protegidos com SurfaPore W e Bondex, são, para cada ambiente, bastante similares, o que pressupõe que, não existindo por parte do produto protetor a capacidade antifúngica, este fica igualmente sujeito a perda de massa, tal como um provete não degradado. Esta era uma situação expectável uma vez que todos os fabricantes (incluindo o do produtos Madex), aconselham a utilização simultânea de um produto preservador que seja capaz de fazer face a esta agressão.

Quanto à impermeabilidade (§4.3.3.7.)

Como se disse, a utilização do ensaio de tudo de Karsten em revestimentos de madeira é um conceito inovador, mas que demonstrou ser viável e interessante do ponto de vista dos resultados quanto à impermeabilidade à água. No entanto, por essa mesma razão, não foi possível encontrar outros estudos científicos nos quais tivesse sido utilizado.

Inicialmente pensou-se em fazer uma comparação com outros tipos de revestimento, como as argamassas ou os cerâmicos, no entanto considera-se que a tipologia de absorção de água é bastante diferente, bem como os respetivos tempos e ainda pelo facto de existirem várias soluções a partir das quais se fazem os ensaios para se poder comparar com outras soluções do mesmo tipo. Neste caso, os resultados obtidos não seriam comparáveis e teriam muitas variáveis, pelo que se optou por não incluir resultados de outros autores referentes a outros materiais, sobre esta matéria.

Uma das grandes diferenças desde ensaio em madeiras em comparação com, por exemplo, as argamassas, prende-se com a propagação da água absorvida pelo material. Tipicamente, num ensaio de Karsten, a água que é absorvida pelo material vai-se propagando radialmente a partir do centro do tubo. No caso da madeira, por ser um material heterogéneo, o padrão é irregular, notando-se apenas uma tendência já expectável no sentido do seguimento ou do veio da madeira, ou de fissuras existentes na peça.

Tal como para os ensaios anteriores os resultados obtidos para os provetes não protegidos, ou protegidos com SurfaPore W são bastante diferentes dos resultados dos produtos Madex e Bondex.

Analisando os resultados obtidos a partir deste ensaio é possível concluir, quando aos provetes não degradados:

- Os provetes de controlo começam a absorver água logo ao fim de cinco minutos, atingindo saturação ao fim de 24horas, com uma absorção de $3,35 \text{ cm}^3$. Esta é a situação expetável uma vez que a madeira é um material bastante absorvente;
- Os provetes protegidos com SurfaPore W começam a absorver água ao fim de 1h30min de ensaio, sendo a absorção ao fim de 96H de $1,15 \text{ cm}^3$. O produto tem um bom comportamento, no entanto a pressão que é exercida pela água através do tubo acaba por destruir a película impermeável;

A situação descrita no ponto anterior acontecerá em todos os produtos, no entanto, é mais notório para o SurfaPore W pelas suas características nanotecnológicas, onde a formação de gotículas já não acontece na zona em que o produto esteve em contacto com o tubo de Karsten, após o ensaio (**Figura 5.1**).

Apesar de não ser uma verificação exata, torna-se bastante claro que, apesar de ser bastante impermeável, além dos fatores descritos nas conclusões dos ensaios anteriores, o SurfaPore W também deixa de ter um bom desempenho quando sujeito a pressão, sendo possível perceber-se a razão pela qual, para todos os ambientes, o SurfaPore W acaba por ter desempenhos semelhantes ao dos provetes não protegidos.



Figura 5.1 - Resultado da pressão exercida pelo tubo de Karsten ao produto SurfaPore W

- Os provetes protegidos com os produtos Madex e Bondex, os provetes só começam a absorver água ao fim de 24h de ensaio, sendo que no último dia de ensaio (96H) o Madex absorveu $0,35 \text{ cm}^3$ de água e o Bondex $0,2 \text{ cm}^3$. este seria o comportamento expectável deste tipo de produtos, não considerando as

restantes variáveis ambientais, concluindo-se que o Bondex tem uma capacidade de impermeabilização superior à do Madex.

Conclui-se assim, que, para condições ideais, o produto mais adequado será o Bondex.

Analisando agora os resultados obtidos quanto à tipologia dos produtos, verifica-se que a duração dos ensaios de permeabilidade é facilmente explicada pelas mesmas razões mencionadas para os ensaios anteriores, seguindo o mesmo padrão de agressividade do meio, ou seja, quanto mais agressivo, maior a quantidade de água absorvida no mesmo espaço de tempo. Do mesmo modo, quanto mais agressivo o ambiente a que os provetes foram expostos, mais rapidamente o provete atinge saturação ou começa a verter água de alguma fissura, ponto a partir do qual se terminou o ensaio.

Também o número de fissuras tiveram um papel importante neste ensaio, condicionando-o de forma visível. Apesar de, aquando colocação do tubo, se evitar zonas onde fosse visível fissuramento, muitas delas não eram visíveis, acelerando a absorção de água, sendo que neste caso o fenómeno que se dava não era absorção de água pela madeira, mas sim o seguimento da água pelo curso mais rápido de saída do tubo.

Tendo em consideração tudo o que se referiu, foi resumido no **Quadro 5.I** os desempenhos médios de cada produto para cada ensaio que se elaborou do menos (+) para o mais adequado (+++).

Quadro 5.1 - Quadro resumo das conclusões obtidas

		Produto		
		SurfaPore W - Sp	Madex - Mx	Bondex - Bx
Ensaio	Brilho	(1)	++	+++
	Cor	+	+++	+++
	Revestimento	(1)	++	+++
	Fungos	+	+++	++
	Fissuras	+	++	+++
	Perda de Massa	++	+++	++

(1) Não aplicável

Analisando o **Quadro 5.I**, conclui-se então que não existe uma solução única, devendo analisar-se qual o ambiente em causa bem como a tipologia de agressões expectáveis. Ainda assim, para os ambientes, as variáveis e os pressupostos considerados para este estudo, considera-se que o produto com melhor comportamento geral é o Bondex. No entanto, se se prever que haja muita possibilidade de infestações biológicas o produto mais adequado será o Madex. Por outro lado, apesar das suas propriedades nanotecnológicas, o SurfaPore W é um produto que se mostrou muito pouco eficaz quando utilizado separadamente, pelo que seria muito interessante a repetição do estudo desenvolvido aqui, combinando-o com um outro que seja adequado, de modo a ser possível concluir sobre os seus desempenhos no que se refere à impermeabilização da madeira.

5.2. Considerações de desenvolvimento futuro

Pela tipologia do trabalho desenvolvido nesta dissertação, ficam em aberto um sem fim possibilidades de desenvolvimento futuro, de modo a possibilitar a recolha de informações através da comparação de dados obtidos, no sentido de, no futuro, facilitar o processo de escolha da espécie de madeira e produto protetor mais adequado a utilizar em condições de utilização cada vez mais específicas.

Enumeram-se aquelas que se consideram ser as mais interessantes, no sentido de contribuição para o estudo desenvolvido para esta dissertação:

- Repetição dos ensaios visuais obtidos com o auxílio dos equipamentos adequados de modo a recolher resultados mais fiáveis e com melhores possibilidades de comparação com outros trabalhos;
- Repetição do ensaio de permeabilidade à água, tal como descrito na norma EN 927-5:2006, de forma a comparar os resultados obtidos com os do tubo de Karsten;
- Aumento do número de ensaios feitos, incluindo outros como a avaliação da permeabilidade ao vapor de água através da EN 927-4:2000, e envelhecimento artificial acelerado com recurso a lâmpadas fluorescentes e água, tal como preconizado pela norma EN 927-6:2006;

- Testar o trabalho desenvolvido, dentro das mesmas restantes condições, para períodos de exposição mais prolongados;
- Testar o trabalho desenvolvido, dentro das mesmas restantes condições, para outras espécies de madeira, comparando o desempenho destas face ao abeto;
- Testar o trabalho desenvolvido, dentro das mesmas restantes condições, para outros produtos de proteção, comparando o seu desempenho face aos escolhidos para o desenvolvimento da dissertação;
- Testar o trabalho desenvolvido, dentro das mesmas restantes condições, para outras tipologias e locais de degradação, podendo ser alterado o local onde se faz a degradação, a inclinação ou orientação dos provetes, comparando o desempenho destes, quando expostos a outras condições de ensaio;
- Considerar a formação de ferrugem, caso esta aconteça, procedendo ao ensaio preconizado pela norma ISO 4628-3:2003.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E BIBLIOGRAFIA

- American Institute of Timber Construction, *Timber Construction Manual*. 4ª ed. New York: Wiley-Interscience Publication, 1994
- Bordado, J.C.M., *A nanotecnologia no sector da construção*. Workshop A Nanotecnologia nos Materiais de Construção, Lisboa, OE Região Sul, 2014
- Branco, J.P., *Obras de madeira em tosco e limpo na construção civil*. 2ª ed. Queluz: Edições EPGE, 1993
- Broeckhuizen, F.A. van; J.C. van Broeckhuizen; *Nanotechnology in the European Construction Industry*; European Federation of Building and Woodworkers, Amsterdam, 2009
- Carvalho, A., *Madeiras Portuguesas. Estrutura anatómica. Propriedades. Utilizações*. Volumes I e II, Lisboa: Edição do Instituto Florestal, 1996
- Ching, D.K.F., *Building Construction Illustrated*. 2ªed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. Pt.5
- Cruz, H., Eusébio, I., Rodrigues, M., *Revestimentos por pintura de madeira para exteriores - Ficha técnica M10*. Lisboa: LNEC, 1997
- Cruz, H., Nunes, L., *A Madeira como Material de Construção*. [Consut. 30 Abril 2014]. Disponível em: <<https://www.academia.edu/3362799/Madeira>>. Núcleo de Estruturas de madeira, LNEC, 2012
- Cruz, H., Rodrigues, M., *Humidade da madeira - Ficha Técnica M9*. Lisboa: LNEC, 1997
- Cruz, H., Machado, J.S., Nunes, L., *Problemas de conservação de madeira em edifícios. 2º Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios*. ENCORE, Lisboa: LNEC, 1994. pp.301-312
- Fonseca, F.M., Lousada, J.L., *Variação na madeira de pinus pinaster ait*. Série técnico-científica - Ciências aplicadas, nº35, Vila Real, 2000
- Flores-Colen, I., - *Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva*. Dissertação para obtenção de grau de doutor em Engenharia Civil, IST, Lisboa, 2009

- Franco, S., *Proposta de atribuição de propriedades mecânicas a elementos estruturais de madeira por inspeção visual in situ*. Dissertação para obtenção de grau de mestre em Engenharia Civil, FEUP, Porto, 2008
- Frick, O., *Construcción en madera - Construcción de edificios II*. Buenos Aires: Editorial Labor
- Gettens, R.J., Stout, G.L., *Art Instruction. Drying oils*. New York: Dover Publications Inc., 1996
- Henriques, D., *Tratamento e consolidação de madeira de Pinho bravo degradada em elementos estruturais de edifícios antigos*. Dissertação para obtenção do grau de doutor em Engenharia Civil, Lisboa, IST, 2011
- Hernández, G. C., *Structural applications of nanotechnology in construction*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, Lisboa, IST, 2008
- Irbe I., Andersons B., Chirkova, J., Kallavus, U., Andersone I., Faix, O., *On the Changes of Pinewood (Pinus Sylvestris L.) Chemical Composition and Ultrastructure During the Attack by Brown-rot Fungi Postia Placenta and Coniophora Puteana*. *International Biodeterioration & Biodegradation* 57, 2006. pp.99-106
- LNEC - *Revestimento de paredes. Ensaio de absorção de água sob baixa pressão*. LNEC, Lisboa, 2002
- Machado, J.S., *Produtos de madeira maciça para a construção. Desafios da qualidade*. Silva Lusitana, nº12, Vol. 2, 2004. pp.203-212
- Mascarenhas, J., *Sistemas de Construção II - Paredes: Paredes exteriores (1ª Parte)*. 6ªed. Lisboa: Livros Horizonte, 2010.
- Mascarenhas, J., *Sistemas de Construção III - Paredes exteriores (2ª Parte) e Materiais básicos (1ª Parte)*. 5ª ed. Lisboa: Livros Horizonte, 2010. pp. 34-37 e 170-195
- Mascarenhas, J., *Sistemas de Construção XIII - Reabilitação Urbana*. 1ª ed. Lisboa: Livros Horizonte, 2012. pp. 176-179
- Matsukawa, N., *Drying Oils and Mediums*. Norihiro Matsukawa ed., 1999-2002

- Mendes, A., Alves, M., *A degradação da madeira e a sua preservação*. Brasília: Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1988
- Mendonça, B., *Estudo do Desempenho das Argamassas Hidráulicas - influência do ligante*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Lisboa, IST, 2007. pp. 94
- Nano@Construção; *A nanotecnologia aplicada ao serviço da eficiência energética e das necessidades do sector da construção*, 2011. [Consult. 14 Abr. 2014]. Disponível em: < <http://www.centrohabitat.net> >
- Neves, A., *Avaliação, tratamento e consolidação de madeira em edifícios antigos*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Lisboa, ISEL, 2013
- Nunes, L., Sousa, P.P., *Durability - Preservative treatment*. in Timber Engineering STEP 1, Centrum Hout, 1995. pp.A15/1-A15/8
- Nye, J., *Lotus Leaf Effect: Part 1 - In Nature; Part 2 - In Technology*. Lake Mills Area Schools, Institute for Chemical Education and Nanoscale Science and Engineering Center, University of Wisconsin-Madison, 2012 [Consut. 3 Maio 2014]. Disponível em <<http://www.nisenet.org>>
- Ozelton, E.C., Baird, J.A., *Timber Designers' Manual*. 3ª ed. Oxford: Blackwell Science, 2002
- Pala, H., *Constituição e mecanismos de degradação biológica de um material orgânico*. Em: *Construção em Madeira*. Leiria: Pubblindústria, 2007. pp.54-63
- Paramés, J., *Nanotecnologia nas Indústrias da Construção*. Dissertação para obtenção de grau de mestre em Engenharia Civil, Lisboa, IST, 2008
- Petrucci, E.G.R., *Materiais de construção*. Porto Alegre: Edições Globo, 1976
- Pianca, J.B., *Manual do construtor II: Materiais de construção e técnica construtiva com gravuras ilustrativas*. ed. Porto Alegre: Edições Globo, 1970
- Piazza, M., Tomasi, R., Modena, R., *Strutture in Legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee*. 4ª ed. Milão: Ulrico Hoepli Editore, 2009

- Poole, B., *Biomimetics: Borrowing from Biology*. University of Bristol, 2012 [Consut. 3 Maio 2014]. Disponível em <<http://www.thenakedscientists.com>>
- Raberg, U., Edlund, M.L., Terziev, N., Land, C.J., *Testing and evaluation of natural durability of wood in above ground conditions in Europe - An overview*. Journal of Wood Science, Vol.51, 2005. pp. 429-440
- RILEM - *Réunion internationale des laboratoires d'essais et de recherche sur les matériaux et les constructions. Commission 25 - PEM - protection et érosion des monuments - Essais recommandés pour mesurer l'altération des pierres et évaluer l'efficacité des méthodes de traitement*. Matériaux et Constructions, Vol. 3, n.º 55, Paris, 1980.
- Santos, J.A., Duarte, C., *Degradação e proteção superficial da madeira em exterior*. Corros. Prot. Mater. Vol.32, nº1, 2013. pp.10-18
- Santos, S., *Argamassas pré-doseadas para rebocos de edifícios recentes*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em engenharia civil, Lisboa, IST, 2009. pp.108
- Skoutarides, H., Denancé, M., *Construction à ossature bois: Conception et mise en oeuvre*. 2ªed. Paris: Éditions Eyrolles, 1998
- The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*. UK: Plymouth, 2004 [Consut. 20 Nov 2014]. Disponível em <<http://www.raeng.org.uk/>>

REFERÊNCIAS NORMATIVAS

- NP 41:1982 - *Tintas e vernizes. Terminologia. Definições*. IPQ, Lisboa, Portugal
- NP 180: 1962 - *Anomalias e defeitos da madeira*. IPQ, Lisboa, Portugal
- NP EN 335-2:2011 - *Durabilidade da madeira e de produtos derivados da madeira. Definição das classes de risco. Parte 2: Aplicação à madeira maciça*. IPQ, Lisboa, Portugal
- NP EN 350-1:2008 - *Durabilidade da madeira e de produtos derivados. Durabilidade natural da madeira maciça. Parte 1: Guia dos princípios de ensaio e classificação da durabilidade natural da madeira*. IPQ, Lisboa, Portugal
- EN 350-2:1994- *Durability of wood and wood-based products. Natural durability of solid wood. Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe*. CEN, Bruxelas, Bélgica
- EN 351-1:2007 - *Durability of wood and wood-based products. Preservative-treated solid wood. Part 1: Classification of preservative penetration and retention*. CEN, Bruxelas, Bélgica
- EN 351-2:2007 - *Durability of wood and wood-based products. Preservative-treated solid wood. Part 2: Guidance on sampling for the analysis of preservative-treated wood*. CEN, Bruxelas, Bélgica
- NP EN 460:1995 - *Durabilidade da madeira e de produtos derivados. Durabilidade natural da madeira maciça. Guia de exigências de durabilidade das madeiras na sua utilização segundo as classes de risco*. IPQ, Lisboa, Portugal
- EN 599-1:2009 - *Durability of wood and wood-based products. Efficacy of preservative wood preservatives as determined by biological tests. Part 1: Specification according to use class*. CEN, Bruxelas, Bélgica
- NP 614:1973 - *Madeiras. Determinação do teor de água*. IPQ, Lisboa, Portugal
- NP 616:1973 - *Madeiras. Determinação da massa volúmica*. IPQ, Lisboa, Portugal
- NP EN 927-1:1997 - *Tintas e vernizes. Produtos de pintura e esquemas de pintura para madeira em exteriores. Parte 1: Classificação e Selecção*. IPQ, Lisboa, Portugal
- BS EN 927-2:2006 - *Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior wood. Part 2: Performance specification*. British Standards Institution, Londres, Inglaterra

- EN 927-3:2000 - *Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior wood. Part 3: Natural weathering test.* CEN, Bruxelas, Bélgica
- BS EN 927-4:2000 - *Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior wood. Part 4: Assessment of the water-vapour permeability.* British Standards Institution, Londres, Inglaterra
- BS EN 927-5:2006 - *Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior wood. Part 5: Assessment of the liquid water permeability.* British Standards Institution, Londres, Inglaterra
- BS EN 927-6:2000 - *Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior wood. Part 6: exposure of wood coatings to artificial weathering using fluorescent UV lamps and water.* British Standards Institution, Londres, Inglaterra
- ISO 2813:1994 - *Paints and varnishes . Determination of gloss value at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees.* International Organization for Standardization, Genebra, Suíça
- ISO 4628-1:2003 *Paints and varnishes. Evaluation of degradation of coatings. Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance. Part 1: General introduction and designation system.* International Organization for Standardization, Genebra, Suíça
- ISO 4628-2:2003 - *Paints and varnishes . Evaluation of degradation of coatings . Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance. Part 2: Assessment of degree of blistering.* International Organization for Standardization, Genebra, Suíça
- ISO 4628-3:2003 - *Paints and varnishes. Evaluation of degradation of coatings. Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance. Part 3: Assessment of degree of rusting.* International Organization for Standardization, Genebra, Suíça
- ISO 4628-4:2003 - *Paints and varnishes. Evaluation of degradation of coatings. Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance. Part 4: Assessment of degree of cracking.* International Organization for Standardization. Genebra, Suíça
- ISO 4628-5:2003 - *Paints and varnishes . Evaluation of degradation of coatings. Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance. Part 5:*

Assessment of degree of flaking. International Organization for Standardization. Genebra, Suíça

BS 6150:2006 - *Painting of buildings. Code of practice.* British Standards Institution, Londres, Inglaterra

ISO 7724-2:1997 - *Paints and varnishes. Colorimetry. Part 2: Colour measurement.* International Organization for Standardization. Genebra, Suíça

DD CEN/TS 15083-2:2005 - *Durability of wood and wood-based products. Determination of the natural durability of solid wood against wood destroying fungi, test methods. Part 2: Soft rotting micro-fungi.* British Standards Institution, Londres, Inglaterra