

Mestrado Integrado em Engenharia Química

Estudos de envelhecimento em HPL e WBP

Dissertação de Mestrado

de

Beatriz Pinto Nogueira

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

realizado em

Sonae Indústria de Revestimentos, SIR



Orientadora na FEUP: Prof.^a Luísa Hora de Carvalho

Coorientador na FEUP: Prof. Fernão Magalhães

Orientadora da SIR: Dr.^a Cláudia Costa



Departamento de Engenharia Química

Julho de 2018

Agradecimentos

À Sonae Indústria, pela oportunidade que me concedeu em poder realizar a dissertação em ambiente empresarial.

À Doutora Cláudia Costa, minha orientadora na empresa, pela oportunidade, por toda a sua atenção, correções e ajuda.

À minha orientadora académica, Professora Luísa Carvalho, por me ter acompanhado sempre ao longo do semestre, pela sua disponibilidade constante e por toda a bibliografia partilhada.

Ao Professor Fernão Magalhães, meu orientador, por todo o seu tempo, atenção e pelos comentários e correções sugeridos.

Ao Professor Jorge Martins, por toda a ajuda e tempo dedicado, especialmente no tratamento dos dados.

À Engenheira Margarida Almeida e ao Engenheiro João Pereira, por toda a ajuda prestada na realização dos ensaios.

À Engenheira Ana Vinhas pela formação dada e por ter estado sempre disponível.

À minha família, em especial aos meus pais e irmão, por tudo.

Muito obrigado a todos.

A Professora Luísa Carvalho, supervisora desta dissertação é membro integrado do LEPAE- Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia financiado pelo projeto POCI-01-0145-FEDER-006939 (Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia, UID/EQU/00511/2013) financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 - Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P.

Resumo

Os painéis de derivados de madeira (WBP) em conjunto com os termolaminados decorativos (HPL), estão a tornar-se numa solução cada vez mais atrativa e capaz de substituir a madeira. Em certos aspetos chegam mesmo a superá-la através da incorporação de aditivos que permitem a criação de produtos cada vez mais especializados. Marcam uma forte presença nas indústrias do mobiliário, construção e decoração, nas quais se pretende que estes materiais assegurem a sua função no decorrer do seu tempo de vida útil, sem nunca comprometer o nível de desempenho.

Um dos objetivos deste projeto é o estudo da influência de três envelhecimentos distintos em amostras de WBP e de HPL. O primeiro consiste num envelhecimento natural, com condições de temperatura e humidade relativa de 20 °C e 65 % respetivamente, enquanto os restantes são ambos envelhecimentos acelerados. Um deles é realizado numa estufa a 86 °C e o outro numa câmara climática a 40 °C com uma humidade relativa de 85 %. A avaliação do efeito destes envelhecimentos nos WBP é efetuada através do controlo da variação da massa e espessura e pelo ensaio de resistência à tração perpendicular ao plano (IB) realizado de acordo com a EN 319. Nos HPL é avaliado através da variação da cor, brilho, massa e espessura e pelo ensaio de imersão em água em ebulição, descrito na norma EN 438-2.

O outro objetivo do trabalho era o desenvolvimento de um modelo que permitisse estimar a durabilidade de um HPL através da realização do ensaio de água em ebulição. O modelo seria primeiramente aplicado a um HPL compacto nas condições de utilização de uma casa de banho.

Após 8 semanas de trabalhos práticos, concluiu-se que o envelhecimento natural não provocou alterações significativas em nenhum dos materiais. O efeito da temperatura foi melhorando sucessivamente o desempenho das amostras de HPL ao longo do tempo enquanto nos WBP não teve uma grande influência. A elevada humidade relativa presente na câmara climática afetou negativamente os resultados obtidos nos WBP e melhorou os dos HPL.

Em relação ao modelo, os dados obtidos neste trabalho foram insuficientes para estabelecer uma correlação direta entre o desempenho no ensaio de água em ebulição e a durabilidade real. Ainda assim, o modelo é útil pois permite comparar a velocidade de degradação de diferentes materiais no ensaio de água em ebulição ao longo do envelhecimento.

Palavras-Chave: HPL, WBP, envelhecimento, ensaio de água em ebulição, IB

Abstract

Wood based panels (WBP), overlaid with high pressure laminates (HPL), are becoming an increasingly attractive solution capable of replacing wood. In some cases, they are better than wood due to the incorporation of additives that allows to produce specialized materials. They play a key role in the furniture, construction and decoration industries. In these areas, customers look for products that carry out their functions over lifetime without compromising their performance.

One of the objectives of this project is the study of the influence of three distinct aging in samples of WBP and HPL. The first one consists of a natural aging in which the materials are exposed at a temperature of 20 °C and a relative humidity of 65 %. The others are both accelerated aging processes. One of them is carried out in a drying oven at 86 °C and the other in a climatic chamber at 40 °C with a relative humidity of 85 %. The evaluation of the effect of these aging tests in WBP is carried out by controlling the change of mass and thickness and by the determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board (internal bond), described in the standard EN 319. As for the HPL, the effect of aging is evaluated through the change of colour, gloss, mass and thickness and by the boiling water test, described in the standard EN 438.

The other objective is the development of a model to estimate the durability of a HPL by means of the boiling water test. This model will be applied to compact laminates used under conditions of a bathroom.

After 8 weeks of experimental work, it is concluded that the natural aging did not cause significant changes in any of the materials. The effect of temperature successively improved the performance of HPL in the boiling water test but did not affect the results obtained for WBP. The high relative humidity present in the climatic chamber improved the results in HPL and negatively affected the performance of the WBP samples.

In the model, the data obtained in this project were insufficient to establish a direct correlation between the boiling performance of an HPL and their durability. Nevertheless, the model is useful because it allows us to compare the rate of degradation for different materials in the boiling water test.

Keywords: HPL, WBP, aging, boiling water test, IB

Declaração

Declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

Beatriz Pinto Nogueira

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projeto	1
1.2	Apresentação da Empresa	1
1.3	Contributos do Trabalho	2
1.4	Organização da Tese	2
2	Contexto e Estado da Arte	3
2.1	Termolaminados decorativos de alta pressão	3
2.1.1	Matérias-primas	4
2.1.2	Processo de produção	5
2.1.3	Norma EN 438-2 e propriedades dos HPL	5
2.2	Madeira	7
2.3	Painéis de derivados de madeira, WBP	8
2.3.1	Aglomerado de partículas de madeira, PB.....	8
2.3.2	Aglomerado de fibras de madeira, MDF	10
2.4	Ensaio de envelhecimento acelerado	11
2.4.1	Ensaio envelhecimento em derivados de madeira	11
2.4.2	Ensaio de envelhecimento em laminados e compactos	13
3	Materiais e Métodos	15
3.1	Laminados e compactos	17
3.1.1	Brilho	17
3.1.2	Cor	18
3.1.3	Resistência ao vapor de água	18
3.1.4	Resistência à imersão em água em ebulição	19
3.2	Painéis de derivados de madeira.....	20
4	Resultados e Discussão.....	22
4.1	Impacto dos envelhecimentos nas propriedades dos HPL.....	23

4.1.1	Impacto do envelhecimento nas amostras de HPL preto.....	23
4.1.1.1	Brilho	24
4.1.1.2	Cor	24
4.1.1.3	Massa e Espessura	25
4.1.2	Impacto do envelhecimento nas amostras de HPL com padrão madeira.....	27
4.1.2.1	Brilho	27
4.1.2.2	Cor	28
4.1.2.3	Massa e Espessura	28
4.1.3	Impacto do envelhecimento nas amostras de HPL compacto	30
4.1.3.1	Brilho	30
4.1.3.2	Cor	31
4.1.3.3	Massa e Espessura	31
4.2	Modelo cinético	33
4.3	Impacto dos envelhecimentos nas propriedades dos WBP	36
4.3.1	Impacto do envelhecimento no PB.....	36
4.3.1.1	Impacto na massa e espessura do PB	37
4.3.1.2	Impacto na resistência interna no PB	39
4.3.2	Impacto do envelhecimento no MDF.....	40
4.3.2.1	Impacto na massa e espessura do MDF	41
4.3.2.2	Impacto na resistência interna do MDF.....	42
4.3.3	Impacto do envelhecimento no MDF.H	43
4.3.3.1	Impacto na massa e espessura do MDF.H	44
4.3.3.2	Impacto na resistência interna do MDF.H.....	45
5	Conclusões	47
6	Avaliação do trabalho realizado.....	48
6.1	Objetivos realizados.....	48
6.2	Outros trabalhos realizados.....	48
6.3	Limitações e trabalho futuro	48
7	Referências	49
	Anexo 1 - Processo de Produção do MDF.....	51

Anexo 2 - Processo de Produção do PB	53
Anexo 3 - Resinas	55
Anexo 4 - Resultados HPL preto	56
Anexo 5 - Resultados HPL com padrão madeira	59
Anexo 6 - Resultados HPL compacto	62
Anexo 7 - Estudo de um compacto da concorrência	65
Anexo 8 - Ensaio de água em ebulição, 10 horas	67

Notação e Glossário

mm	milímetro
cm	centímetro
m	metro
kg	quilograma
h	hora
min	minuto
g	grama
mL	mililitro
GU	gloss unit
°C	Graus celsius
°	Grau
N	Newton

Lista de Siglas

ASTM	American Society for Testing and Materials
CEN	Comité Europeu de Normalização
EN	European Standard
HDF	High Density Fiberboard
HPL	High Pressure Laminates
HR	Humidade Relativa
IB	Internal Bond
ISO	International Organization of Standardization
IPV	Instituto Politécnico de Viseu
MDF	Medium Density Fiberboard
MF	Melamina-Formaldeído
MOE	Modulus of Elasticity
MOR	Modulus of Rupture
MUF	Melamina-Ureia-Formaldeído
OSB	Oriented Strand Board
PB	Particle Board
PF	Fenol-Formaldeído
SIR	Sonae Indústria de Revestimentos
TS	Thickness Swelling
UF	Ureia-Formaldeído
WBP	Wood Based Panels

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

Os painéis de derivados de madeira, em conjunto com os termolaminados decorativos, estão a tornar-se numa solução cada vez mais atrativa e capaz de substituir a madeira, chegando mesmo a superá-la em certos aspetos. Marcam uma forte presença nas indústrias do mobiliário, construção e decoração, nas quais a durabilidade dos produtos é uma das principais características. O primeiro objetivo deste projeto é o estudo do efeito provocado por diferentes envelhecimentos em termolaminados decorativos (avaliado através da variação da cor, brilho, massa e espessura e ainda do ensaio de ebulição) e em derivados de madeira (avaliado pela variação da massa, espessura e do ensaio que avalia a resistência interna, IB). O segundo objetivo é a criação de um modelo que, baseado no ensaio de água em ebulição, permita estimar a durabilidade dos HPL, concretamente do compacto nas condições de utilização de uma casa de banho.

1.2 Apresentação da Empresa

A SIR é uma empresa pertencente ao grupo SONAE que foi fundado em 1959 na Maia, local onde se encontra a sua sede. A atividade industrial iniciou-se com a produção exclusiva de termolaminados decorativos, em 1971 estendeu-se para o setor dos aglomerados de madeira e em 1975 passou a produzir também resinas fenólicas e melamínicas.

Em 1988 foi constituída a holding do grupo - Sonae Investimentos, SGPS e ocorreram bastantes alterações no grupo, uma delas a integração do património industrial da Maia na SIR. Ao longo da década de 90 houve uma importante fase de expansão dos negócios através da instalação de unidades fabris em vários países tais como Canadá, Alemanha, Espanha, França, Reino Unido e África do Sul. O aumento da produção e a internacionalização dos negócios tornou a empresa um dos grandes líderes mundiais no sector dos aglomerados com uma forte presença no ramo da construção, mobiliário e decoração.

Recentemente, em maio de 2016, a Sonae Indústria estabeleceu uma parceria estratégica com uma empresa chilena, a Arauco, com a qual partilham os negócios relacionados com os painéis derivados de madeira, químicos e papel impregnado. No entanto, continua a ser a total detentora da Tafisa Canada e de todo os negócios de laminados e componentes, esquematizado na figura 1.

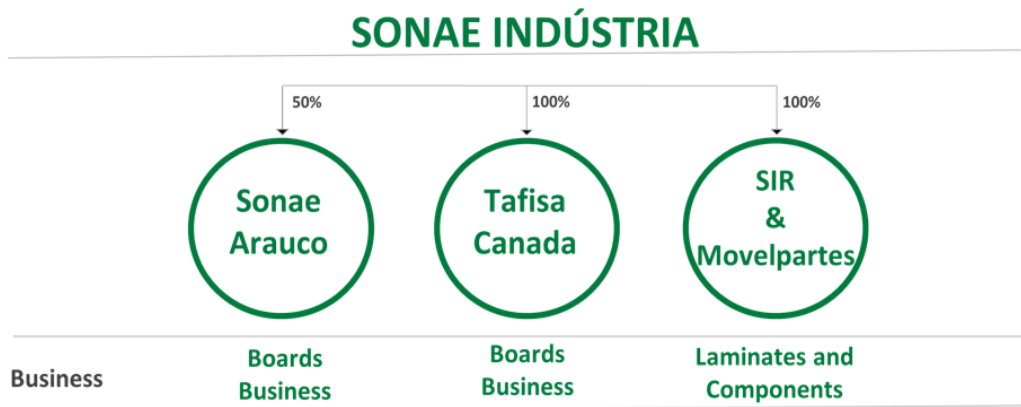


Figura 1- Esquema da organização

1.3 Contributos do Trabalho

Este projeto permitiu obter um conhecimento mais pormenorizado sobre a evolução do desempenho dos HPL, no ensaio de imersão em água em ebulição, ao longo do envelhecimento. No caso dos derivados de madeira, WBP, a influência dos diferentes envelhecimentos também foi analisada e avaliada através da medição da sua resistência interna.

1.4 Organização da Tese

O trabalho está dividido em 5 secções distintas com as seguintes abordagens:

Secção 1 - Introdução: apresentação do projeto a desenvolver e da empresa.

Secção 2 - Contexto e Estado de Arte: identificação geral dos materiais em estudo (HPL e WBP), particularidades, processos de produção, aplicações e normas de caracterização e de avaliação da conformidade. Ensaio de envelhecimento mais comuns.

Secção 3 - Materiais e Métodos: apresentação dos materiais e dos vários ensaios a realizar de acordo com as respetivas normas europeias.

Secção 4 - Resultados: exposição e discussão dos resultados associados aos diferentes materiais.

Secção 5 - Conclusões: apresentação sucinta dos resultados principais.

Secção 6- Avaliação do trabalho realizado: é efetuado um balanço entre os objetivos propostos e o seu grau de concretização. Também são apresentadas propostas de futuros trabalhos a desenvolver no seguimento deste projeto.

2 Contexto e Estado da Arte

2.1 Termolaminados decorativos de alta pressão

Os termolaminados decorativos de alta pressão, conhecidos também por HPL (High Pressure Laminates), apresentam-se sob a forma de placas constituídas por diferentes folhas de material celulósico que são impregnadas com resinas termoendurecíveis e dispostas em camadas. Aproximadamente 70 % do HPL consiste nas folhas de papel sendo as resinas responsáveis pelos restantes 30 %. A união das camadas ocorre através da aplicação simultânea de calor ($\geq 120\text{ }^{\circ}\text{C}$) e pressão ($\geq 5\text{ MPa}$), que permite curar as resinas e obter assim um material homogêneo e não poroso, com uma massa volúmica superior a 1350 Kg/m^3 [1].

Os HPL, dependendo da sua espessura, podem ser classificados em duas categorias: laminados e compactos. Os laminados contêm uma só face decorativa e apresentam uma espessura inferior a 2 mm pelo que necessitam de ser aplicados sobre um suporte, normalmente madeira ou um dos seus derivados. Os compactos apresentam elementos decorativos nas duas faces e têm espessuras superiores a 2 mm pelo que já não exigem um suporte para serem aplicados. No trabalho irão ser estudados materiais pertencentes às duas categorias.

Este material é bastante versátil e permite dar resposta a praticamente todas as exigências decorativas, começando nos laminados básicos unicolores até aos de fantasia. Existem ainda imitações de vários estilos de madeira, pedras, azulejos ou outros padrões. Para além disso, é possível adaptar a textura e o brilho do laminado de forma a reproduzir da melhor maneira o resultado pretendido.



Figura 2- Amostras de laminados e compactos

2.1.1 Matérias-primas

De uma forma muito geral, pode-se afirmar que as matérias-primas dos laminados se resumem a folhas de papel e a um conjunto de resinas combinadas com aditivos.

O kraft é um tipo específico de papel muito utilizado na produção dos HPL devido à capacidade de absorção das resinas e à robustez e resistência das suas folhas. Estas normalmente são impregnadas com resinas fenólicas. As folhas de kraft constituem o núcleo do laminado e são dispostas umas sobre as outras de maneira a formar a camada com a espessura pretendida.

O papel decorativo é o que confere as características estéticas e pode apresentar inúmeras cores e padrões. Apresenta uma gama de gramagens entre 50 e 160 g/m². Este faz parte da camada superficial e é impregnado com resinas melamínicas [2].

O overlay é um papel transparente muito poroso que permite uma elevada absorção de resina. As gramagens típicas vão desde os 15 aos 80 g/m². Tem como objetivo melhorar a resistência à abrasão do laminado.

As resinas funcionam como agente de aglutinação na produção tanto de laminados como de derivados de madeira. Consoante a utilidade desejada, a resina irá ter uma composição particular, contudo todas elas têm por base o formaldeído.

As resinas mais utilizadas na indústria são a de ureia-formaldeído, UF, a melamina-formaldeído, MF, a fenol-formaldeído, PF, e a melamina-ureia-formaldeído, MUF. Todas elas têm presente o formaldeído, um composto orgânico de difícil substituição, que tem o inconveniente de se ir libertando ao longo do tempo. No anexo 3 são apresentadas algumas características destas resinas. A organização mundial de saúde, OMS, estabeleceu que a concentração deste composto em espaços interiores não deve exceder os 0,8 ppm, contudo os valores de emissão situam-se abaixo dos 0,05 ppm [3].

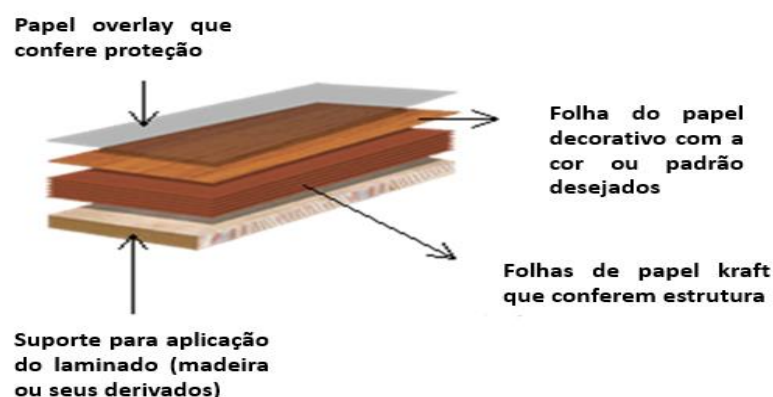


Figura 3- Esquema de montagem de um laminado

2.1.2 Processo de produção

A produção de laminados trata-se de um processo com várias etapas. A primeira é a impregnação do papel kraft e do decorativo com as resinas respectivas. Os rolos de papel são desenrolados e imersos num banho de resina, seguindo para uma estufa onde é seco. Posteriormente é cortado, conforme as encomendas, e armazenado em condições adequadas. Na fábrica da SIR todos os papéis recebidos já se encontram impregnados. A próxima etapa consiste na montagem das camadas do laminado.

Depois de montados os laminados são colocados entre os pratos da prensa. As prensas industriais têm vários andares, pelo que permitem produzir um grande número de laminados simultaneamente. A duração do ciclo, a temperatura e a pressão são variáveis que dependem do tipo de placa a produzir, das resinas presentes e da espessura, contudo os valores normais de pressão situam-se entre os 5 e os 10 MPa, as temperaturas num intervalo entre 120 °C e 150 °C e os ciclos (incluindo aquecimento e posterior arrefecimento) podem ter durações entre 20 e 60 min. Na prensa ocorre a liquefação das resinas que são pressionadas para entrar nas fibras de celulose do papel permitindo o aumento da sua densidade. No processo de cura, irreversível, são formadas ligações que conduzem à formação de uma rede tridimensional que impede o amolecimento do produto. As chapas de acabamento podem ser gravadas com um determinado padrão de forma a conferir uma textura específica à superfície [2].

O laminado na última etapa, ainda na prensa, é arrefecido sob pressão para eliminar certas tensões internas existentes. Depois é cortado nas dimensões corretas e a contra-face é lixada de forma a torná-la mais rugosa para futuramente facilitar a sua aplicação sobre um substrato.

2.1.3 Norma EN 438-2 e propriedades dos HPL

A EN 438-2 é a norma europeia responsável pela caracterização dos laminados. Nela estão definidos os vários métodos de ensaio a realizar bem como os parâmetros a medir de modo a determinar as propriedades dos laminados. Apresenta ainda os requisitos mínimos aceitáveis relativamente a várias propriedades. A aplicação desta norma permite controlar a qualidade dos produtos, contudo o seu uso por parte dos fabricantes é de carácter voluntário.

A versão mais recente desta norma foi revista pelo Comité Europeu de Normalização, CEN, e data do ano de 2016. Nessa edição a norma encontra-se dividida em 7 partes distintas. Na primeira parte é apresentada uma introdução e informações gerais. Na segunda é descrito o procedimento a seguir em cada teste para determinação das propriedades. Na terceira há a classificação e especificação para laminados com espessura inferior a 2 mm para aplicação sobre um suporte. Na quarta parte há a classificação para compactos de espessura superior a 2 mm. Na quinta há a classificação e especificação para laminados destinados a aplicações no

piso. Na sexta há a classificação e especificação para laminados compactos para pisos exteriores com espessura de 2 mm ou superior. E finalmente a última parte destina-se a laminados compactos e HPL painéis para aplicação em paredes internas e externas e acabamentos em tetos [1].

Na segunda parte da norma encontram-se descritos 32 ensaios diferentes, contudo, apenas se realizam todos no caso de o produto ser novo. Numa situação de controlo de qualidade, que ocorre diariamente, apenas são executados alguns dos ensaios, tais como a resistência à abrasão, à água em ebulição, estabilidade dimensional a temperaturas elevadas, resistência ao calor seco, resistência à formação de bolhas, resistência ao vapor de água, resistência ao risco, resistência às manchas e estabilidade dimensional a temperatura de 20 °C. Nestes testes estuda-se o comportamento do material quando exposto a condições drásticas.

Independentemente da área de aplicação do termolaminado existem algumas características gerais que devem ser verificadas em todos eles. Deste modo, pretende-se que estes sejam resistentes ao risco, à abrasão, ao impacto, à água a ferver, ao calor até temperaturas de aproximadamente 180 °C, que não sofram alterações com a presença de produtos químicos, que a sua superfície não perca nem a cor nem o brilho nem permita o aparecimento de manchas.

Para além destas propriedades é de salientar a facilidade de limpeza das superfícies do laminado e a pouca manutenção que requerem, bem como referir também a sua longa durabilidade, devendo atingir no mínimo 20 anos sem perder o seu desempenho [2].

O HPL é um material concebido preferencialmente para aplicações em ambientes interiores, no entanto também pode ser utilizado em algumas situações em exteriores, desde que seja reforçado para resistir a grandes amplitudes térmicas e à radiação.

Para aplicações específicas, para além das características gerais já referidas, o termolaminado adquire propriedades particulares, que são conseguidas através da incorporação de aditivos. Exemplos são o HPL-*standard*, o HPL-*postforming*, HPL- retardante de chama e o HPL-compacto.

A norma EN 438-1 estabeleceu o uso de um código de identificação de 3 letras para distinguir as características do laminado.

Para primeira letra existem as seguintes opções: H para usos horizontais, V para aplicações verticais, C compacto, E uso em exteriores, A efeito pérola, M metal, W madeira, B multicolor e R metálico reforçado. Como segunda letra pode ser: G para uso geral, D uso intenso, C compacto e T fino. Para a terceira existe a designação S para *standard*, P para *postforming* e F retardante de chama [2].

2.2 Madeira

A madeira foi um dos primeiros materiais com o qual o Homem contactou, sendo utilizada preferencialmente em construções. As mais antigas datam de 7000 anos atrás, e desde então a arte e a técnica de trabalhar este material tem evoluído imenso [4].

Pode-se classificar em dos grandes grupos, folhosas (angiospérmicas) e resinosas (gimnospérmicas): as primeiras provêm de árvores de folha caduca, de crescimento lento enquanto a outra é proveniente de árvores coníferas de crescimento rápido. Estes dois grandes grupos possuem estrutura lenhosa diferenciada. O lenho é constituído por vários tipos de células elementares cujas dimensões, forma e agrupamentos variam de acordo com a sua localização no lenho e na espécie lenhosa. A origem e o tipo de árvore vão determinar as propriedades e a aplicação mais adequada [4].

A composição química da madeira é praticamente independente da espécie e é composta por 50 % de carbono, 44 % oxigénio e 6 % hidrogénio. O composto orgânico predominante é a celulose, cerca de 60 %, a lenhina presente entre 20 a 28 % e os restantes componentes são óleos, resinas, ceras e sais minerais.

Como matéria-prima estrutural apresenta vantagens como o facto de ser um produto de origem natural e renovável (apesar de ser um processo lento) tem elevada resistência mecânica, baixa massa volúmica, fácil de trabalhar, existem diversos padrões disponíveis, é um excelente isolante térmico e acústico. Tem como desvantagens o facto de ser um material heterogéneo e consequentemente anisotrópico devido à orientação das suas células, o que leva a que haja variações nas propriedades nas três direcções principais (longitudinal, radial e tangencial). Para além disso, apresenta uma série de defeitos naturais tais como os nós, furos ou fendas e as peças produzidas são limitadas a nível dimensional [5]. É um material vulnerável a agentes externos, sobretudo à humidade que provoca variações dimensionais. A grande afinidade entre a água e a madeira deve-se essencialmente à presença dos seguintes polímeros naturais nas paredes celulares: celulose, hemicelulose e lenhina. A madeira contém água no estado líquido nas cavidades celulares e intercelulares e vapor de água nas paredes das células.

As moléculas de celulose possuem uma estrutura linear, a sua unidade básica é a glucose e contém cerca de 70 % de regiões cristalinas e os restantes 30 % de regiões amorfas e é nestas zonas amorfas onde ocorre a retenção da água. Estão concentradas na região mais interna da parede celular. A hemicelulose é um composto muito ramificado constituído por diversos açúcares e apresenta uma estrutura amorfa. É bastante higroscópica e é o componente que mais contribui para o inchamento da madeira. Encontra-se presente nas camadas mais externas da parede celular. A lenhina tem na sua constituição grupos fenólicos e possui uma estrutura

amorfa com uma afinidade muito baixa com a água. Tal como a hemicelulose, encontra-se preferencialmente nas camadas mais externas da parede celular [24].

2.3 Painéis de derivados de madeira, WBP

Os painéis de derivados de madeira apresentam-se cada vez mais como uma alternativa à madeira maciça numa vasta gama de aplicações e pretendem eliminar as limitações desta, para além de dar resposta a ambientes mais exigentes e específicos. Estes materiais exibem ainda um grande número de vantagens, começando pelo facto de serem produzidos através de subprodutos da serração e outros resíduos de madeira tais como peças de mobiliário, painéis velhos, resíduos de gestão florestal e paletes. Deste modo, praticando a reciclagem e a reutilização promove-se o uso sustentado de recursos e os que não são utilizados são aproveitados para produzir energia. Para além disso, o seu uso é mais flexível permitindo produzir painéis com dimensões muito superiores às permitidas pela madeira e com várias espessuras. As características estéticas podem ser muito diversificadas através da aplicação de revestimentos, transformando-os numa solução decorativa sofisticada e adaptada a inúmeras situações. Outro conveniente é o facto de as técnicas de produção utilizadas não serem dispendiosas. Os painéis podem ser laminados, constituídos por fibras ou por partículas [5].

No mercado existem os diversos tipos de painéis derivados de madeira: contraplacado (plywood), aglomerado de partículas longas e orientadas (OSB), aglomerado de partículas de madeira ligadas por resinas (particleboard) ou cimento (cement-bonded particleboard), aglomerado de fibras de madeira obtido por via húmida (aglomerados de fibra duro, semiduro ou brando) e aglomerado de fibras de madeira obtido por via seca (MDF).

A indústria de painéis derivados de madeira na União Europeia detém um volume de negócios de aproximadamente 22 mil milhões de euros anuais, contando com mais de 5000 empresas [6].

2.3.1 Aglomerado de partículas de madeira, PB

De acordo com a norma EN 309, as placas de aglomerado de partículas de madeira, PB (wood particleboard) podem ser fabricadas a partir de partículas de madeira (lascas ou aparas) ou outra espécie de material lenhocelulósico (aparas de linho, cânhamo ou fragmentos de bagaço) unidas através de resinas e recorrendo à ação conjunta do calor e pressão [20].

As espécies de madeira incorporadas no painel assim como a sua variedade são dos fatores que mais interferem nas propriedades. Por exemplo, quanto menor for a densidade da espécie melhor são as propriedades mecânicas obtidas e melhores resultados são observados quando se utiliza uma só espécie em vez de uma mistura de várias. Para além disso, o comprimento das

partículas, a área superficial específica, a densidade média do painel e o perfil de densidades vertical são outros elementos que afetam o seu comportamento [7].

A massa volúmica destes painéis encontra-se entre os 650 e os 750 kg/m³ e a gama de espessuras entre os 9 e os 43 mm. A resina utilizada preferencialmente é a UF [6].

A produção destes aglomerados teve início na Alemanha no início da década de 1940 e encontra-se descrita no anexo1.

Este material é muito versátil e está presente em várias aplicações, desde peças de mobiliário, a vários tipos de construção, é usado em pavimentos, portas entre outros.

Estes painéis distribuem-se por sete classes distintas de acordo com o ambiente de utilização e a área de aplicação. Entende-se por ambiente húmido um teor de água no material correspondente a uma temperatura de 20 °C e humidade relativa do meio superior a 85 % e por ambiente seco difere apenas a humidade relativa, que é superior a 65 %. A aplicação pode ser estrutural ou de utilização geral que inclui mobiliário e todas as outras. As classes partem do P1 até ao P7, especificadas abaixo, de acordo com a norma EN 312:

- P1: utilização geral em ambiente seco
- P2: aplicações interiores em ambiente seco
- P3: utilização geral em ambiente húmido
- P4: aplicações estruturais em ambiente seco
- P5: aplicações estruturais em ambiente húmido
- P6: aplicações estruturais especiais em ambiente seco
- P7: aplicações estruturais especiais em ambiente húmido

A norma EN 312 contém todos os requisitos necessários cumprir nas placas de PB e engloba os gerais, comuns a todas, e os específicos adaptados a cada uma das classes. São apresentados os valores relativos a propriedades físicas, químicas e mecânicas [8].



Figura 4- Placas de PB e exemplo de aplicação (Sonae Arauco)

2.3.2 Aglomerado de fibras de madeira, MDF

O aglomerado de fibras de madeira obtido por via seca, MDF, médium density fiberboard é um painel constituído por fibras lenhocelulósicas, normalmente oriundas da madeira, que possui uma composição homogénea nas superfícies e no núcleo. Apresenta uma elevada resistência mecânica e estabilidade dimensional para além de ser um material fácil de trabalhar.

A sua produção começa com a obtenção das fibras, processo de desfibração, que seguidamente são envolvidas com uma resina sintética, sendo a UF a mais utilizada. Esta mistura tem de secar para posteriormente se formar o colchão que será enviado para a prensa. Aí o colchão vai ser pressionado pelas placas que se encontram aquecidas e ocorre a polimerização da resina que leva à aglomeração e coesão das fibras, até ser atingida a espessura pretendida. O processo completo encontra-se no anexo 2. O MDF tem espessuras compreendidas entre os 1,8 e os 60 mm [5].

Foi nos EUA que em 1966 se produziu comercialmente MDF, enquanto na Europa o mesmo só chegou passado uns anos, em 1973.

Na indústria o MDF é comercializado numa vasta gama de massas volúmicas, adquirindo denominações específicas: alta densidade, HDF para valores acima de 800 kg/m^3 , MDF leve, L-MDF, abaixo de 650 kg/m^3 e ultra leve, UL-MDF abaixo de 550 kg/m^3 [25].

Este produto é aplicado em construções, no entanto tem uma presença maior na indústria do mobiliário e decoração de interiores. A norma EN 316 caracteriza este material em algumas categorias consoante o seu ambiente e campo de aplicação. Assim, existe o MDF como componente não estrutural utilizado em ambiente seco (MDF) e húmido (MDF.H), para aplicações onde é sujeito a cargas em ambiente seco (MDF.LA) e húmido (MDF.HLS). Existem ainda propriedades particulares que podem ser conferidas a estes painéis como, por exemplo, a resistência ao fogo, MDF.FR, concebido normalmente para espaços públicos [9].

Na norma EN 622-5 estão tabeladas as especificações para os diferentes tipos de MDF com os testes adequados a realizar em cada um e os respetivos valores limite [10].



Figura 5- Placas de MDF e exemplo de aplicação (Sonae Arauco)

2.4 Ensaios de envelhecimento acelerado

A durabilidade dos laminados e dos painéis de derivados de madeira é uma das principais características desejadas pelos consumidores, pelo que é do interesse do fabricante poder oferecer garantias do tempo de vida útil do seu produto. Para tentar chegar a esta estimativa são realizados testes de envelhecimento acelerado.

Um teste de envelhecimento acelerado consiste na exposição de um material a condições extremas de temperatura, humidade, radiação ou outros fatores, comparativamente às sofridas pelo material nas condições reais de utilização. Tem como objetivo aumentar a velocidade de deterioração do material, pretendendo replicar o seu envelhecimento natural num curto espaço de tempo e assim fazer previsões acerca da sua durabilidade e comportamento a longo prazo, nomeadamente através da avaliação da variação das propriedades mecânicas.

Existe alguma controvérsia em redor desta questão uma vez que muitos cientistas e investigadores não consideram as correlações entre o envelhecimento acelerado e o natural válidas. É muito difícil replicar num laboratório os diferentes climas sofridos ao longo dos anos pelos materiais e, para além disso, as condições dos ensaios são obrigatoriamente mais drásticas (para acelerar o processo) e não representam as reais. Outro problema é que no envelhecimento natural a perda de propriedades não ocorre de modo linear com o decorrer do tempo [11].

O estudo da durabilidade muitas vezes inclui testes de envelhecimento de longa duração, que podem ir até aos 10 anos, em que os materiais estão expostos às suas condições reais de utilização. Estes testes exigem anos de estudo e análises constantes, o que os torna dispendiosos, uma vez que a maioria dos investigadores não tem esse tempo disponível [12].

O cruzamento das informações obtidas nos dois tipos de testes de envelhecimento tem permitido ao longo dos anos estimar correlações acerca da degradação dos materiais, apesar de em muitas delas não haver uma clara correspondência entre os dados obtidos.

2.4.1 Ensaios envelhecimento em derivados de madeira

Nos derivados de madeira o procedimento mais comum é a realização de testes cíclicos onde o material sofre a ação contínua de diversas condições. A propriedade mais recorrente para avaliação da durabilidade é a força das ligações, conhecida por IB (internal bond strength) ou resistência à tração perpendicular ao plano, contudo muitas vezes também se avalia o módulo de rutura (MOR), o módulo de elasticidade (MOE) e o aumento da espessura devido ao inchamento, inchamento em espessura, TS (thickness swelling) [13]. Todos estes ensaios referidos têm o inconveniente de serem destrutivos. Apesar da existência de vários testes de envelhecimento, não existe nenhum que seja universalmente reconhecido como teste padrão. Ainda assim, o teste dos 6 ciclos, descrito no ASTM D1037, é um dos testes de aceleração mais utilizados em todo o mundo e dos que produzem resultados mais coerentes [11]. As

amostras são sujeitas a 6 ciclos seguidos, e cada um consiste nas etapas esquematizadas na figura 6.

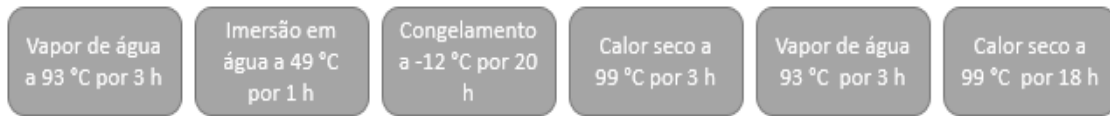


Figura 6- Sequência dos passos de um ciclo de envelhecimento segundo a ASTM D1037

Este teste tem um grande inconveniente que é o facto de ser muito demorado, precisando de 2 semanas, no mínimo, para ser realizado. Têm sido realizadas tentativas de reduzir este tempo. Existem alguns estudos que analisam os efeitos causados por cada um dos ciclos e observa-se que a resistência mecânica dos materiais diminui com o aumento do número de ciclos, sendo bastante mais significativa no primeiro ciclo, tal como demonstrado abaixo na figura 7.

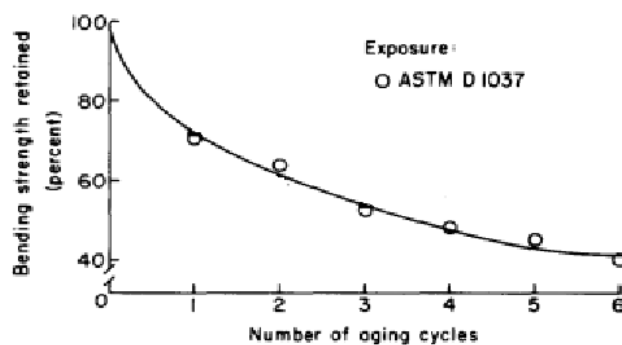


Figura 7- Evolução da resistência à flexão com o número de ciclos de envelhecimento para aglomerados de partículas [12]

É frequente ocorrerem ensaios de envelhecimento natural, nos quais o material está exposto diretamente às condições reais, simultaneamente aos ensaios laboratoriais. Na figura 8 está representada a variação do IB (obtida através da média de vários tipos de painéis de derivados de madeira) alcançada em 5 testes de envelhecimento acelerado diferentes bem como nos painéis expostos ao ar livre. Através da comparação dos resultados é possível estabelecer uma relação entre os dois métodos e tentar prever o comportamento dos painéis nas suas condições reais de utilização [12].

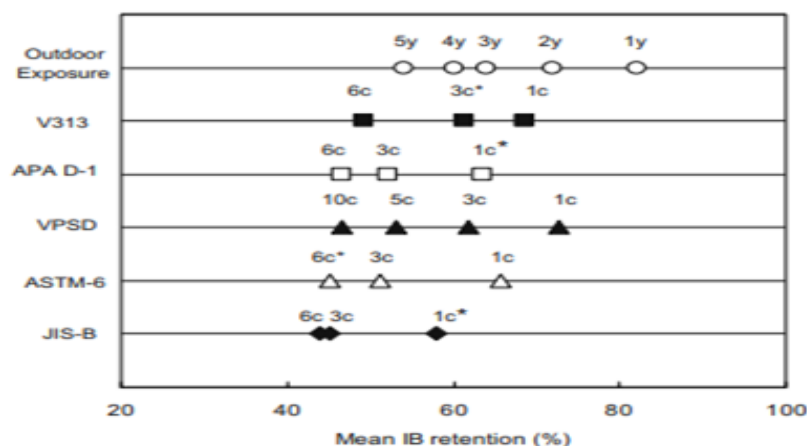


Figura 8- Variação do IB em diferentes ensaios [12]

A norma EN 321 [14] também utiliza um conjunto de três ciclos contendo imersão em água, congelamento e secagem a elevada temperatura e pretende analisar os efeitos da presença de humidade nos painéis. Para tal é medido o inchamento em espessura, que avalia a força da resina, conforme a EN 317 [15] e a resistência à flexão segundo a EN 310 [16].

Os testes cíclicos são em geral mais demorados, podendo-se prolongar por algumas semanas, o que exige um maior controlo e acompanhamento, pois nem todos são completamente programáveis, sendo necessária a presença de alguém para executar os vários passos.

Existem alguns testes que não necessitam de expor os materiais a sucessivos ciclos como o descrito na norma EN 1087-1 [17] que descreve um procedimento que permite determinar a resistência à humidade de painéis de derivados de madeira através da sua imersão em água a ferver. As amostras de material, após acondicionadas a temperatura e humidade relativa controladas, são imersas durante 120 min. Seguem diretamente para arrefecimento em água a 20 °C durante 1 ou 2 h. Após remoção do excesso de água é testada a resistência à tração perpendicular às faces da placa, ou IB, segundo a EN 319 [18].

Os materiais em estudo, laminados e os painéis de derivados de madeira, podem ser aplicados em ambientes interiores e exteriores, húmidos ou não. A execução destes testes apenas é recomendada para materiais adequados a ambientes exteriores. Neste trabalho serão desenvolvidos testes para materiais a usar em condições internas com alguma humidade, como por exemplo casas de banho.

2.4.2 Ensaio de envelhecimento em laminados e compactos

Nos laminados, alguns dos ensaios descritos na norma EN 438-2 podem funcionar como testes de envelhecimento tendo em conta as condições extremas em que ocorrem, tais como a resistência à luz solar, através de lâmpadas de arco Xenon, a resistência à luz UV e o da imersão em água em ebulição.

O primeiro ensaio utiliza lâmpadas de arco Xenon em que a luz emitida por estas é filtrada de modo a reproduzir o mais próximo possível o espectro da radiação solar. É realizado em laminados destinados para aplicação em espaços interiores, mas que, no entanto, estejam expostos a radiação solar direta, através de janelas abertas por exemplo. A preparação dos provetes e as condições do ensaio (temperatura da câmara, duração, humidade e irradiância) encontram-se descritas na norma EN ISO 4892-2 [22].

Após a realização do teste a amostra é colocada lado a lado com uma amostra padrão, que não sofreu exposição à radiação, para serem comparadas, identificando-se o contraste entre as duas, de acordo com a escala dos cinzentos apresentada na norma EN 20105-A02. [23] O nível 5 corresponde à inexistência de contraste enquanto o 1 representa o contraste máximo.

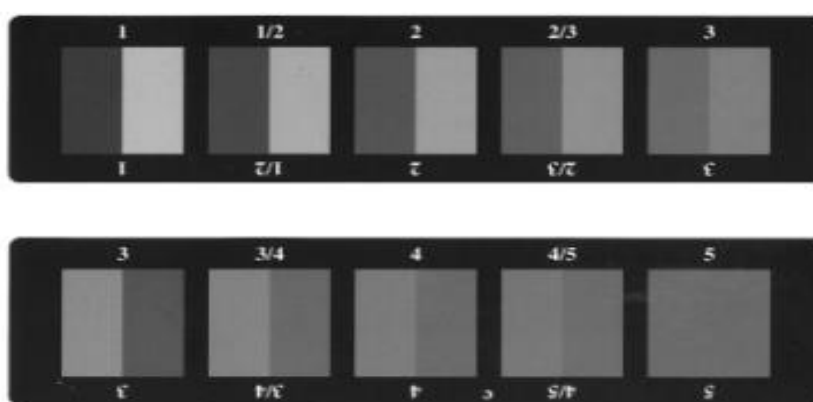


Figura 9- Escala de cinzentos segundo a norma EN 20105-A02

O outro ensaio estuda a resistência dos laminados à radiação UV e à humidade. Pretende simular a degradação da matriz polimérica na superfície e avaliar a eventual perda de brilho ou mesmo formação de fendas. É adequado para laminados destinados a ambientes exteriores. A preparação e o procedimento das amostras de laminados são descritas na norma EN ISO 4892-3. Estão sujeitos a ciclos com períodos de elevada exposição à radiação e outros sem radiação, variando os níveis de humidade relativa. No fim, tal como no ensaio referido anteriormente, é analisado o contraste com uma amostra padrão, recorrendo à escala de cinzentos, como também o aspeto da superfície.

O ensaio da água em ebulição consiste em mergulhar os provetes num reservatório com água a ferver durante duas horas e, após um arrefecimento de 15 min, verificar a variação da massa, espessura e aparência superficial.

Atualmente não existe nenhuma correlação que permita estimar a durabilidade real dos laminados com base neste teste, de maneira que esse é um dos objetivos deste trabalho.

3 Materiais e Métodos

Neste projeto os materiais utilizados dividem-se entre os painéis de derivados de madeira e os laminados de alta pressão e ambos se encontram definidos no capítulo anterior. Na primeira classe estão presentes amostras de PB e dois tipos de MDF, o standard e o hidrófugo, todos eles com uma espessura média de 16 mm. O PB foi produzido na SIR enquanto os painéis de MDF vieram de uma outra fábrica da empresa, localizada em Meppen, na Alemanha. Nos HPL foi testado um compacto e dois tipos de laminados decorativos, um liso de cor preta e outro com padrão que replica a madeira, todos eles produzidos na SIR. A espessura do compacto é próxima dos 5 mm, enquanto que a dos laminados lisos e com padrão de madeira é 0,78 e 0,74 mm respetivamente.



Figura 10- Amostras de PB, MDF e MDF.H respetivamente



Figura 11- Amostras de compactos e laminados decorativos

Todos os materiais chegaram sob a forma de placas com 2 m de comprimento e 90 cm de largura que foram posteriormente cortadas no Instituto Politécnico de Viseu (IPV), de modo a obter as amostras necessárias a todos os ensaios. Todos eles precisam de amostras quadradas com 50 mm de lado. Para cada espécie de laminado e compacto foram cortadas 300 amostras e nos derivados de madeira 75 para cada tipo.

Antes de iniciar qualquer ensaio, em todas as amostras foram realizadas medições da espessura (utilizando um micrómetro para os laminados e compactos e um comparador para os derivados de madeira) e da massa, através de uma balança digital. Para além disso, no caso dos dois

modelos de HPL, efetuou-se uma breve caracterização que consistiu na medição do brilho, da cor, no teste do vapor de água e na imersão em água a ferver. Para tal foram analisadas amostras padrão: 3 de 100 x 100 mm para o teste do vapor, 12 provetes de 50 x 50 mm para a imersão em água a ferver e um de 25 x 10 cm para medição do brilho e cor de cada um dos modelos.

Todas as amostras foram distribuídas de igual forma por três condições diferentes:

- Sala climatizada com uma temperatura de 20 °C e humidade relativa de 65 %
- Câmara climática com uma temperatura de 40 °C e humidade relativa de 85 %
- Estufa a 86 °C

As amostras que se encontram na sala estão colocadas sobre umas mesas. Neste espaço a temperatura e a humidade relativa são controladas e mantidas constantes nos 20 °C e 65 % respetivamente. Todas as amostras devem manter um ligeiro afastamento entre elas.

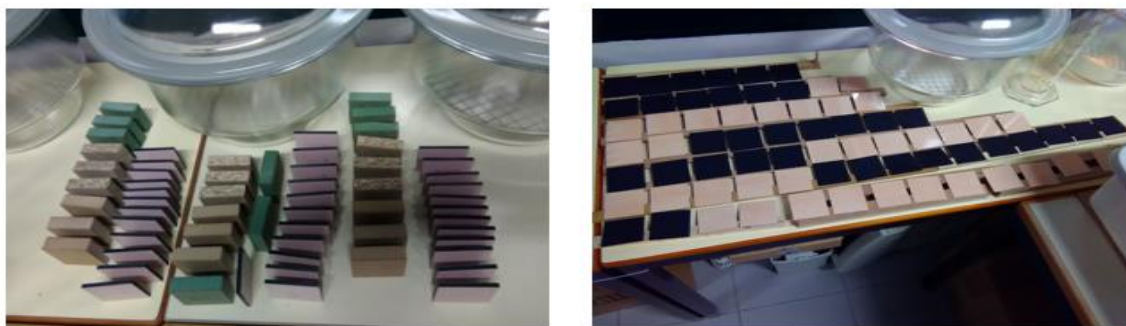


Figura 12- Disposição das amostras na sala climatizada

As condições na câmara climática foram escolhidas de modo a recriar aproximadamente o ambiente sofrido pelos materiais numa casa de banho. Na terceira condição pretendeu-se estudar o envelhecimento dos materiais quando expostos a temperaturas elevadas. Devido à limitação de espaço dentro da estufa alguns laminados ficaram sobrepostos a outros ou apoiados nas faces laterais dos derivados.



Figura 13- Acondicionamento das amostras de HPL na câmara e na estufa respetivamente

A duração total do estudo foram 8 semanas sendo que, em cada uma delas, foi retirado um lote de amostras de cada uma das condições, contendo cada um 12 laminados de cada tipo, 12 compactos e 3 derivados de madeira de cada espécie. Ou seja, semanalmente foram analisados um total de 72 laminados, 36 compactos e 27 derivados de madeira. Os laminados e compactos foram sujeitos ao teste de imersão em água a ferver, à medição da cor e brilho enquanto nos derivados de madeira se mediu a resistência à tração perpendicular às faces da placa, mais conhecido por IB. Na figura seguinte é apresentado um esquema da planificação do trabalho.

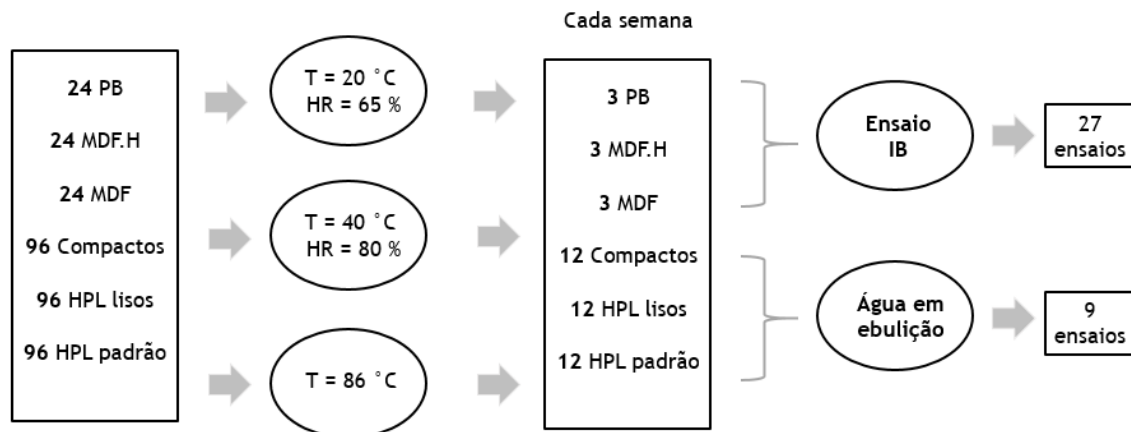


Figura 14- Planificação do trabalho prático

3.1 Laminados e compactos

As amostras padrão, como indicado em cima, foram testadas no início com o objetivo de obter a caracterização dos materiais.

A cor e o brilho são dois dos parâmetros mais importantes no que diz respeito ao estudo de superfícies e são afetados no decorrer do envelhecimento natural dos materiais. Em cada condição experimental existe uma única amostra, de dimensões 25 x 10 cm, que é retirada todas as semanas por uns instantes só para efetuar estas duas medições, regressando de volta às câmaras.

3.1.1 Brilho

O brilho é uma característica que resulta da luz refletida por uma superfície e a sua intensidade, consequentemente, depende do material que compõe a superfície, se esta é plana ou irregular, polida ou rugosa. Para determinar o brilho foi usado um medidor de brilho digital. Este aparelho permite atribuir uma unidade de brilho, em GU (gloss units), à superfície através da medição em vários ângulos. De acordo com a ISO 2813 [27], os ângulos de incidência mais comuns são 20 ° (superfícies com elevado brilho), 65 ° (brilho intermédio) e 80 ° (superfícies mates). Apesar disso, o brilho foi calculado segundo os três ângulos para todas as amostras, num total de 5 medições para cada ângulo.

3.1.2 Cor

O controlo da evolução da cor ao longo do tempo fez-se através da utilização de um colorímetro. Este instrumento emite uma fonte de luz que incide na amostra, é modificada e refletida pela mesma. Essa luz refletida é transformada em três coordenadas, $L^*a^*b^*$, que permitem definir uma cor exata e independente do instrumento utilizado.

Segundo a Comissão Internacional de Iluminação, CIE (Commission Internationale de L'Eclairage), o CIE $L^*a^*b^*$ é um espaço de cores baseado no contraste cromático natural humano no qual se assume que o azul e o amarelo são cores opostas, assim como o vermelho e o verde. A coordenada L^* corresponde à luminosidade e varia entre 0 (preto perfeito) e 100 (branco perfeito), a a^* pode assumir valores negativos quando se aproxima do verde e positivos na região do vermelho e por fim, na b^* os valores negativos correspondem à proximidade com o azul e os positivos com o amarelo [19].

Todas as semanas a cor era medida em 6 pontos distintos da amostra, obtendo-se 6 conjuntos de coordenadas $L^*a^*b^*$. Para comparar a variação da cor com o tempo serão calculados os deltas que correspondem à diferença entre as coordenadas de uma dada amostra e as do padrão. Com esses valores é possível, através da equação 4, calcular a diferença total de cor (ΔE) entre as amostras relativamente ao padrão. Para valores de ΔE inferiores a 2 o olho humano não é capaz de detetar qualquer diferença. Valores entre 3 e 6, apesar de poderem ser distinguidos, são valores aceitáveis. Variações de cor superiores a 6 podem ser facilmente detetáveis e, portanto, são indesejáveis [26].

$$\Delta L^* = L^*_{amostra} - L^*_{padrão} \quad 1$$

$$\Delta a^* = a^*_{amostra} - a^*_{padrão} \quad 2$$

$$\Delta b^* = b^*_{amostra} - b^*_{padrão} \quad 3$$

$$\Delta E = \sqrt{[\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}]} \quad 4$$

3.1.3 Resistência ao vapor de água

A resistência ao vapor de água foi testada seguindo o procedimento descrito na norma EN 438-2 e pretende-se avaliar o efeito na superfície do laminado.

Para este ensaio basta apenas uma amostra quadrada, com 100 mm de lado, que será colocada, durante 1 h, por cima de um Erlenmeyer de 250 mL contendo cerca de 200 mL de água a uma temperatura de 100 °C. A amostra terá de ter a face decorativa virada para baixo para estar em contacto com o vapor de água e é utilizado um peso para evitar que o laminado se desloque

ou caia. Terminado este período é retirado o excesso de água da superfície do laminado e este permanece durante 24 horas nas condições ambiente sendo só depois avaliada a aparência da superfície. Esta avaliação é um processo um pouco subjetivo e baseia-se na seguinte escala de 1 a 5:

- Nível 1: Delaminação
- Nível 2: mudanças notáveis no brilho e/ou cor
- Nível 3: mudanças moderadas no brilho e/ou cor
- Nível 4: ligeira mudança no brilho e/ou cor, apenas detetável em certos ângulos
- Nível 5: sem mudanças visíveis

Na figura 15 apresenta-se a o equipamento utilizado na realização deste ensaio.



Figura 15- Equipamento utilizado no ensaio da resistência ao vapor de água

3.1.4 Resistência à imersão em água em ebulição

O teste da resistência à imersão em água em ebulição foi realizado segundo os pressupostos descritos na norma EN 438-2. O efeito provocado por este teste baseia-se no aumento da espessura e da massa e na eventual alteração da superfície dos laminados.

Esta norma aconselha o acondicionamento de 3 amostras do mesmo laminado numa câmara climática a uma temperatura de 23 °C e humidade relativa de 50 % durante um período de 72 h antes do início do teste. Após esse tempo é medida a espessura nos quatro vértices da amostra e a sua massa. De seguida são posicionadas num suporte que evite o contacto entre elas e com as paredes do reservatório onde estarão contidas. Este reservatório contém água destilada que é aquecida e após atingir os 100 °C as amostras são colocadas no seu interior e permanecem imersas durante 2 h. Depois são arrefecidas num outro reservatório com água destilada a 23 °C durante 15 min e por fim o excesso de água é retirado com um pano ou papel. As amostras seguem novamente para a balança, onde é registada a nova massa e torna-se a medir as espessuras. O aspeto visual do laminado é analisado e avaliado numa escala de 1 a 5, a mesma referida em cima.

Na realização destes ensaios no laboratório, cometidos alguns desvios em relação à norma: a não realização do acondicionamento prévio de 72 h devido ao elevado número de ensaios e a utilização de água em vez de água destilada por causa dos vários litros necessários. Apesar disso, desde a saída das câmaras, todas as amostras aguardaram um período mínimo de 48 h nas condições ambiente normais, pois eram retiradas todas as sextas feiras.

Com a exceção dos tópicos referidos acima, os testes de imersão em água a ferver ocorreram durante as 2 h e no seu decorrer eram retiradas amostras a cada 30 min. Utilizou-se uma placa de aquecimento sobre a qual se colocou uma panela com água contendo 4 suportes cada um com 3 amostras do mesmo material imersas. A cada 30 min era retirado um suporte, este arrefecia durante 15 min num gobelé com água à temperatura ambiente e de seguida as amostras eram enxugadas e media-se a sua espessura e massa para além da avaliação do aspeto visual da superfície.



Figura 16- Etapas do ensaio de água em ebulição: preparação, fervura, arrefecimento e análise

3.2 Painéis de derivados de madeira

As amostras de PB e MDF, após serem retiradas das câmaras, a primeira etapa era a medição novamente da espessura e massa. De seguida eram preparadas para posteriormente serem submetidas ao teste de resistência à tração perpendicular ao plano que avalia a força da ligação interna.

O primeiro passo é a colagem das faces superior e inferior da amostra às superfícies dos suportes de ensaio. Estes podem ser em madeira de folhosas, contraplacado de folhosas ou metálicos e têm as mesmas dimensões dos provetes: 50 x 50 mm [21].

Os suportes utilizados são metálicos e as colas características são as epoxídicas ou a hot-melt, sendo esta última a escolhida nos ensaios realizados. Esta cola apresenta-se inicialmente no estado sólido sob a forma de pequenos grãos. Estes são distribuídos sobre cada superfície, dispostos aproximadamente numa matriz 4 x 4 e seguem diretos para uma placa de aquecimento onde vão ser derretidos. De seguida colam-se as duas faces da amostra às superfícies do

suporte, é retirado o excesso de cola e deixa-se em repouso, em condições controladas ($T = 20^{\circ}\text{C}$ e $\text{HR} = 65\%$), durante um período de 24 h para garantir o endurecimento da cola. Após esse período o suporte é encaixado numas garras que se prendem à máquina de ensaios.

A máquina de ensaios está conectada a um computador que contém um programa adaptado a vários tipos de ensaios. No teste executado o único parâmetro selecionado é a velocidade de aplicação da força, que deve ser constante ao longo de todo o ensaio e permitir que a carga máxima ocorra em (60 ± 30) s. Esta velocidade varia de acordo com os materiais a testar. O ensaio termina quando a amostra sofre rutura, no entanto, se a falha ocorrer próxima da superfície entre o metal e a amostra, o ensaio é rejeitado.

No final é obtido o valor da resistência à tração perpendicular às faces da placa (f) em N/mm^2 , que utiliza a carga máxima suportada pela amostra ($F_{\text{máx}}$) e as dimensões da superfície ($a \times b$).

$$f = \frac{F_{\text{máx}}}{a \times b} \quad 5$$



Figura 17- Hot-melt, disposição da cola na superfície do suporte de ensaio, amostra na máquina de ensaios e conjunto de amostras após ensaio de resistência interna

4 Resultados e Discussão

Neste capítulo vão ser apresentados e discutidos os diversos resultados alcançados no decorrer de todo o trabalho prático. Antes de se iniciarem os processos de envelhecimento as amostras padrão foram caracterizadas. Nos HPL foram efetuadas medições do brilho e cor assim como também se realizaram testes de modo a avaliar a resistência ao vapor de água e à água em ebulição. Os resultados encontram-se expressos na tabela 1. Os aglomerados de madeira, para além da medição da massa e espessura, foram sujeitos ao teste de resistência à tração perpendicular ao plano (IB) e os valores resultantes estão apresentados na tabela 2.

Tabela 1- Resultados da caracterização inicial dos HPL

Material	Massa inicial (g)	Espessura inicial (mm)	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)	Vapor de água	Brilho	Cor
HPL preto	2,72	0,78	9,95	15,38	5	20°: 0,20 60°: 1,40 85°: 8,38	L*:23,00 a*: 0,27 b*: -0,46
HPL com padrão madeira	2,71	0,74	10,78	17,02	4	20°:51,00 60°:85,00 85°:90,10	L*: 71,43 a*: 5,43 b*: 21,12
HPL Compacto	18,22	4,85	0,82	0,85	5	20°: 2,50 60°:17,00 85°:37,70	L*: 73,77 a*: 7,09 b*: 5,69

Tabela 2- Resultados da caracterização inicial dos WBP

Material	Massa inicial (g)	Espessura inicial (mm)	Massa volúmica (kg/m³)	IB (N/mm²)
PB	23,68	16,08	575	0,16
MDF.H	32,42	15,92	789	0,93
MDF	30,41	16,12	727	0,47

4.1 Impacto dos envelhecimentos nas propriedades dos HPL

Como referido no capítulo anterior, ao longo de toda a experiência era retirado semanalmente, à sexta feira, um conjunto específico de amostras de cada uma das três condições, as quais eram posteriormente submetidas aos respetivos testes. No caso dos laminados e compactos existem 4 propriedades a considerar: o brilho, a cor, a variação de massa e de espessura. As alterações encontradas no brilho e na cor foram causadas exclusivamente pelo envelhecimento sofrido pelas amostras nas respetivas condições. A variação da massa e espessura foram analisadas tendo em conta o efeito provocado pelo acondicionamento e pelo ensaio da imersão em água em ebulição. A espessura era medida nos quatro quadrantes da amostra, conforme explicitado na norma EN 438-2.

A variação de massa e espessura nos três materiais está relacionada, maioritariamente, com a sua capacidade de absorver e libertar água de acordo com as condições do meio envolvente. Tal fenómeno ocorre com muita facilidade devido à porosidade do papel kraft e à higroscopicidade da celulose e dos restantes compostos presentes na estrutura deste material.

4.1.1 Impacto do envelhecimento nas amostras de HPL preto

Começando por considerar o aspeto visual das amostras, nenhum dos três envelhecimentos foi suficiente para provocar alterações na face decorativa do laminado. Pelo contrário, na outra face, a degradação ocorrida pela elevada temperatura na estufa é facilmente observável e a resultante das condições na câmara, apesar de identificável, é mais ligeira. Nas amostras colocadas na sala não é visível nenhuma mudança quando comparadas com o padrão. No ensaio de ebulição vão sendo retiradas amostras aos 30, 60, 90 e 120 min, contudo, quando são todas misturadas no final da experiência, não é possível efetuar nenhuma distinção entre elas pelo que são avaliadas com um nível 5. Na figura 18 estão representadas amostras correspondentes à última semana de trabalho. Do lado esquerdo as amostras à saída das respetivas condições de envelhecimento e do lado direito depois de terem sofrido o ensaio de água em ebulição durante as 2 h.

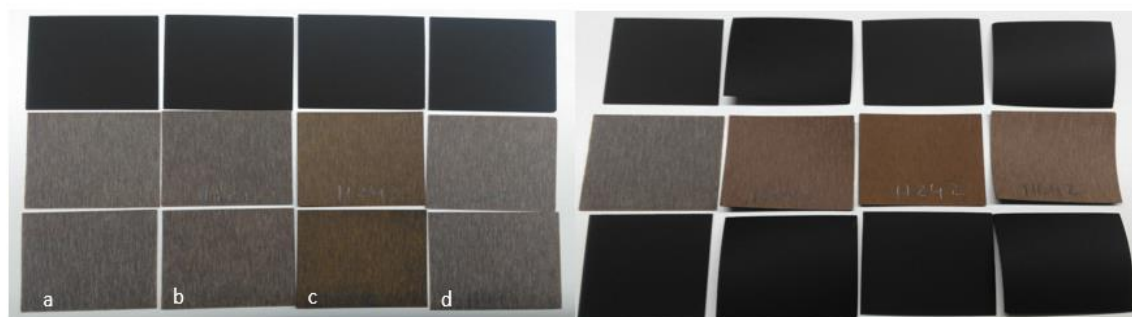


Figura 18- Amostras de HPL preto após 8 semanas de envelhecimento e 2 h de ensaio a) padrões b) câmara c) estufa d) sala

4.1.1.1 Brilho

Os laminados pretos têm um acabamento mate, que se caracteriza pelo baixo brilho superficial. No gráfico da figura 19 apresenta-se a evolução do brilho na amostra de HPL preto com o decorrer das semanas. O ângulo de medição utilizado foi o de 85 °, uma vez que é o mais adequado para este tipo de superfícies. De acordo com a EN 13722, em acabamentos mates, o desvio máximo permitido é de 3 GU. Nos resultados experimentais o desvio máximo obtido foi de 0,3 GU, o que permite concluir que nenhuma das 3 condições de envelhecimento foi suficiente para provocar alterações relevantes na cor ao longo das 8 semanas.

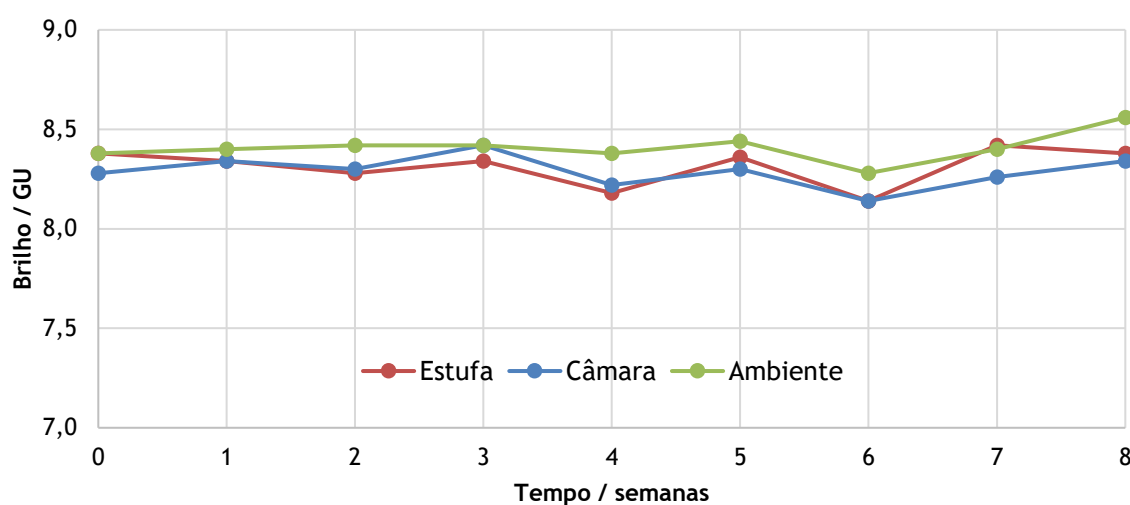


Figura 19- Evolução do brilho das amostras de HPL preto nas três condições com o tempo

4.1.1.2 Cor

No gráfico está representada a evolução da cor ao longo do tempo em três amostras de HPL preto, cada uma exposta a uma condição específica. A análise da cor é baseada na variação do ΔE , que é um parâmetro que avalia a diferença de cor total relativamente à cor do padrão, medido no início. A partir da 5ª semana foi utilizado um colorímetro diferente, o que poderá ter afetado os resultados e dificulta a comparação entre todos. Ainda assim, o efeito da câmara e da estufa, relativamente às condições ambiente, são mais influentes na variação da cor. O ΔE começa por diminuir ao longo das primeiras semanas, o que não era esperado nem faz muito sentido, no entanto, nas últimas parece estabilizar. Ainda assim, os valores das primeiras semanas encontram-se praticamente todos abaixo de 2, pelo que não são detetáveis pela visão humana. Nas últimas semanas, apesar de ligeiramente superiores, nenhum dos valores de ΔE chega aos 3 o que permite concluir que nenhum envelhecimento foi capaz de provocar modificações significativas na cor das amostras.

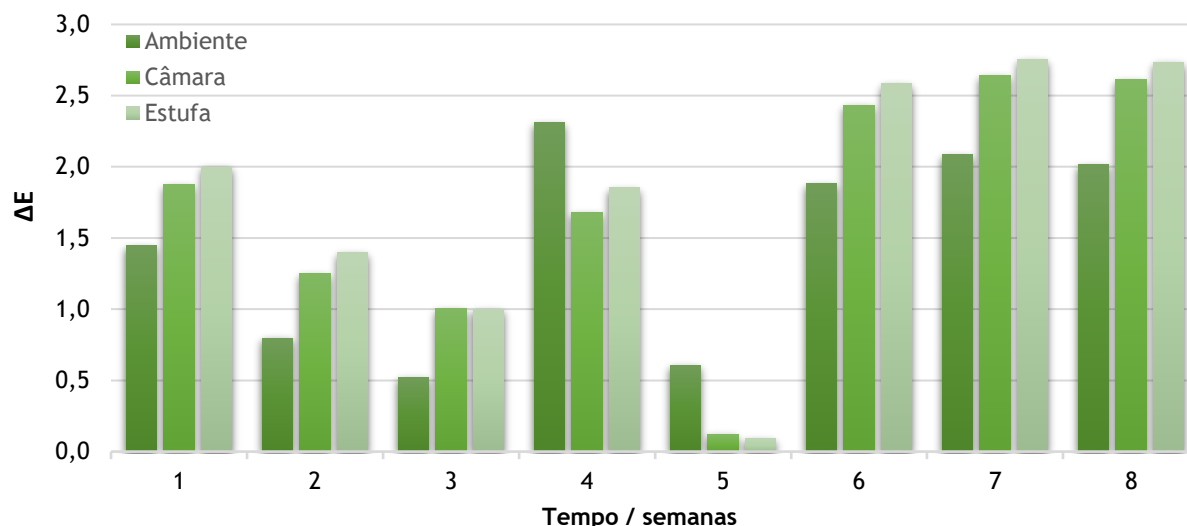


Figura 20- Evolução da cor total das amostras de HPL preto com o tempo

4.1.1.3 Massa e Espessura

Os gráficos com a evolução da variação da massa e espessura ao longo do envelhecimento e com os resultados obtidos nos ensaios de água em ebulição encontram-se todos no anexo 4. Nas tabelas seguintes apresentam-se as variações sofridas pelas amostras resultantes da permanência nas três condições e do ensaio de água em ebulição (nos cálculos é considerada a massa após o ensaio e a massa depois do envelhecimento, à saída das condições).

Tabela 3- Resultados das variações de massa e espessura das amostras de HPL preto da sala climatizada

<u>Ambiente</u>	Consequência do envelhecimento		Consequência do ensaio de água em ebulição	
	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)
Padrão	-	-	9,95	15,38
2ª semana	0,00	-0,21	9,16	16,17
4ª semana	0,00	-1,11	8,67	15,80
6ª semana	-0,37	-2,53	9,08	15,37
8ª semana	0,22	-0,93	10,00	15,53

As amostras que estiveram expostas às condições **ambiente** mantiveram os valores das suas massas praticamente inalterados, no entanto, as variações de espessura foram negativas, provavelmente porque os padrões não estavam completamente estabilizados no início. Ao longo das semanas, o desempenho alcançado no ensaio de água em ebulição foi constante e de acordo com os valores padrão. As oscilações verificadas não são significativas e são consequência das próprias diferenças existentes entre as amostras.

As amostras acondicionadas na **câmara**, tabela 4, atingiram o equilíbrio com as novas condições logo na primeira semana, mantendo depois a variação da massa e espessura praticamente

constantes. Nos resultados do ensaio em água em ebulição verifica-se que, de um modo geral, o tratamento provocou a diminuição contínua da quantidade de água absorvida. Tal era esperado uma vez que as amostras vão retendo alguma água, devido à elevada humidade relativa da câmara, o que contribui para a redução da capacidade de absorção no ensaio. Ainda assim, a diminuição em relação aos valores padrão é pequena porque o efeito da temperatura também promove a evaporação de alguma água.

Tabela 4- Resultados das variações de massa e espessura das amostras de HPL preto acondicionadas na câmara

Câmara	Consequência do envelhecimento		Consequência do ensaio de água em ebulição	
	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)
Padrão	-	-	9,95	15,38
2ª semana	1,77	0,10	7,95	14,30
4ª semana	1,74	0,38	7,01	12,49
6ª semana	0,89	-0,64	7,38	12,47
8ª semana	1,68	0,67	7,49	13,26

Nas amostras acondicionadas na **estufa**, tabela 5, verifica-se a diminuição contínua das duas propriedades com o decorrer do tempo. Apesar da espessura reduzida destes materiais, as 8 semanas não são suficientes para atingirem o equilíbrio.

O desempenho das amostras no ensaio é favorecido pelo tempo de permanência na estufa, uma vez que este melhora consecutivamente semana após semana. Esta melhoria pode estar relacionada com o prolongamento da cura das resinas, promovido pela temperatura, uma vez que este processo nunca é levado até ao fim de forma a não tornar o material rígido demais. A cura provoca um aumento da reticulação da resina fenol-formaldeído que dificulta a entrada da água.

Tabela 5- Resultados das variações de massa e espessura das amostras de HPL preto acondicionadas na estufa

Estufa	Consequência do envelhecimento		Consequência do ensaio de água em ebulição	
	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)
Padrão	-	-	9,95	15,38
2ª semana	-3,75	-3,53	11,07	16,09
4ª semana	-4,52	-4,43	10,38	14,06
6ª semana	-4,06	-5,06	9,62	12,77
8ª semana	-4,94	-5,43	8,79	9,59

4.1.2 Impacto do envelhecimento nas amostras de HPL com padrão madeira

Relativamente ao aspeto visual das amostras, na face decorativa e a olho nu, apenas é possível identificar alterações nas amostras saídas da estufa, nomeadamente a perda de brilho. Na face que fica em contacto com o substrato, a degradação ocorrida foi semelhante à sofrida pelos laminados pretos, verificando-se bastante bem o escurecimento provocado pela estufa e, de uma forma mais discreta, o efeito da câmara.

Terminado o ensaio de água em ebulição e misturando todas as amostras só se conseguia distinguir, com alguma dificuldade, as que foram retiradas nos primeiros 30 min. Na avaliação foi atribuído um nível 4. Na figura 21 estão fotografias de algumas amostras da última semana após os respetivos envelhecimentos, à esquerda, e após as 2 h de ensaio, à direita. A qualidade das fotografias não é suficiente para permitir a perceção do brilho.

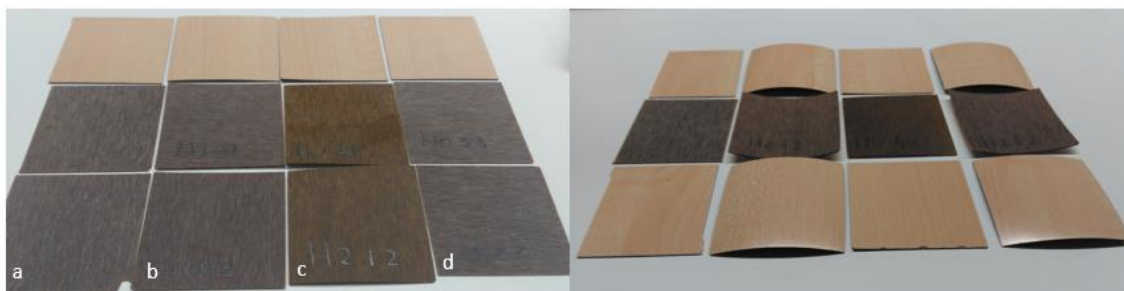


Figura 21- Amostras de HPL com padrão madeira após 8 semanas de envelhecimento e 2 h de ensaio de água em ebulição a) padrões b) câmara c) estufa d) sala

4.1.2.1 Brilho

Estes laminados têm um acabamento muito brilhante e o gráfico da figura 22 permite acompanhar a evolução do brilho das amostras nas diferentes condições de envelhecimento. Para este tipo de superfícies o ângulo mais sensível às variações é o de 20 °, que será o analisado. As amostras expostas às condições ambiente, independentemente do ângulo aplicado, não sofreram alterações significativas do brilho. As condições na câmara provocaram uma perda de brilho no material de cerca de 38 % nas 8 semanas de envelhecimento. Esta diminuição ocorreu de uma forma gradual, uma vez que em cada semana as perdas foram aproximadamente constantes. Na estufa a diminuição do brilho é muito brusca nas primeiras duas semanas (57 %) contudo, nas restantes os valores desta propriedade mantêm-se praticamente constantes.

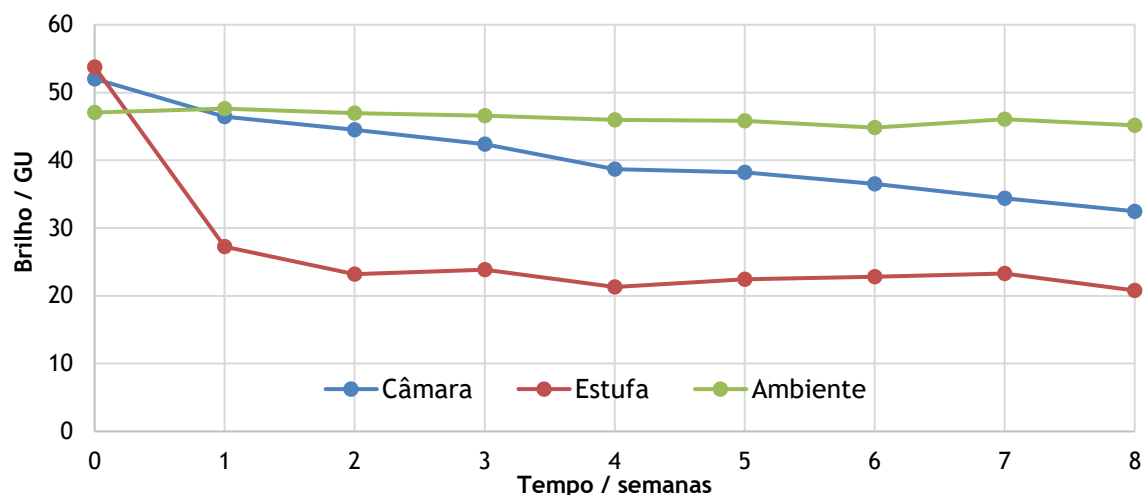


Figura 22- Evolução do brilho das amostras de HPL com padrão madeira nas três condições com o tempo

4.1.2.2 Cor

Através do gráfico observa-se que existe uma variação da cor da amostra em relação ao padrão na primeira semana, a qual é mantida sem grandes modificações nas restantes três semanas. Nas últimas 3 semanas de envelhecimento a variação de cor é cerca de 70 % superior ao valor médio obtido nas 4 primeiras semanas. Para corrigir este erro teria de ter sido medida a cor do padrão com o novo colorímetro, de forma a comparar as diferenças. As condições da câmara, em todas as semanas provocaram alterações na cor ligeiramente superiores comparativamente às outras duas condições. As variações de cor neste HPL foram mais significativas que as verificadas no HPL preto, no entanto continuam a ser valores aceitáveis.

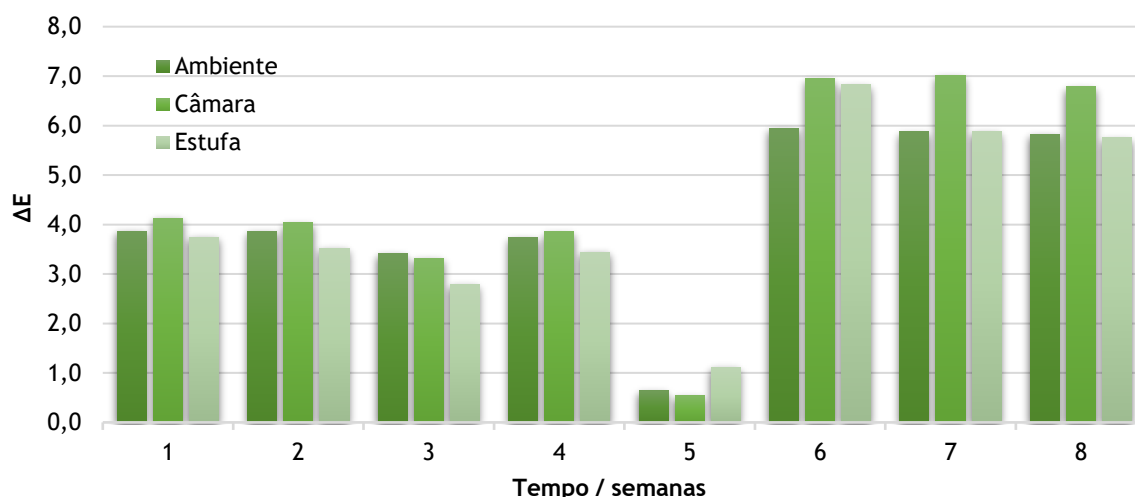


Figura 23- Evolução da cor total nas amostras de HPL com padrão madeira nas três condições com o tempo

4.1.2.3 Massa e Espessura

Os gráficos representativos das variações da massa e espessura ao longo das semanas e dos ensaios encontram-se no anexo 5. Nas amostras da sala climatizada verificam-se algumas

oscilações nos valores registados, contudo não existe nenhuma tendência. Em relação aos resultados no ensaio de água em ebulição, as semanas de estudo não foram suficientes para se verificar qualquer alteração relevante. A massa variou entre 10,1 e 10,9 % e a espessura entre 16,3 e 18,9 %.

Tabela 6- Resultados das variações de massa e espessura das amostras de HPL padrão madeira da sala climatizada

Ambiente	Consequência do envelhecimento		Consequência do ensaio de água em ebulição	
	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)
Padrão	-	-	10,78	17,02
2ª semana	0,03	-0,17	10,77	17,21
4ª semana	-0,03	-2,20	9,84	16,34
6ª semana	-0,19	-1,72	10,19	18,08
8ª semana	-0,06	-2,39	10,27	18,21

Nas amostras acondicionadas na **câmara** observa-se um aumento da massa e da espessura que, de um modo geral, se mantêm constantes ao longo das semanas. Existe uma melhoria contínua do desempenho no ensaio, refletido na diminuição da variação da massa e espessura sofrida pelas amostras. Da primeira para a última semana a massa diminui dos 8,9 para os 6,4 % e a espessura dos 16,9 para os 13,1 %. A justificação é a mesma que a do HPL anterior.

Tabela 7- Resultados das variações de massa e espessura das amostras de HPL madeira acondicionadas na câmara

Câmara	Consequência do envelhecimento		Consequência do ensaio de água em ebulição	
	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)
Padrão	-	-	10,78	17,02
2ª semana	1,49	1,53	8,51	14,95
4ª semana	1,84	1,06	7,48	14,27
6ª semana	1,40	1,44	7,53	13,71
8ª semana	1,86	0,89	7,33	13,09

As amostras colocadas na **estufa** sofreram as maiores variações na primeira semana e a partir daí a massa manteve-se aproximadamente constante e a espessura com algumas oscilações. O efeito da temperatura, com o passar das semanas, dá origem a desempenhos cada vez melhores nos ensaios de água em ebulição. A justificação poderá estar relacionada, mais uma vez, com o prolongamento da cura da resina e o aumento da rigidez do laminado.

Tabela 8- Resultados das variações de massa e espessura das amostras de HPL madeira acondicionadas na estufa

Estufa	Consequência do envelhecimento		Consequência do ensaio de água em ebulição	
	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)
Padrão	-	-	10,78	17,02
2ª semana	-4,24	-3,36	11,34	12,94
4ª semana	-4,79	-4,02	10,27	10,10
6ª semana	-4,45	-3,25	7,54	7,98
8ª semana	-4,98	-3,07	5,10	5,19

4.1.3 Impacto do envelhecimento nas amostras de HPL compacto

O compacto, contrariamente aos outros dois HPL em análise, tem as duas faces revestidas com papel decorativo. Nenhum dos três envelhecimentos conseguiu provocar alterações detetáveis visualmente nas faces das várias amostras. O ensaio de água em ebulição também não foi suficiente para detetar quaisquer alterações em nenhum momento, pelo que lhe foi atribuído um nível 5 na avaliação.

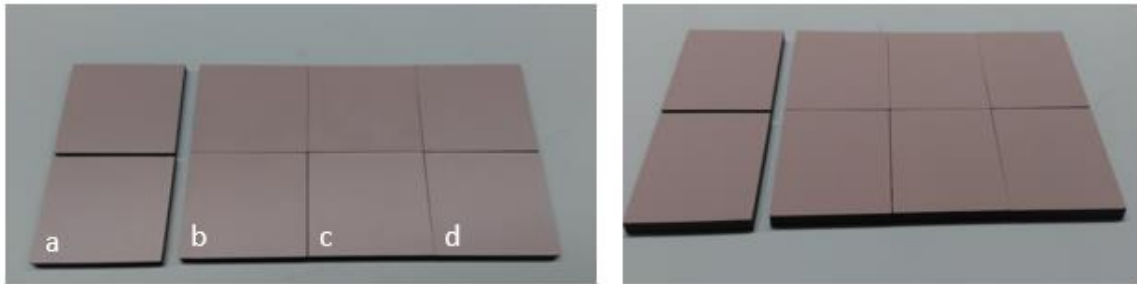


Figura 24- Amostras após 8 semanas de envelhecimento e 2 h de ensaio a) padrão b) câmara c) estufa d) sala

4.1.3.1 Brilho

A superfície dos compactos pode ser considerada do tipo semi brilhante. Nas medições efetuadas com os 60 ° para a amostra da câmara e da sala observa-se uma estabilidade nos valores do brilho. Até à 4ª semana, a curva pertencente à amostra da estufa, encontra-se ligeiramente acima das restantes, voltando depois a coincidir com estas. Antes do começo dos envelhecimentos, as 5 medições efetuadas nesta amostra mostraram níveis de brilho superior às outras duas pelo que não se deve relacionar a curva com nenhum efeito de envelhecimento. O desvio máximo permitido é de 5 GU e verifica-se que nenhuma condição provocou tais resultados.

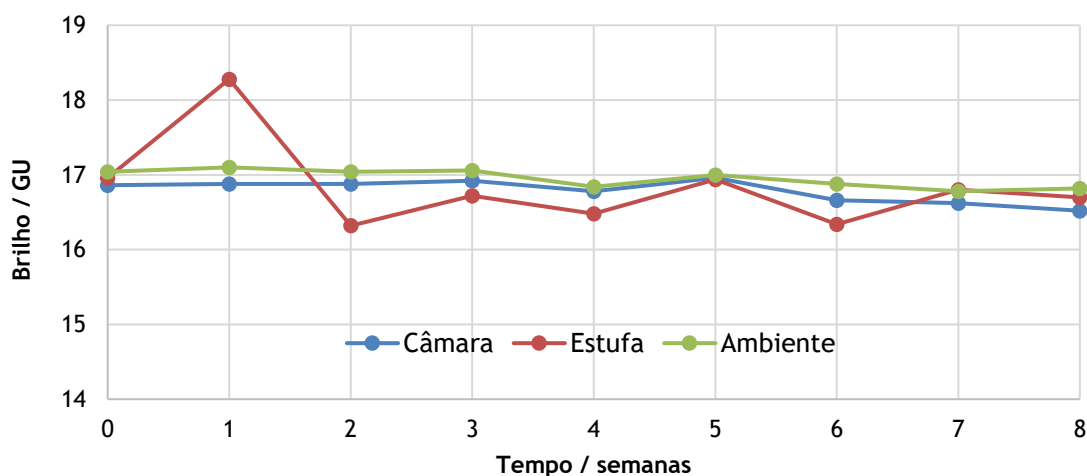


Figura 25- Evolução do brilho das amostras de HPL compacto nas três condições com o tempo

4.1.3.2 Cor

Logo após a primeira semana de tratamentos, já se verifica uma variação da cor total, ΔE , semelhante nas três amostras em estudo. Esta variação mantém-se sensivelmente constante até à 4ª semana. Os valores obtidos na 5ª, mais uma vez, não irão ser discutidos. Nas restantes três semanas a cor das amostras permanece inalterada, independentemente da condição de envelhecimento. Ainda assim, os valores de ΔE são cerca de 60 % superiores aos das primeiras 4 semanas e encontram-se próximos do limite aceitável, a partir do qual começa a ser possível distinguir as amostras envelhecidas das amostras padrão. De um modo geral, podemos concluir que nenhum dos envelhecimentos teve uma contribuição que se destaque uma vez os três provocaram efeitos semelhantes na variação da cor das amostras.

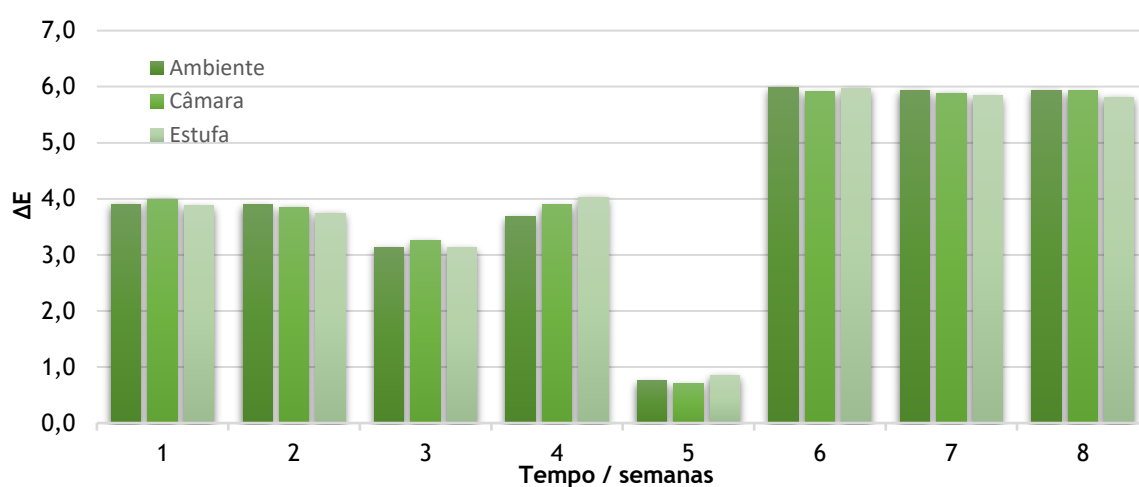


Figura 26- Evolução da cor total nas amostras de HPL compacto nas três condições com o tempo

4.1.3.3 Massa e Espessura

No anexo 6 encontram-se os resultados da influência da exposição às várias condições e relativos ao ensaio de água em ebulição. De um modo geral, os HPL compactos apresentam um desempenho muito bom neste ensaio e bastante superior aos outros dois HPL, uma vez que são materiais mais densos e altamente reticulados, o que dificulta a entrada de água. Para além disso, a água entra preferencialmente pelas faces laterais visto que as outras estão revestidas, o que reduz a área de entrada da água. Nas amostras da **sala** não se verificou praticamente nenhuma influência do envelhecimento na variação da massa e da espessura das amostras nem no seu comportamento nos ensaios.

Tabela 9- Resultados das variações de massa e espessura das amostras de HPL compacto da sala climatizada

Ambiente	Consequência do envelhecimento		Consequência do ensaio de água em ebulição	
	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)
Padrão	-	-	0,82	0,85
2ª semana	-0,06	-0,02	0,75	0,99
4ª semana	-0,02	-0,37	0,69	1,02
6ª semana	0,00	-0,25	0,75	1,09
8ª semana	0,04	-0,23	0,65	0,99

As amostras acondicionadas na **câmara** sofreram semanalmente um aumento da massa e da espessura. O comportamento nos ensaios não foi muito regular uma vez que a massa oscilou bastante ao longo das semanas e a espessura começou por diminuir no início, no entanto, a partir da 5ª semana os valores tornaram a aumentar e coincidiram os 3 com os maiores valores registrados.

Tabela 10- Resultados das variações de massa e espessura das amostras de HPL compacto da câmara

Câmara	Consequência do envelhecimento		Consequência do ensaio de água em ebulição	
	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)
Padrão	-	-	0,82	0,85
2ª semana	0,73	0,47	0,64	1,20
4ª semana	0,91	0,90	0,62	0,96
6ª semana	1,14	0,64	0,52	1,27
8ª semana	1,15	0,81	0,52	1,22

As amostras colocadas na **estufa**, ao longo das semanas, foram perdendo sucessivamente mais massa pelo que não chegaram a atingir o equilíbrio com as novas condições. Em relação aos resultados obtidos nos ensaios, assiste-se a uma diminuição considerável nos valores registrados para a variação da espessura (desde 0,97 % da 1ª semana até 0,55 % na 7ª). Os da massa, apesar de também diminuírem com o tempo, não são tão expressivos.

Resumindo, as amostras de compacto diminuem a sua massa e espessura na estufa, no entanto, quando são colocadas na água em ebulição não conseguem tornar a atingir os valores iniciais (anteriores ao tratamento).

Tabela 11- Resultados das variações de massa e espessura das amostras de HPL compacto da estufa

Estufa	Consequência do envelhecimento		Consequência do ensaio de água em ebulição	
	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)	Δ Massa (%)	Δ Espessura (%)
Padrão	-	-	0,82	0,85
2ª semana	-2,53	-1,48	1,00	0,74
4ª semana	-3,23	-1,69	1,04	0,62
6ª semana	-3,67	-2,20	0,97	0,55
8ª semana	-4,15	-2,35	0,97	0,97

4.2 Modelo cinético

Um dos objetivos do trabalho era o estabelecimento de um modelo que permitisse estimar a durabilidade de um material através da realização do ensaio de água em ebulição. O modelo apresentado permite obter o valor teórico da variação máxima da massa e espessura, que é atingido ao fim de um tempo específico, para amostras expostas a diferentes condições ambientais. Teve por base as seguintes equações:

$$y = y_{\text{máx}} \times (1 - \exp t/\alpha) \quad 6$$

$$y_{\text{máx}} = k \times (1 + dk \times S) \quad 7$$

$$\alpha = L \times (1 + dL \times S) \quad 8$$

Para cada material, condição específica de envelhecimento e propriedade (massa ou espessura) o modelo contém 4 parâmetros (k , dk , L e dL) que podem ser ajustados de forma a que o modelo represente convenientemente a evolução da propriedade com o tempo. O parâmetro k corresponde ao valor da variação máxima da massa ou espessura do material durante o ensaio de água em ebulição, quando sujeito apenas a uma semana do tratamento em questão. O dk corresponde à variação do k , ou seja, pode ser entendido como a variação da quantidade de água absorvida no ensaio de ebulição com o passar das semanas. O L representa a constante de tempo inicial, ou seja, associada ao ensaio realizado em amostras com apenas uma semana de envelhecimento. O dL mede a variação sofrida por esse parâmetro em cada semana. O S corresponde às semanas.

Foram colocadas algumas amostras dos vários HPL numa casa de banho (partilhada por um agregado familiar de 4 pessoas) durante um mês e outras na câmara climática por um período de 24 h de modo a comparar o efeito de ambas e estabelecer uma relação entre elas. Os resultados da tabela 12 apresentam a variação da massa sofrida pelas amostras. Este teste permitiu encontrar um único ponto que relacionasse os dois efeitos, pelo que, futuramente, seria necessário prolongar o tempo de exposição da amostra para acompanhar a sua evolução.

Tabela 12- Comparação dos efeitos da câmara e da situação real nos HPL

<u>Material</u>	<u>Δ massa situação real (%)</u>	<u>Δ massa câmara (%)</u>
HPL preto	0,83	1,33
HPL com padrão madeira	0,66	0,96
HPL compacto	0,08	0,16

Neste trabalho, como a única condição testada foi a da câmara, que pretende simular as condições de uma casa de banho, a utilização do modelo irá ser exemplificada para o HPL

compacto por ser um material muito usado nestes locais, tais como em balneários de ginásios por exemplo. Assim, com base na única relação estabelecida, assume-se que o efeito de 24 h na câmara é semelhante ao alcançado em 2 meses de utilização real, pelo que as 8 semanas de trabalho correspondem a aproximadamente 10 anos. Na tabela 13 encontram-se os valores dos parâmetros obtidos para o HPL compacto nas condições da câmara.

Tabela 13- Valores obtidos para os parâmetros do modelo em relação ao HPL compacto na câmara

<u>Parâmetro</u>	<u>Δ Espessura</u>	<u>Δ Massa</u>
k (%)	1,195	0,709
dk (%/semana)	0,024	0,020
L (min)	-54,028	-88,557
dL (min/semana)	0,027	0,139

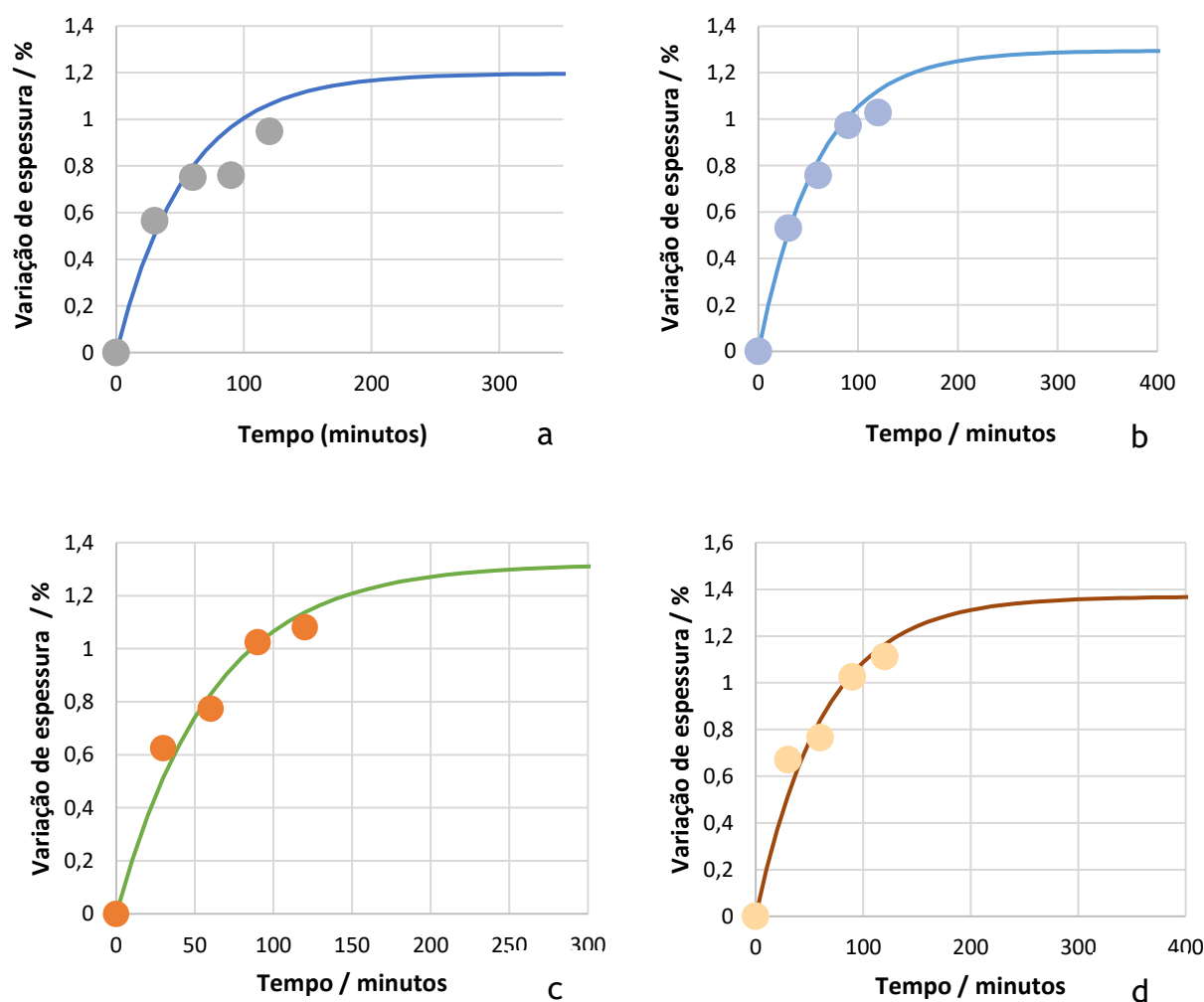


Figura 27- Gráficos da variação da espessura no HPL compacto relativos à 1ª (a), 5ª (b), 6ª(c) e 8ª (d) semana de envelhecimento na câmara

Na figura 27 apresentam-se os gráficos em que se pode observar o ajuste do modelo aos dados experimentais de variação da espessura de amostras de HPL compacto ao longo do ensaio para diferentes semanas.

Analizando o parâmetro k para a espessura na câmara, observa-se que o modelo assume que a variação de espessura máxima para amostras expostas uma semana na câmara no final do ensaio de água em ebulição seria de 1,195 %. Para as 2 h de ensaio, o valor seria de 1,064 % e o obtido na prática foi 0,948 %. Com 5 semanas de envelhecimento na câmara (6 anos situação real) o valor máximo previsto pelo modelo é de 1,291 % (que corresponde a $k + 4 \times dk$) e ao fim de 2 h é 1,123 %. O valor prático foi de 1,028 %. Analisando os gráficos conclui-se que o inchamento em espessura ao longo das semanas é cada vez maior. Na figura 28 apresentam-se gráficos do modelo relativos à variação de massa para algumas semanas.

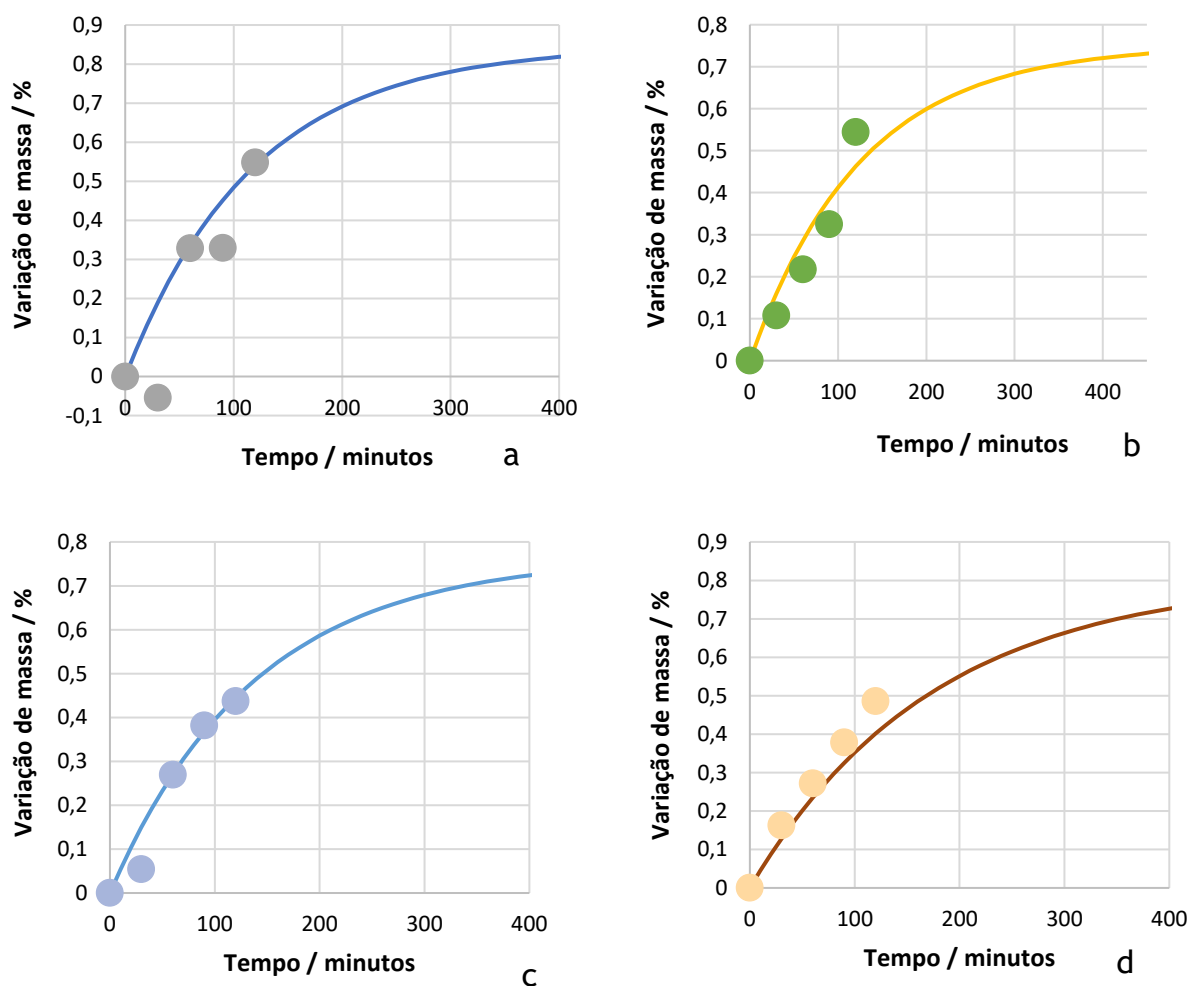


Figura 28- Gráficos da variação da massa no HPL compacto relativos à 1ª (a), 4ª (b), 5ª(c) e 8ª (d) semana de envelhecimento na câmara

Comparando o valor de k para a massa com o da espessura verifica-se que a variação da massa atingida após o ensaio é inferior. Já o dk é positivo por isso, ao longo das semanas, é esperado alcançar uma variação cada vez maior no patamar final da curva. Nos resultados experimentais

não se verifica uma tendência definida até porque só vão até às 2 h de ensaio. Para os gráficos representados, os valores de k e experimentais, ao fim de 2 h de ensaio, para uma semana são de 0,526 e 0,548 %, para 4 semanas de 0,463 e 0,544 %, para 5 são 0,445 e 0,437 % e para as 8 são 0,401 e 0,486 %. Como só existem 4 pontos torna-se mais difícil a criação de um modelo que ajuste bem os resultados. Ainda assim, muitos dos pontos obtidos satisfazem o modelo e é de realçar mais uma vez o bom desempenho do compacto neste ensaio.

Devido à curta duração dos envelhecimentos (8 semanas) e com os dados obtidos não foi possível encontrar nenhuma correlação direta entre o desempenho no ensaio e o tempo de vida útil do material. Provavelmente seria necessário prolongar a duração do estudo de modo a alcançar estados de degradação mais avançados para o compacto. Este modelo permite apenas prever o comportamento que o material irá exibir nos ensaios à medida que vai envelhecendo. Contudo pode ser útil na medida em que também pode ser aplicado a outros materiais e desse modo comparar os inchamentos obtidos e a velocidade de degradação. À partida, um material que sofra grandes variações de massa e espessura (dk) em poucas semanas de envelhecimento, irá ter um desempenho mais fraco nas condições de utilização reais.

4.3 Impacto dos envelhecimentos nas propriedades dos WBP

As propriedades controladas nos WBP resumem-se à variação de massa e espessura ao longo do envelhecimento e ainda à evolução do valor do IB. Na 8ª e última semana do trabalho foi decidido realizar o teste de imersão em água a ferver também nas amostras de aglomerados de acordo com a norma EN 1087. Para tal, das três amostras de cada um dos materiais em cada condição, apenas uma foi utilizada para medição do IB sendo as restantes duas para a água em ebulição.

Relativamente ao aspeto visual, os resultados são coincidentes para os três materiais: o envelhecimento provocado pela câmara e pela estufa são os únicos perceptíveis a olho nu quando comparados com amostras padrão. As alterações provocadas pela estufa são muito notáveis, as da câmara mais ligeiras e as da sala às condições ambiente inexistentes.

4.3.1 Impacto do envelhecimento no PB

Na primeira imagem presente na figura estão colocadas amostras pertencentes à última semana de envelhecimento. A segunda imagem evidencia as espessuras das faces laterais que permitem identificar a amostra da frente como sendo da câmara, devido ao inchamento e a seguinte pertencente à estufa devido à retração, para além da evidente mudança de cor. Entre as amostras padrão e as que estiveram expostas às condições ambiente não é possível detetar nenhuma diferença em termos de cor ou espessura.

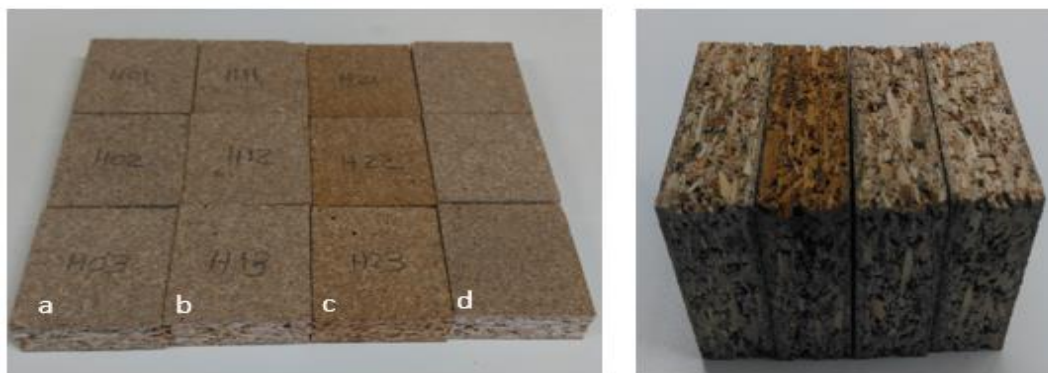


Figura 29- Amostras de PB após 8 semanas de envelhecimento a) sala b) câmara c) estufa d) padrão

O ensaio de imersão em água a ferver não está previsto ser realizado neste material, pois trata-se de PB, provavelmente de tipo P2 para aplicações interiores (incluindo mobiliário) utilizadas em ambiente seco. Ainda assim, por uma questão de curiosidade, foi executado. Na primeira imagem da figura 30 encontram-se apresentadas amostras retiradas após 10 min de ensaio e o que mais se destaca é a espessura alcançada, cerca de duas vezes superior à do padrão, e a cor obtida, resultado da libertação da resina e outros compostos. A outra fotografia retrata o fim do ensaio, atingido após 25 min, e observa-se que as amostras são completamente desfeitas ficando reduzidas a partículas.



Figura 30- Amostras de PB após 10 min (a) e 25 min (b) de ensaio em água em ebulição

4.3.1.1 Impacto na massa e espessura do PB

Nos gráficos das figuras 31 e 32 encontram-se agrupados, respetivamente, os valores médios correspondentes à variação de massa e espessura provocada pelos diferentes envelhecimentos estudados.

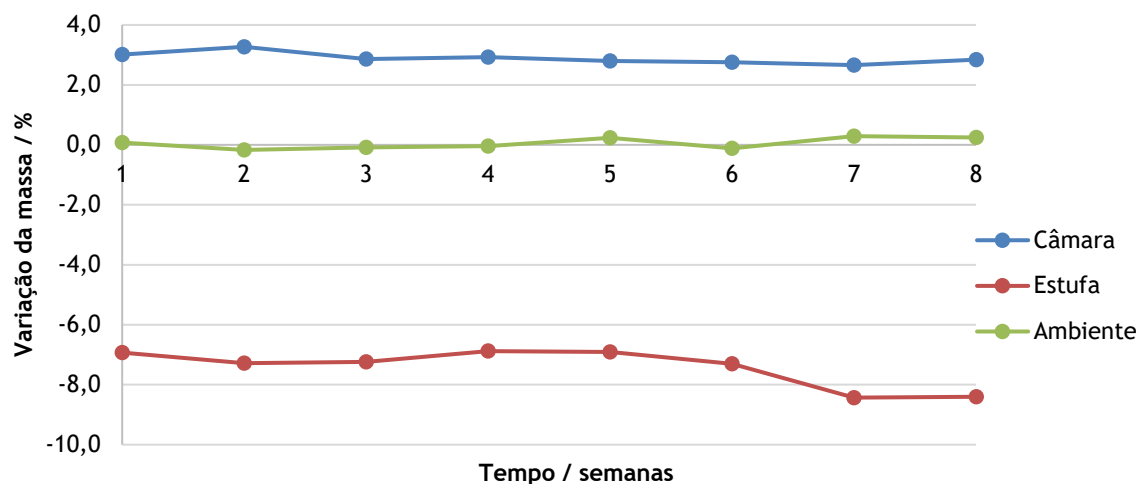


Figura 31- Variação da massa das amostras de PB com o envelhecimento

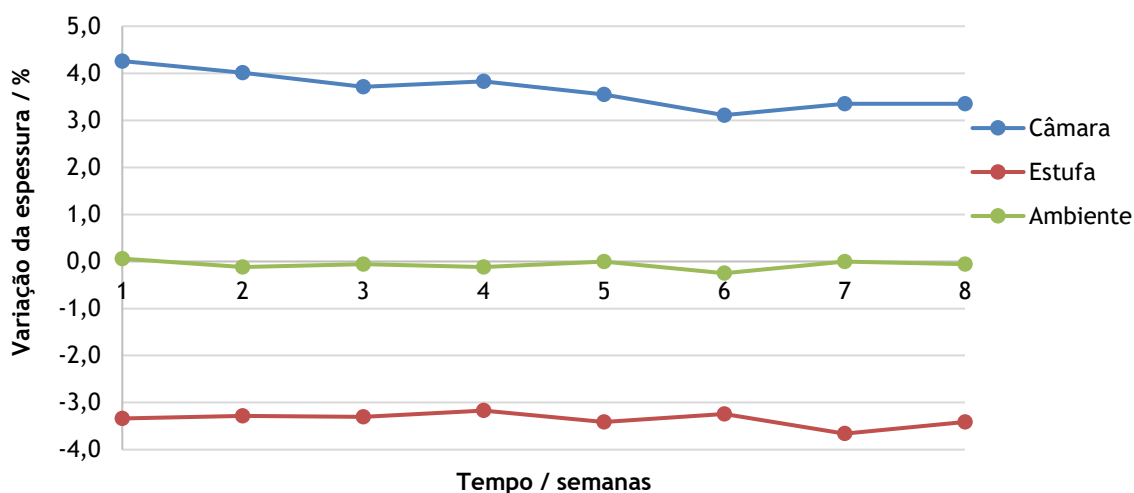


Figura 32- Variação da espessura das amostras de PB com o envelhecimento

As amostras de PB colocadas na sala climatizada mantiveram os valores da massa e espessura praticamente inalterados. Estes resultados eram os esperados uma vez que este material, P1, é fabricado de modo a ser aplicado em espaços interiores com ambiente seco, nos quais as condições de temperatura e humidade relativa recomendadas são coincidentes com os valores usados.

Nas amostras presentes na estufa, a temperatura elevada facilitou desde início a evaporação da água, levando à diminuição da massa e da espessura. Ambas as propriedades pareceram estabilizar logo desde início, no entanto, a partir da 6^a semana verifica-se uma perda superior às verificadas nas semanas anteriores. A água livre, presente nos espaços vazios, é a primeira a sair seguida da que está adsorvida nestes compostos. Esta segunda é a responsável pela retração das partículas [24].

Nas amostras da câmara climática, como era de esperar, verificou-se um aumento das duas variáveis em relação ao valor padrão devido ao elevado teor de humidade presente. A variação da massa ao longo das semanas é praticamente constante, já a da espessura vai sofrendo uma ligeira diminuição com o tempo, talvez devido a um rearranjo das partículas.

4.3.1.2 Impacto na resistência interna no PB

No gráfico estão resumidos os resultados dos IB nas três condições. O valor recomendado na norma EN 312 para este tipo de material, tipo P1, é 0,24 N/mm², no entanto o padrão (0,16 N/mm²) e os restantes pontos encontram-se abaixo.

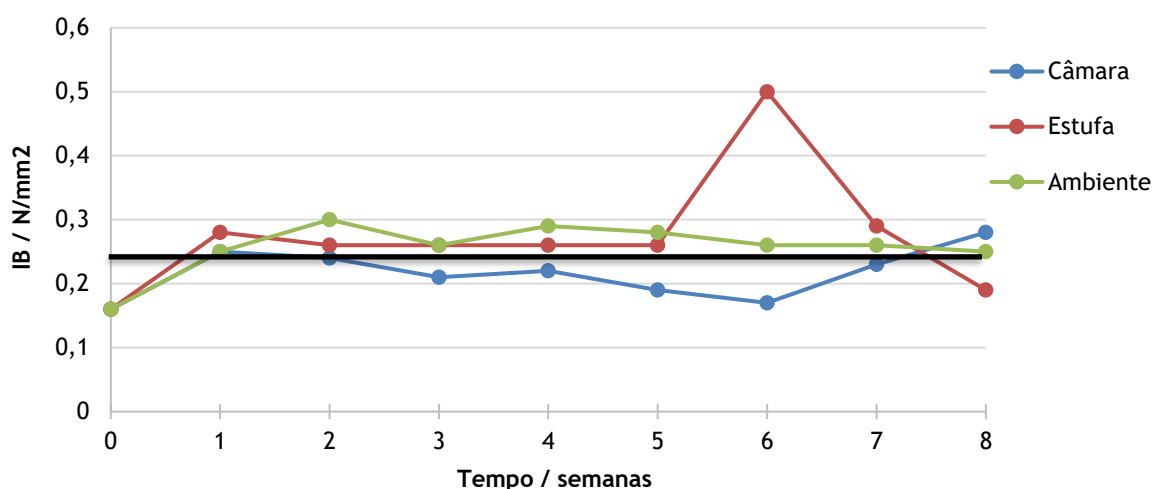


Figura 33- Evolução dos resultados do ensaio de IB no PB com o envelhecimento

Em relação às amostras expostas às condições ambiente, a curta duração da experiência e, consequentemente, o pouco envelhecimento sofrido não deveria provocar variações significativas nos valores desta propriedade. No gráfico são visíveis algumas oscilações em torno do valor padrão, no entanto são aceitáveis uma vez que o interior deste material é relativamente heterogéneo, as partículas apresentam origens e formas distintas e a sua compactação não é tão bem conseguida quando comparada à das fibras do MDF. Para além disso, uma vez que este produto tem uma elevada percentagem de madeira reciclada que pode conter outros materiais ou plásticos, poderá interferir nos valores obtidos no teste.

As amostras colocadas na câmara climática, ao longo das semanas foram apresentando valores de IB cada vez menores e todos inferiores ao do padrão (0,16 N/mm²). O último ponto é a única exceção, no entanto, por ter sido resultado de um único ensaio pode ser desvalorizado. A diminuição do IB pode ser explicada através do inchamento das partículas, o que torna a sua separação mais fácil. Para além disso, a temperatura e a elevada humidade relativa presentes na câmara podem ter induzido reações de hidrólise na resina UF. A quebra de ligações entre a

ureia e o formaldeído contribui para a diminuição da resistência interna do material, dando origem a valores de i_b inferiores aos obtidos nas amostras sujeitas aos outros envelhecimentos.

A temperatura presente na estufa, 86 °C, não influenciou muito o desempenho das amostras no ensaio de i_b uma vez que as maiores alterações químicas ocorrem a temperaturas superiores a 150 °C [24]. Para além disso, esta propriedade é mais sensível ao teor de humidade do que à temperatura.

4.3.2 Impacto do envelhecimento no MDF

Na figura 34, na primeira imagem estão expostas amostras retiradas na última semana de trabalho. A cor mais escura, resultante do envelhecimento na estufa, é a que mais se destaca, no entanto também é possível identificar a olho nu as amostras saídas da câmara que apresentam uma cor mais amarelada. O envelhecimento natural, às condições ambiente, não provoca nenhum efeito que permita a sua distinção comparativamente às amostras padrão. Na segunda imagem pretende-se realçar a variação da espessura consequente de cada tratamento e as amostras estão organizadas segundo a ordem anterior.

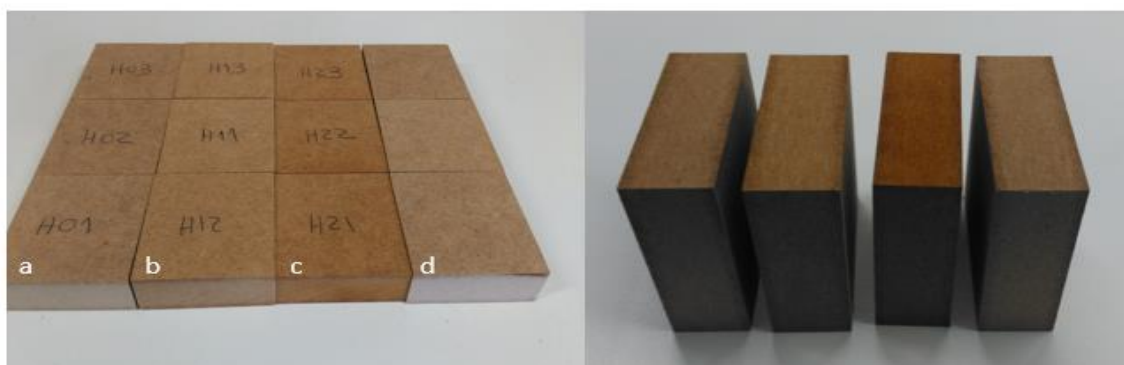


Figura 34- Amostras de MDF após 8 semanas de envelhecimento a) sala b) câmara c) estufa d) padrão

À semelhança do PB, também não é habitual a execução do ensaio de água fervente no MDF como componente não estrutural para utilização interior em ambiente seco. Na figura 35 a imagem a) corresponde aos 30 min de ensaio e pretende-se destacar a cor final da água e o aspeto amolecido das amostras. Ao longo do ensaio a água teve de ser reposta várias vezes devido à elevada velocidade de absorção pelo material. A imagem b) corresponde aos 40 min de ensaio, altura em que foi dado por terminado devido ao excessivo tamanho das amostras e à falta de espaço. As amostras permaneceram uns 30 min a secar ao ar até ganharem alguma consistência. Na imagem c) evidencia-se o aspeto das fibras e as várias camadas constituintes do material. Após o ensaio, as únicas amostras cujos códigos eram identificáveis foram as da estufa, cujas espessuras obtidas foram as menores de todas. A única conclusão possível de ser

retirada é que o tratamento realizado na estufa, devido à temperatura, dificultou a entrada de água durante o ensaio, minimizando o inchamento em espessura.



Figura 35- Amostras de MDF ao longo do ensaio de água em ebulição e no final

4.3.2.1 Impacto na massa e espessura do MDF

Tal como nos casos resultados obtidos anteriormente, o efeito do envelhecimento nas condições ambiente pouco se reflete na variação da massa e espessura das amostras de MDF que mantêm as suas dimensões estáveis.

As consequências das condições na câmara resultam no aumento destas duas propriedades em relação ao valor padrão. Tanto a variação da massa como a da espessura são constantes no tempo, o que permite assumir que as amostras efetuaram as trocas de água necessárias com o meio envolvente e atingiram o equilíbrio nas novas condições logo na primeira semana.

A temperatura da estufa promoveu a libertação de água das amostras o que provocou variações negativas da massa e da temperatura. Na produção dos diversos painéis de aglomerados o processo de cura das resinas nunca é prolongado até ao fim o que leva à permanência de algum formaldeído que não reagiu no interior do material. É possível que a cura tenha continuado e, uma vez que é um processo que liberta água, também tenha contribuído para esta variação negativa. Analisando até à 6ª semana dava a entender que as amostras estariam estabilizadas desde o início, uma vez que a quantidade de água perdida era idêntica. No entanto, nas duas últimas semanas verifica-se uma variação consideravelmente superior, especialmente na variação da massa. Seria necessário prolongar o envelhecimento das amostras de modo a verificar se a perda iria continuar, até quando e descobrir se será provocada apenas pela perda de água ou de outro componente.

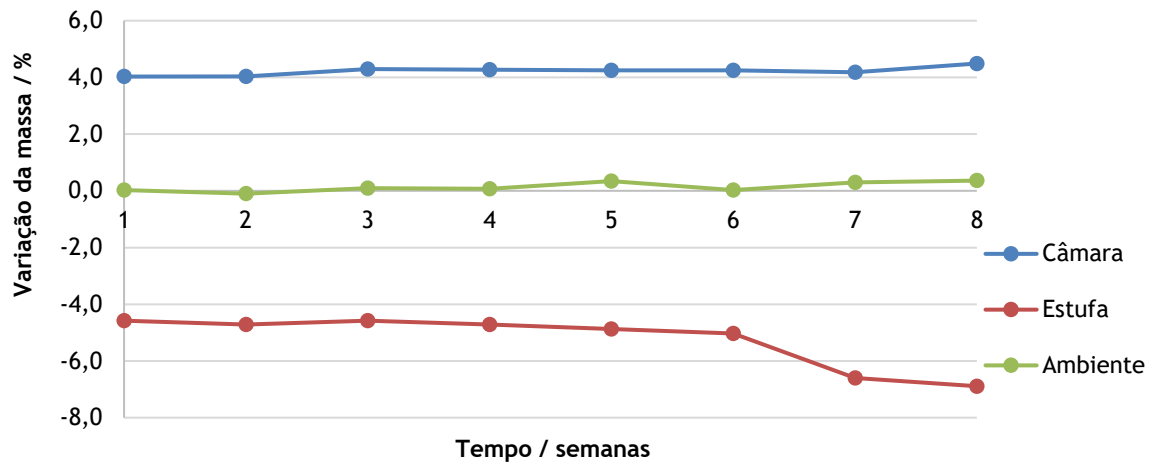


Figura 36- Variação da massa das amostras de MDF com o envelhecimento

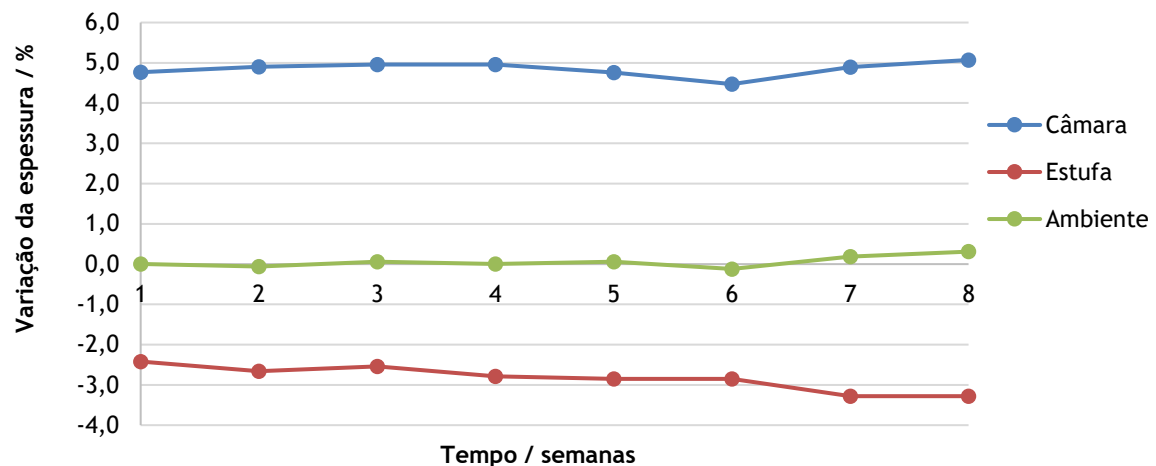


Figura 37- Variação da espessura das amostras de MDF com o envelhecimento

4.3.2.2 Impacto na resistência interna do MDF

O gráfico mostra a evolução do IB ao longo dos diferentes envelhecimentos. Logo no início, é muito provável que tenha havido algum problema com as amostras padrão, como falta de estabilidade, uma vez que obtiveram um IB de $0,47 \text{ N/mm}^2$, ligeiramente abaixo do valor mínimo especificado na EN 622-5 para esta classe de MDF, $0,55 \text{ N/mm}^2$.

Contrariamente ao PB, nestas amostras o efeito da temperatura na estufa contribuiu para o aumento da coesão interna, levando a valores de IB cada vez melhores e inclusive superiores ao mínimo exigido na norma (na 7ª semana o valor atingido supera em 40 %). Uma hipótese para a evolução do IB poderá estar relacionada com a continuação da cura de resina ureia-formaldeído. Todas as amostras acondicionadas na câmara obtiveram valores de IB inferiores

aos dos padrões, o que permite concluir que a água diminui a resistência interna nestes materiais.

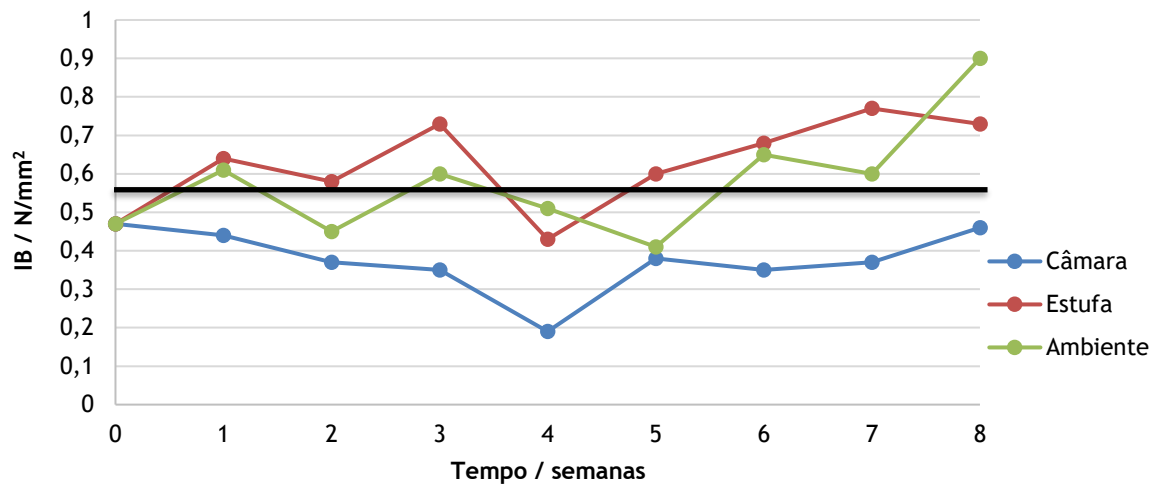


Figura 38- Evolução dos resultados do ensaio de IB no MDF com o envelhecimento

4.3.3 Impacto do envelhecimento no MDF.H

Tal como nos exemplos anteriores, as amostras representadas na figura 39 foram retiradas na 8ª semana de envelhecimento. É possível distinguir visualmente as amostras saídas da estufa e da câmara pelo seu aspeto mais amarelado.

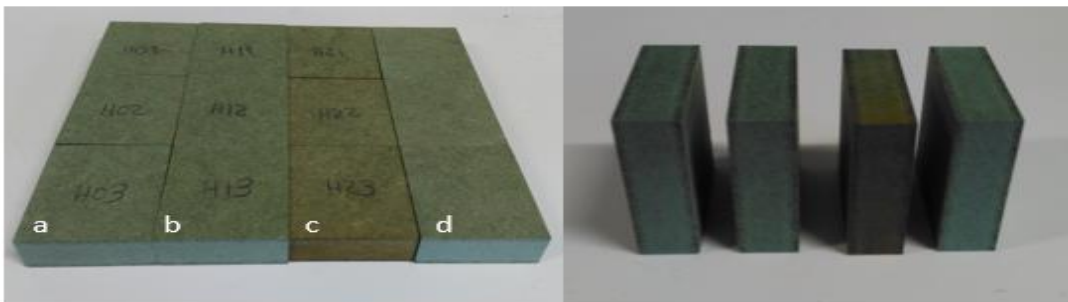


Figura 39- Amostras de MDF.H após 2 h de ensaio a) sala b) câmara c) estufa d) padrão

O MDF.H deve ser capaz de resistir ao ensaio de imersão em água fervente, executado durante 2 h acordo com a norma EN 1087-1. No entanto, na norma EN 622-5, onde são apresentados os critérios de desempenho para os vários aglomerados de fibras de madeira obtidos por via seca, no caso do MDF.H não é referido o valor aceitável para este ensaio, apenas é especificado o valor do IB após a sua realização, 0,12 N/mm², sendo 0,75 N/mm² nas condições normais.

Na figura 40, no primeiro plano, estão representadas as amostras retiradas ao fim de 1 h enquanto as restantes permaneceram as 2 h. Neste intervalo de tempo não se observaram modificações significativas no aspeto nem na espessura.

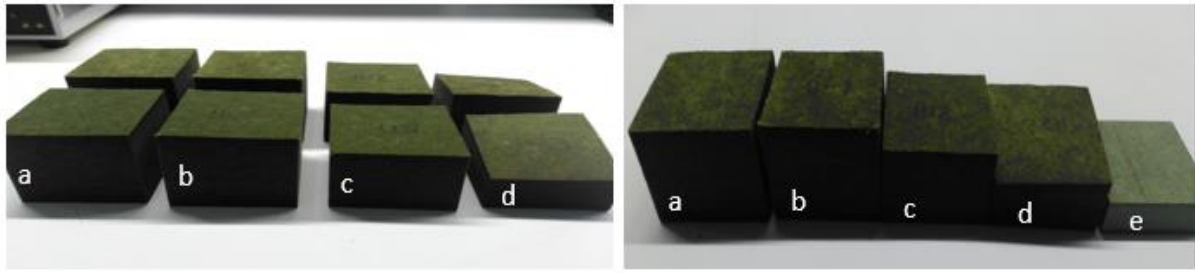


Figura 40- Amostras de MDF.H após o ensaio a) padrão b) sala c) câmara d) estufa e) padrão não sujeito ao ensaio

As amostras padrão e as das condições ambiente obtiveram aproximadamente o mesmo inchamento em espessura e o maior em relação aos outros tratamentos. Seguiu-se a amostra da câmara e por fim a da estufa. Esta última apresenta um aspeto pouco uniforme e inchamentos muito diferentes, possivelmente como resultado da orientação dentro da estufa. Nota-se que algumas faces laterais, as que talvez estivessem orientadas para a saída de ar quente, não sofreram inchamentos excessivos.

4.3.3.1 Impacto na massa e espessura do MDF.H

As amostras de MDF.H, perante a exposição às três condições implementadas, apresentaram um comportamento semelhante às de MDF.

A massa e a espessura nas condições ambiente mantiveram-se inalteráveis e o equilíbrio na câmara foi atingido logo de início pois a variação em relação ao padrão é igual nas 8 semanas. Pelo contrário, na estufa as amostras necessitariam de mais semanas para estabilizarem.

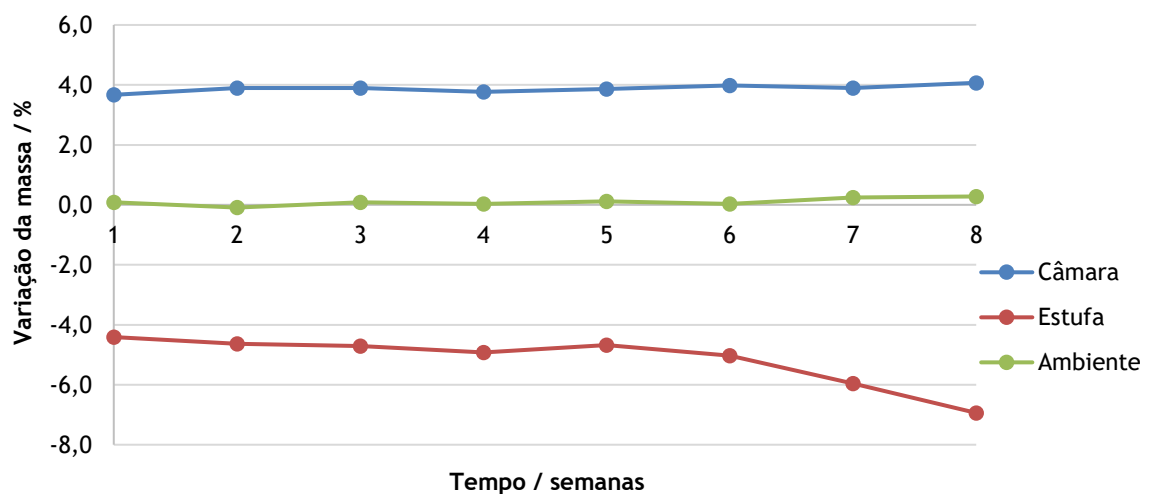


Figura 41- Variação da massa das amostras de MDF.H com o envelhecimento

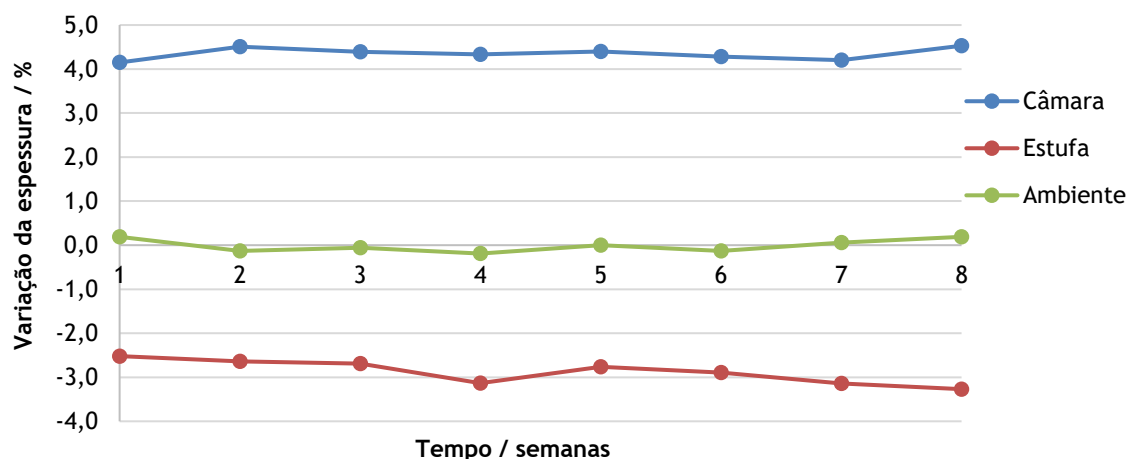


Figura 42- Variação da espessura das amostras de MDF.H com o envelhecimento

4.3.3.2 Impacto na resistência interna do MDF.H

O valor atingido nas amostras padrão foi de $0,93 \text{ N/mm}^2$, bem acima do estabelecido pela norma EN 622-5, $0,75 \text{ N/mm}^2$ que se encontra assinalado no gráfico. Mesmo após os vários tratamentos, praticamente todos os pontos se encontram acima deste valor. Na 6ª e 7ª semana verifica-se uma brusca diminuição dos valores comum aos três casos.

As amostras da câmara foram diminuindo o seu desempenho com o decorrer das semanas provavelmente devido à quantidade excessiva de água que foi absorvida e que resultou num afastamento das fibras, facilitando a rutura. Ainda assim, apesar do envelhecimento, os valores de i_b atingidos pelas amostras encontram-se acima do valor recomendado pela norma EN 622-5, realçando a grande resistência deste material à água. Esta propriedade é conferida não só pela inclusão de aditivos, por exemplo a parafina, como também pela resina utilizada, MUF, que na presença de água tem um comportamento bastante superior ao da resina UF (aplicada no MDF e no PB testados neste trabalho).

O efeito da temperatura nas amostras da estufa não provocou melhorias relativamente às que estiveram nas condições ambiente. Ambas apresentaram até resultados bastante idênticos. Ainda assim, é provável que as amostras padrão não estivessem completamente estabilizadas, uma vez que não se justifica que apenas numa semana, e nas condições ambiente, o valor do i_b aumente de $0,93$ para $1,21 \text{ N/mm}^2$ e se mantenha constante nas seguintes.

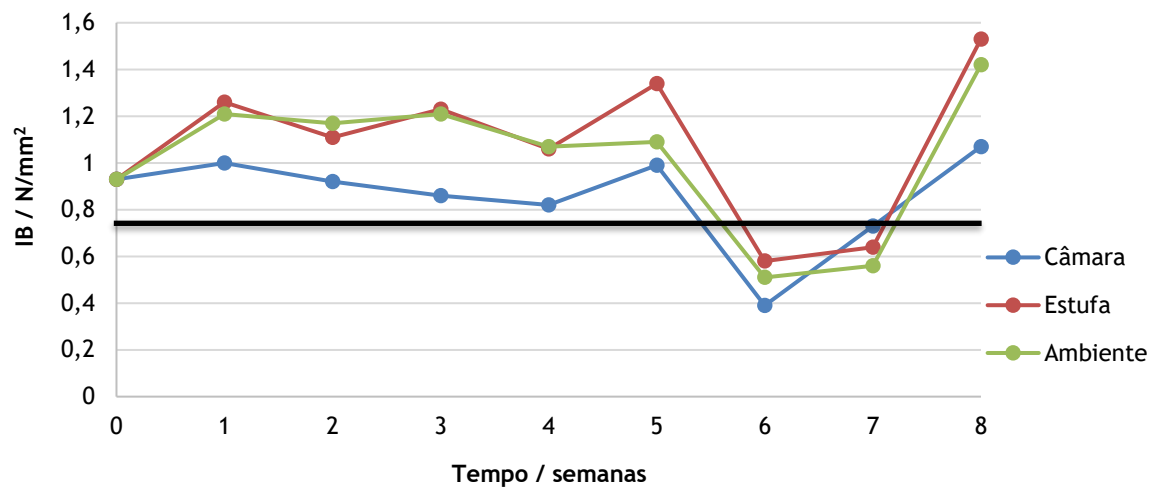


Figura 43- Evolução dos resultados do ensaio de IB no MDF.H com o envelhecimento

5 Conclusões

Todos os materiais analisados tiveram uma resposta diferente na variação da massa e espessura consequentes do acondicionamento nos três envelhecimentos: os da sala climatizada mantiveram-se constantes, os da estufa tiveram variações negativas e os da câmara positivas.

Considerando o desempenho dos HPL no ensaio de água em ebulição, pode-se concluir que o efeito da temperatura da estufa deu origem a resultados sucessivamente melhores ao longo das semanas de envelhecimento. O efeito conjugado da temperatura com a humidade relativa na câmara também provocou ligeiras melhorias nos resultados do ensaio, no entanto bastante inferiores aos da estufa. Na sala climatizada, as 8 semanas de envelhecimento não foram suficientes para modificar o comportamento das amostras no ensaio.

Dos três tipos de HPL, apenas o do padrão madeira sofreu alterações significativas no seu brilho com o decorrer dos envelhecimentos. As condições da estufa foram as que fizeram variar mais esta propriedade, cerca de 60 % entre a 1ª e a 8ª semana.

Do estudo da cor, em relação ao HPL preto, nenhum envelhecimento provocou alterações visualmente identificáveis. Em relação ao HPL com padrão madeira e ao compacto, os valores de ΔE obtidos nas últimas semanas encontram-se próximos do limite a partir do qual começa a ser possível efetuar distinções visualmente, $\Delta E = 6$. Ainda assim, são considerados resultados aceitáveis.

Relativamente ao desempenho dos derivados de madeira, WBP, avaliado através do ensaio de resistência interna, IB, pode-se concluir que as condições presentes na câmara climática prejudicaram os resultados de todas as amostras, MDF, PB e MDF.H. O efeito da temperatura nas amostras da estufa, a 86 °C, não teve influência no seu comportamento, uma vez que os resultados apresentados nos ensaios, ao longo das semanas de envelhecimento, foram idênticos aos obtidos nas amostras expostas às condições ambiente.

O modelo desenvolvido, aplicado ao HPL compacto, permite prever o seu comportamento no ensaio de água em ebulição com o avanço do envelhecimento. Para além disso, também é possível comparar a velocidade de degradação de vários materiais no ensaio ao longo do envelhecimento. Com os dados obtidos, chegou-se à conclusão que o efeito provocado por 8 semanas na câmara seria equivalente ao provocado em 10 anos de utilização real numa casa de banho.

6 Avaliação do trabalho realizado

6.1 Objetivos realizados

Um dos objetivos era o estudo da influência de três envelhecimentos distintos em laminados, compactos e derivados de madeira, avaliado pelo desempenho dos materiais em ensaios específicos. Foi possível acompanhar a evolução provocada ao longo de todo o trabalho prático e retirar algumas conclusões.

O outro objetivo era mais específico e direcionado para os compactos e consistia no estabelecimento de uma correlação direta entre o ensaio e a o tempo de vida útil numa casa de banho. Este ponto ainda foi possível realizar devido à curta duração do envelhecimento, pois é necessário conhecer o comportamento do material para estados de degradação mais avançados.

6.2 Outros trabalhos realizados

Foram envelhecidas e testadas amostras de um HPL compacto proveniente de outro produtor (anexo 7) e comparadas com os compactos da SIR. Foi ainda realizado um ensaio de água em ebulição, em amostras padrão dos HPL considerados, que se prolongou durante 10 h. Foram retiradas e analisadas amostras a cada 2 h de ensaio (anexo 8).

6.3 Limitações e trabalho futuro

A limitação que considerei mais relevante foi o facto de se terem estudado simultaneamente vários materiais (6 espécies diferentes que deram origem a um grande número de provetes) o que obrigou a reduzir o número de réplicas de cada amostra para 3 devido ao espaço disponível na estufa e na câmara climática.

Neste projeto os laminados e os aglomerados foram analisados independentemente. Uma vez que, na prática, os WBP são muitas vezes revestidos por HPL, seria interessante comparar o desempenho deste conjunto com um compacto de igual espessura.

Para validar o modelo seria necessário prolongar a duração do envelhecimento das amostras e continuar a realizar o ensaio de imersão em água em ebulição, de modo a permitir a obtenção de mais pontos e compará-los com os valores teóricos previstos pelo modelo.

7 Referências

- [1] EN 438-2 - High-pressure decorative laminates (HPL) - Sheets based on thermosetting resins (usually called Laminates) - Part 2: Determination of properties, 2014
- [2] www.icdli.com [consultado em 26 de fevereiro de 2018]
- [3] World Health Organization. Air quality guidelines for Europe, Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, p.87, 2000
- [4] **Pentti O. Kettunen**, Wood Structure and Properties. Materials science foundations, 29-30. Cap. 1, 2006
- [5] **Heiko Thoemen, Mark Irle and Milan Sernek**, Wood-Based Panels, An introduction for Specialists, cap. 1, 2010
- [6] Particleboard, [consultado em 2 de março de 2018] <http://europanel.org/products--producers/products/particleboard>
- [7] **Mizi Fan, Martin Ohlmeyer, Mark Irle, Wilfred Haelvoet, Eleftheria Athanassiadou and Ian Rochester**, Performance in Use and New Products of Wood Based Composites, 2009
- [8] NP EN 312 - Aglomerado de partículas de madeira: Especificações, 2017
- [9] EN 316 - Wood fiberboards: Definition, classification and symbols
- [10] EN 622-5- Fiberboards - Specifications - Part 5: Requirements for dry process boards (MDF)
- [11] **Robert H. and Gillespie**, Accelerated aging of Wood-Based Panel Products: A Review and Commentary
- [12] **Yoichi Kojima and Shigehiko Suzuki**, Evaluating the durability of wood-based panels using internal bond strength results from accelerated aging treatments, Journal of Wood Science, vol. 57, 2011
- [13] **J. Dobbin McNatt and Carol L. Link**, analysis of ASTM D 1037 accelerated-aging test, Forest Products Journal, 1989
- [14] EN 321 - Wood-Based Panels: Determination of moisture resistance under cyclic test condition
- [15] EN 317 - Particleboards and Fiberboards: Determination of swelling in thickness after immersion in water
- [16] EN 310 - Wood-Based panels: Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength

- [17] EN 1087-1 - Particleboards: Determination of moisture resistance- boil test
- [18] EN 319 - Particleboards and Fiberboards: Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board
- [19] **José Luís Nogueira**, Noções básicas de tintas e vernizes volume III
- [20] EN 309 - Particleboards. Definition and classification
- [21] EN 325 - Wood-based panels: Determination of dimensions of test pieces
- [22] EN ISO 4892-2 - Plastics- Methods of exposure to laboratory light sources - Xenon Arc Lamps
- [23] EN 20105-A02 - Textiles - Tests for colour fastness - Grey scale for assessing change in colour
- [24] **Moreschi, João Carlos**, Relação água madeira e sua secagem. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, 2014
- [25] Medium Density Fibreboard [consultado em 2 de março de 2018]
<http://europanel.org/products--producers/products/mdf>
- [26] Delta E [consultado em 28 de junho de 2018]
https://www.viewsonic.com/uk/products/lcd/pdf/ti_delta_E.pdf
- [27] ISO 2813 - Paints and Varnishes - Determination of gloss value at 20 °, 60 ° e 85 °

Anexo 1 - Processo de Produção do MDF

A primeira etapa do processo é o aprovisionamento da matéria prima. A SIR preocupa-se com a gestão eficiente dos resíduos florestais adquirindo matérias primas provenientes de florestas geridas com práticas sustentáveis ou utilizando madeira reciclada.

O toro atravessa um **descascador** onde é retirada a casca, que corresponde aproximadamente a 10 % do peso do toro, e pode ser queimada de modo a obter energia. Segue para uma **estilhadora** onde é transformado em fragmentos com dimensões laterais típicas de 25 x 25 mm e espessuras entre os 2 e os 5 mm. Estes fragmentos são encaminhados idealmente para **silos de armazenamento**, podendo também ser armazenados no exterior onde estão mais sujeitos a degradação, contaminação entre outros.

O próximo passo é a **classificação** dos fragmentos de madeira de acordo com as suas dimensões, por exemplo as maiores regressam de novo à estilhadora. Depois efetua-se a **lavagem** da madeira de modo a garantir a ausência de impurezas que poderiam influenciar a qualidade dos painéis e contribuir para o desgaste de equipamentos.

Os fragmentos são sujeitos a um pré-aquecimento a temperaturas entre os 40 °C e os 60 °C à pressão atmosférica com o objetivo de os amolecer. Estes passam por um parafuso cónico onde são comprimidos, libertam água e reduzem as suas dimensões. O **cozimento** das partículas é realizado num digestor no qual se utiliza vapor saturado entre 6 e 10 bar que origina temperaturas entre os 175 °C e 195 °C. A duração desta etapa varia entre os 3 e os 7 minutos de acordo com o tamanho do digestor, a espécie de madeira e a qualidade da fibra pretendida.

O **desfibrador** contém dois discos e as aparas de madeira são colocadas numa abertura (1 mm) entre os dois. O atrito gerado permite a separação das fibras que posteriormente saem devido à força centrífuga dos discos.

Segue-se a **mistura das fibras com a resina** e com outros aditivos, processo que normalmente ocorre através da injeção destes compostos na *blow-line*, local onde as fibras se encontram nesta etapa. A quantidade de adesivo utilizado nestes painéis varia entre os 8 e os 15 % (sólidos da resina /madeira seca). Após isto é necessário remover o excesso de humidade das fibras e então são enviadas para uns **secadores** que têm no final ciclones que separam as fibras secas do vapor. Os secadores podem ser de uma única etapa ou duas. A temperatura de funcionamento média é 150 C° e por isso é provável existir alguma cura antecipada nesta etapa.

A **formação do colchão** é o próximo passo. As fibras são distribuídas uniformemente ao longo dos formadores de esteira recorrendo à utilização de um sistema de filtros. O controlo da densidade média das fibras utilizadas também é um importante fator. Segue-se uma **pré-**

prensagem que pretende retirar o ar armazenado entre as fibras, reduzindo a espessura e consequentemente aumentando a densidade do painel.

Por último ocorre a **prensagem** que utiliza uma combinação de altas temperaturas, entre os 180 e 210 °C, com pressões normalmente entre 0,5 e 5 MPa. Após estarem formados os painéis de MDF estes têm de arrefecer ao ar ambiente antes de serem armazenados de modo a evitar a formação de tensões internas e o risco de hidrólise que torna a face do painel amarelada. [5]

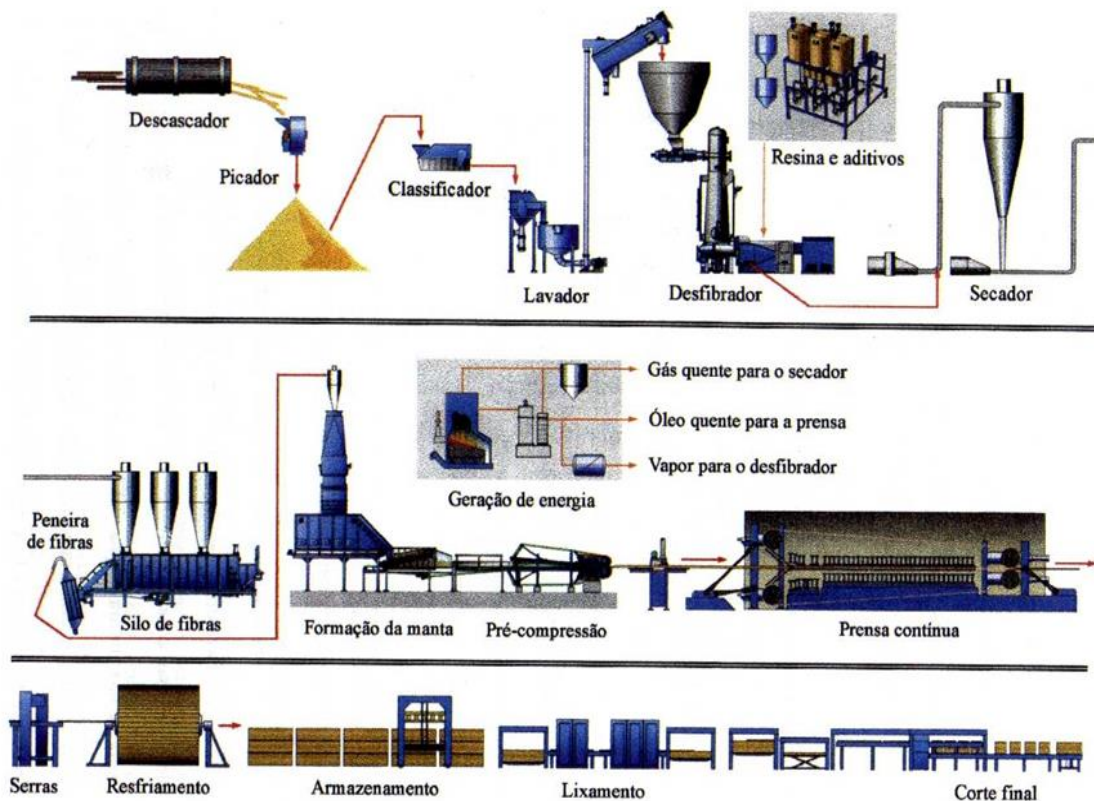


Figura 44- Esquema com as etapas da produção de MDF

Anexo 2 - Processo de Produção do PB

Os processos de obtenção das aparas de madeira até ao seu armazenamento nos silos são iguais aos descritos acima no MDF. Dos silos as partículas são transferidas para uns **secadores** de modo a reduzir o teor de humidade até um valor entre os 2% e os 8 % dependendo do adesivo a aplicar. Existem muitos modelos de secadores, contudo os mais comuns são os de uma passagem e o de três. A gama de temperaturas típicas encontra-se entre os 250 e os 850 °C e a velocidade do ar superior a 8 m/s.

Para a **classificação** das partículas podem ser usadas umas peneiras mecânicas ou uns classificadores de ar através de um caudal de ar que arrasta as partículas mais pequenas enquanto as mais pesadas são recuperadas no fundo. Neste passo são também removidas impurezas ou partículas metálicas.

Segue-se a mistura do **adesivo** e respetivos **aditivos** às partículas. A formulação direcionada para as camadas interiores é diferente da destinada às superficiais devido às diferentes condições de cura na prensa. As partículas mais pequenas absorvem cinco vezes mais resina que as maiores. A próxima etapa é a estação onde ocorre a **formação das placas**. Aí existem umas máquinas que permitem separar ainda mais as partículas, de acordo com o seu tamanho ou peso. O que se pretende é que as mais finas façam parte das faces da placa (melhor dureza e acabamento) e as maiores fiquem no núcleo para melhorar a resistência ao impacto.

A prensa é o equipamento mais dispendioso da indústria de painéis, responsável por cerca de 15 % do investimento total. A **pré-prensagem** a frio é uma etapa indispensável e presente em todas as plantas de produção de painéis. Permite eliminar o ar existente entre as partículas reduzindo a espessura da placa até 50 %. Este passo aumenta muito a capacidade de produção da fábrica uma vez que torna o processo posterior de prensagem muito mais rápido. Após a pré-prensagem a frio ocorre um **pré-aquecimento** que pode usar energia eletromagnética, o calor de condensação de correntes de vapor saturado ou ainda ar quente seco.

A prensa pode funcionar em **batch** ou em **contínuo**, no entanto, a maior parte dos produtores optam pela última opção pelas vantagens que oferece. Não requer tanto equipamento, produz painéis de vários tamanhos e espessuras e são mais vantajosas em relação às outras especialmente na produção de painéis finos (que o tempo de prensagem é inferior) pois permanecem sempre fechadas, enquanto na de batch é necessário abrir, colocar o colchão, prensar e abrir de novo para o retirar. Todas estas etapas demoram tempo que quando contabilizado no fim se traduz numa diferença significativa na produção. O tempo necessário de prensagem é determinado pela cura e aquecimento das camadas do núcleo.

As bordas dos painéis são aparadas de modo a evitar defeitos. Depois é medida a sua espessura e massa e seguem diretos para um **arrefecedor**, pois se forem empacotados após a prensagem ocorre alguma degradação da resina, com exceção das placas contendo PF que podem ser logo armazenadas quentes.

Por fim segue-se o **corte** dos painéis, o seu **armazenamento** e futura **distribuição**. [5]

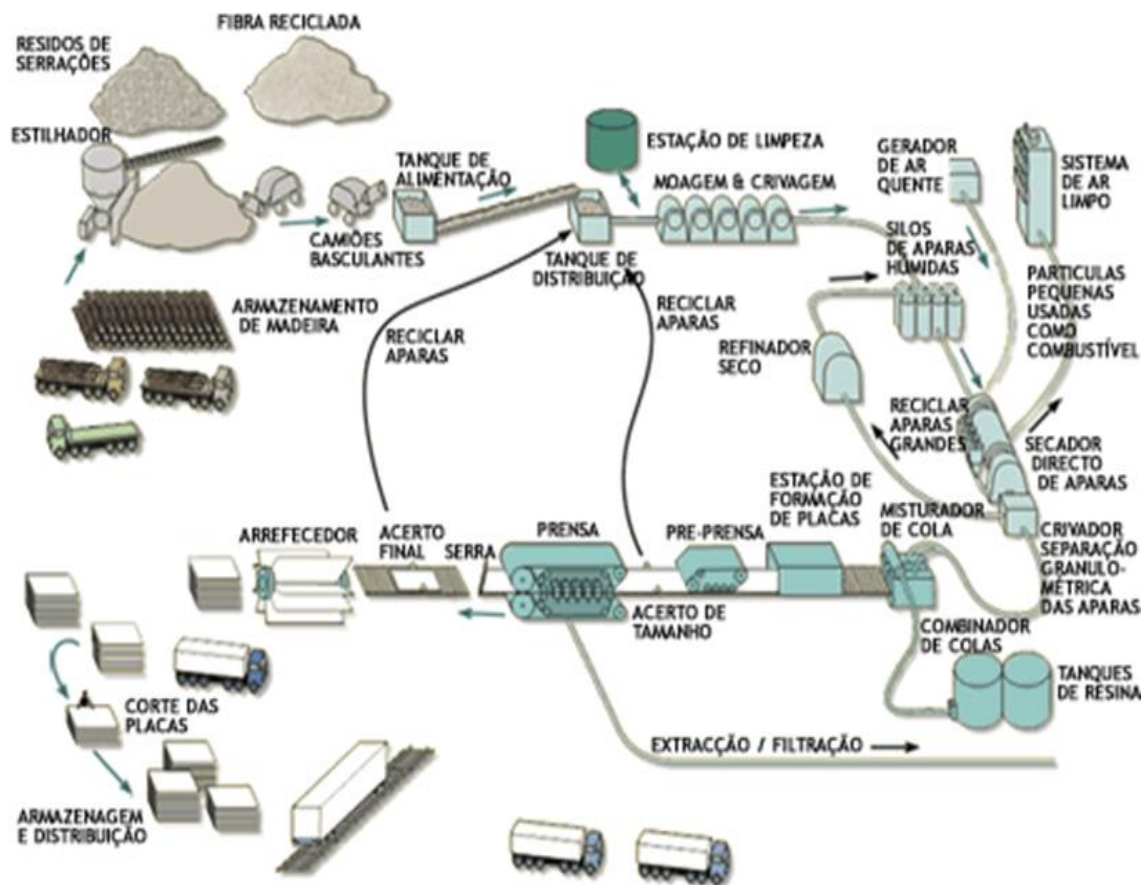


Figura 45- Etapas de produção do PB (Portal da Madeira)

Anexo 3 - Resinas

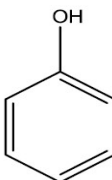
Ureia	Melamina	Fenol	Formaldeído
$\begin{array}{c} \text{H}-\text{N}-\text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H}-\text{N}-\text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{HOH}_2\text{CHN}-\text{C}=\text{N}-\text{C}=\text{NH}_2 \\ \quad \quad \quad \\ \text{N} \quad \quad \quad \text{N} \\ \\ \text{C}=\text{N}-\text{H} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$		$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H} \end{array}$

Figura 46- Principais componentes das resinas

O tempo de cura da resina na produção industrial de painéis de derivados de madeira não deve exceder os 5 minutos. A UF é a resina mais utilizada seguida da MF e por fim da PF.

A resina de ureia formaldeído é a mais utilizada globalmente na indústria de produção de painéis de aglomerados de madeira devido ao baixo custo e tempo de cura, à sua solubilidade em água, à ausência de cor após a cura e ao facto de existir muita informação e estudos relativos ao uso desta resina. Comparativamente às outras o maior inconveniente é a baixa resistência à humidade, o que restringe o seu uso a aplicações interiores. [5]

A resina melamina formaldeído é muito resistente à água e à humidade, contudo o seu custo é o triplo em relação ao da UF. Ainda assim pode ser adicionada uma certa quantidade de melamina à resina UF, para melhorar a resistência à humidade, dando origem à MUF.

A resina fenol formaldeído, ao contrário das outras, é a única que não causa problemas devido à libertação do formaldeído. Tem como desvantagens o custo ser duas vezes superior ao da UF, apresentar uma cor escura, o tempo de cura ser bastante mais longo e as temperaturas necessárias mais elevadas.

Tabela 14- Tipo e quantidade de resina utilizadas em painéis de PB e MDF

Material	Resina	Teor de resina	Aplicação
PB	UF	4 % - 10 %	Faces 8 % - 14% Core 4% - 8 %
	PF	6 % - 8 %	Faces 8 % - 12% Core 6 % - 9 %
MDF	UF	6 % - 10 %	Em fibras secas
	MUF	8 % - 12 %	Em HDF para pavimento

O teor de resina vem em massa de sólidos por massa de madeira seca.

A cera é um aditivo presente na produção de todas as espécies de painéis e pode ser aplicada sob a forma de emulsão ou parafina líquida. A quantidade utilizada situa-se entre os 0,3 % e os 2 %. O propósito da sua utilização é o controlo da variação dimensional dos painéis, dificultando a entrada de água.

Anexo 4 - Resultados HPL preto

Nas figuras 47 e 48 apresentam-se os gráficos com as variações de massa e espessura consequentes da exposição às condições de envelhecimento.

Nas figuras 49, 50 e 51 apresentam-se as variações de massa sofridas pelas amostras de HPL preto durante as 2 horas do ensaio de água em ebulição, para cada um dos envelhecimentos.

Nas figuras 52, 53 e 54 apresentam-se as variações de espessura sofridas pelas amostras de HPL preto durante as 2 horas do ensaio de água em ebulição, para cada um dos envelhecimentos.

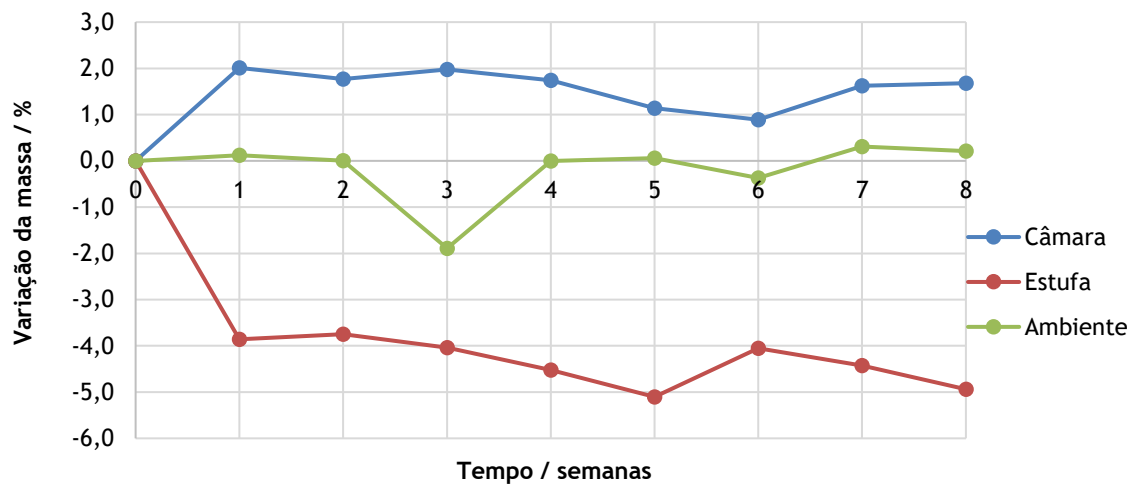


Figura 47- Variação da massa das amostras de HPL preto com o tempo

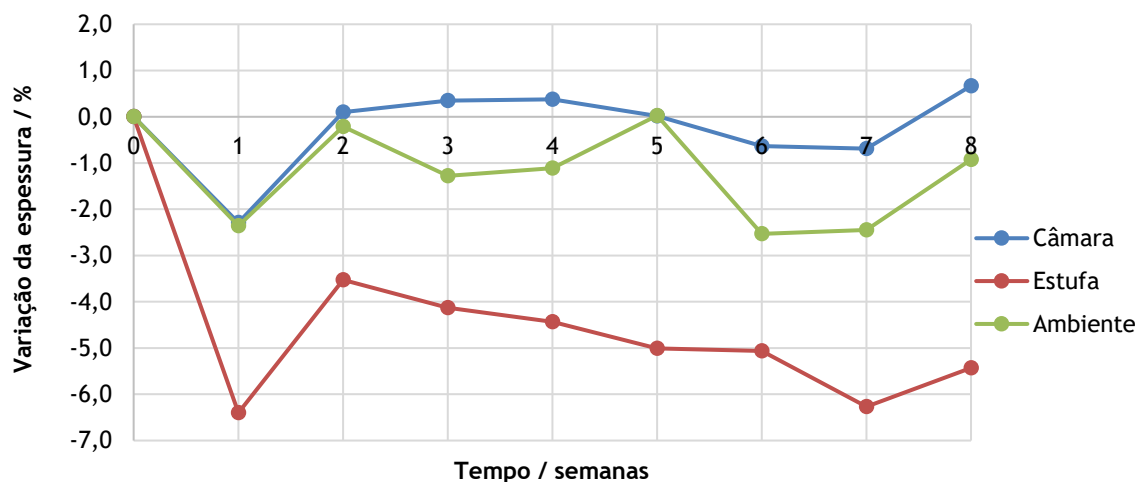


Figura 48- Variação da espessura das amostras de HPL preto com o tempo

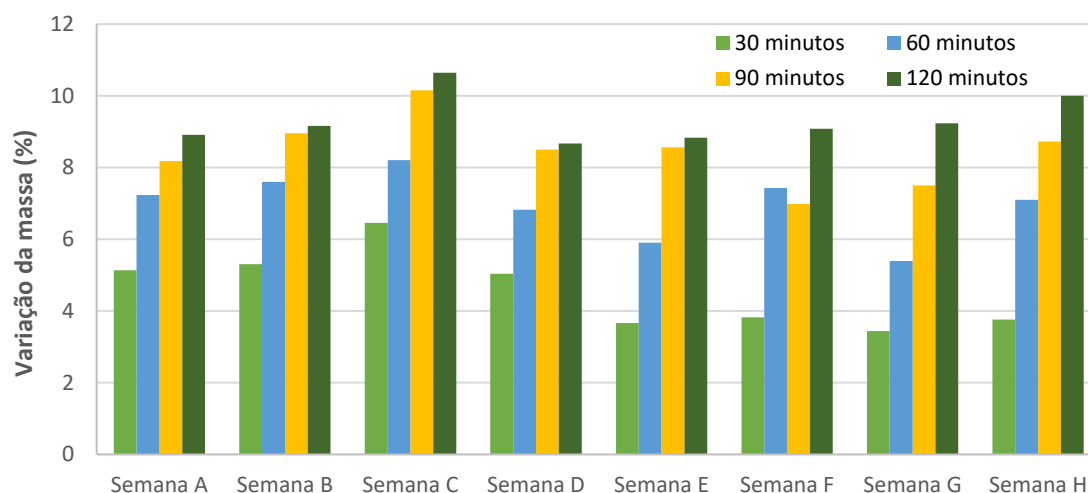


Figura 49- Variação da massa durante o ensaio de água em ebulição em cada semana nas amostras de HPL preto expostas às condições ambiente

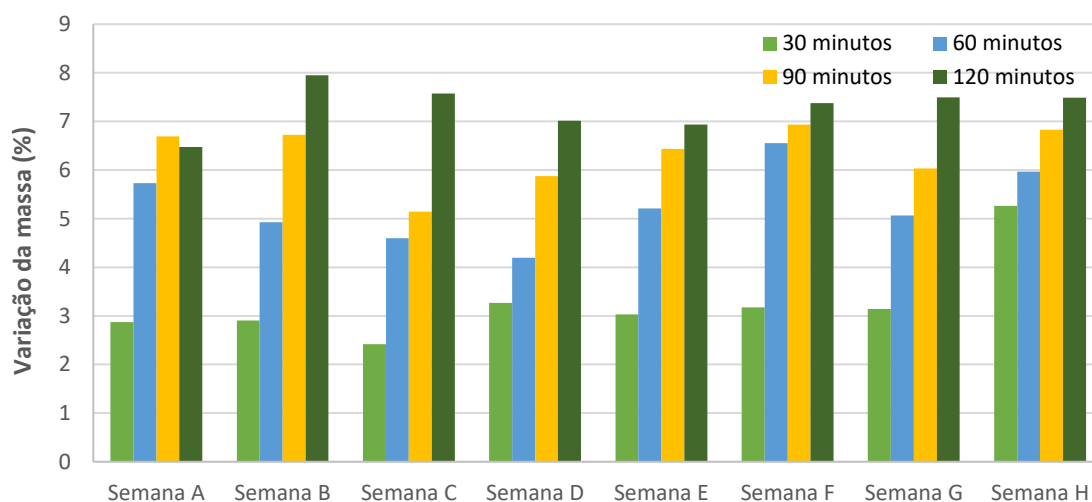


Figura 50- Variação da massa durante o ensaio em cada semana nas amostras de HPL preto acondicionadas na câmara

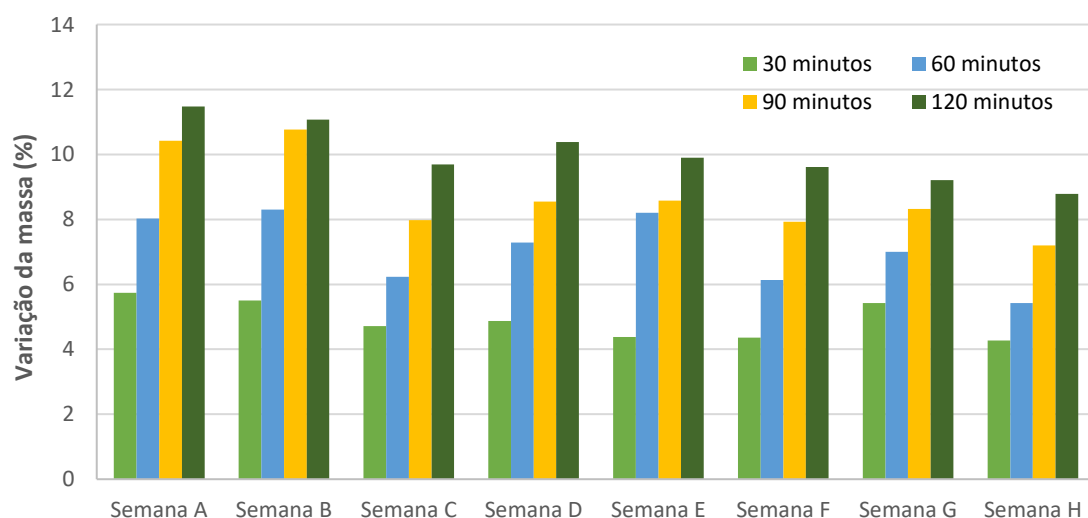


Figura 51- Variação da massa durante o ensaio em cada semana nas amostras de HPL preto da estufa

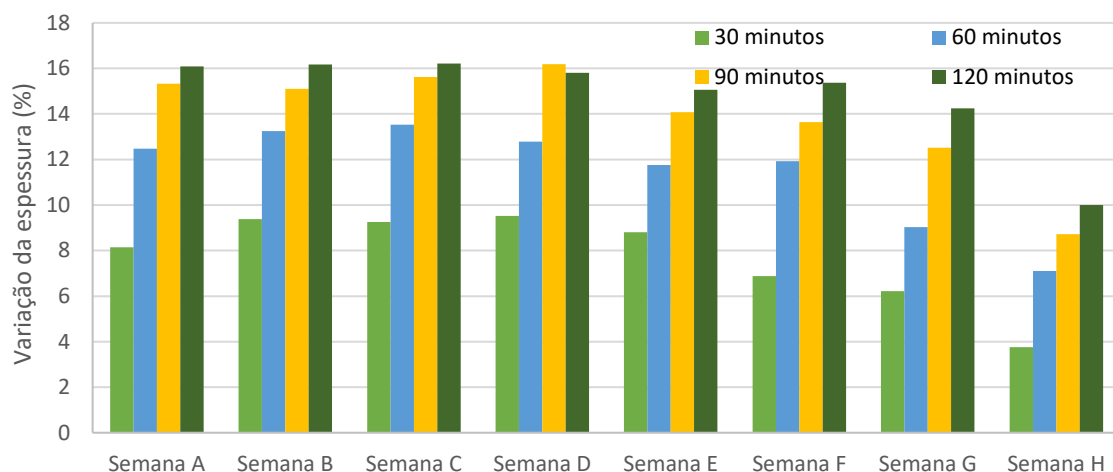


Figura 52- Variação da espessura durante o ensaio em cada semana nas amostras de HPL preto expostas às condições ambiente

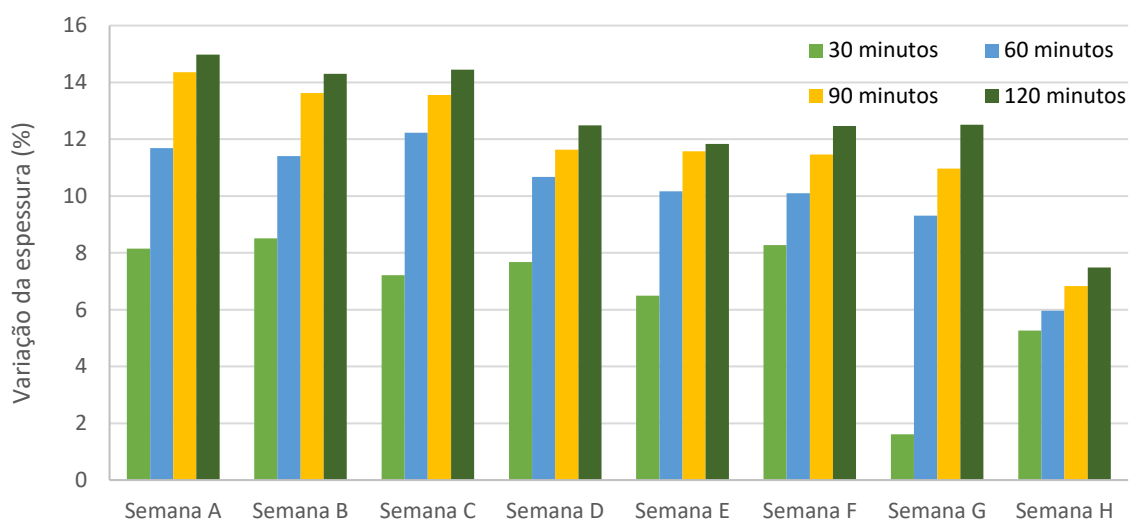


Figura 53- Variação da espessura durante o ensaio em cada semana nas amostras de HPL preto da câmara

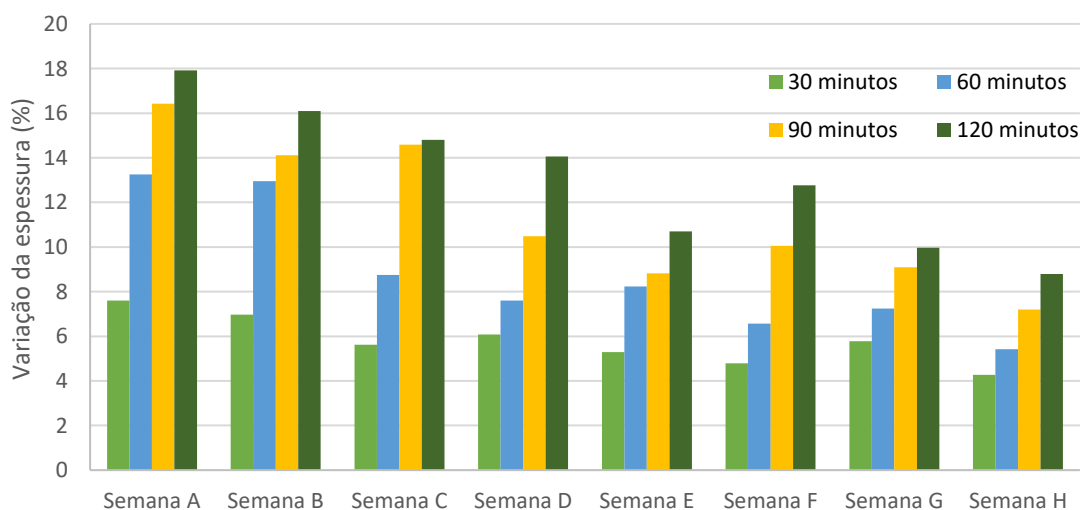


Figura 54- Variação da espessura durante o ensaio em cada semana nas amostras de HPL preto da estufa

Anexo 5 - Resultados HPL com padrão madeira

Nas figuras 55 e 56 apresentam-se os gráficos com as variações de massa e espessura consequentes da exposição às condições de envelhecimento.

Nas figuras 57, 58 e 59 apresentam-se as variações de massa sofridas pelas amostras de HPL preto durante as 2 horas do ensaio de água em ebulição, para cada um dos envelhecimentos.

Nas figuras 60, 61 e 62 apresentam-se as variações de espessura sofridas pelas amostras de HPL preto durante as 2 horas do ensaio de água em ebulição, para cada um dos envelhecimentos.

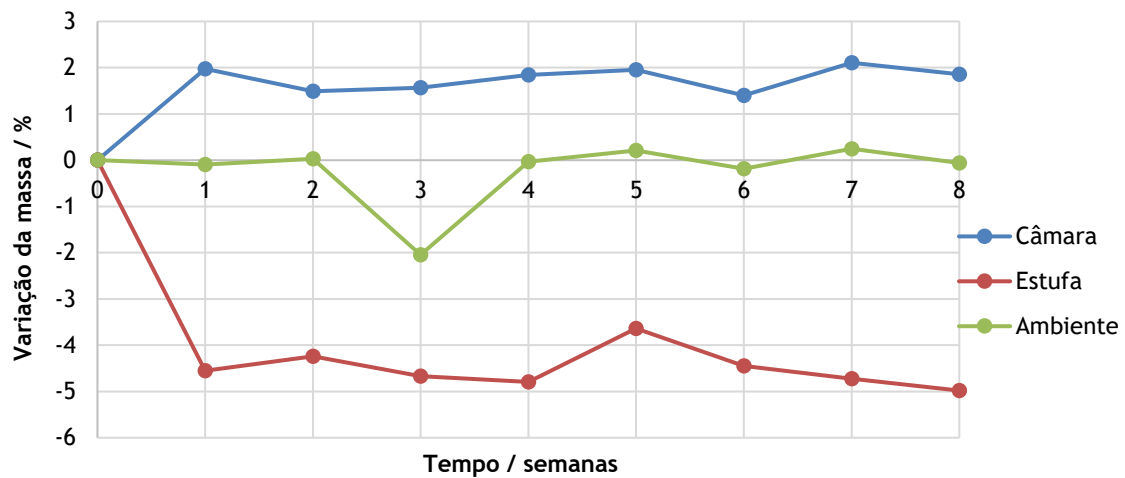


Figura 55- Variação da massa das amostras de HPL com padrão madeira com o tempo

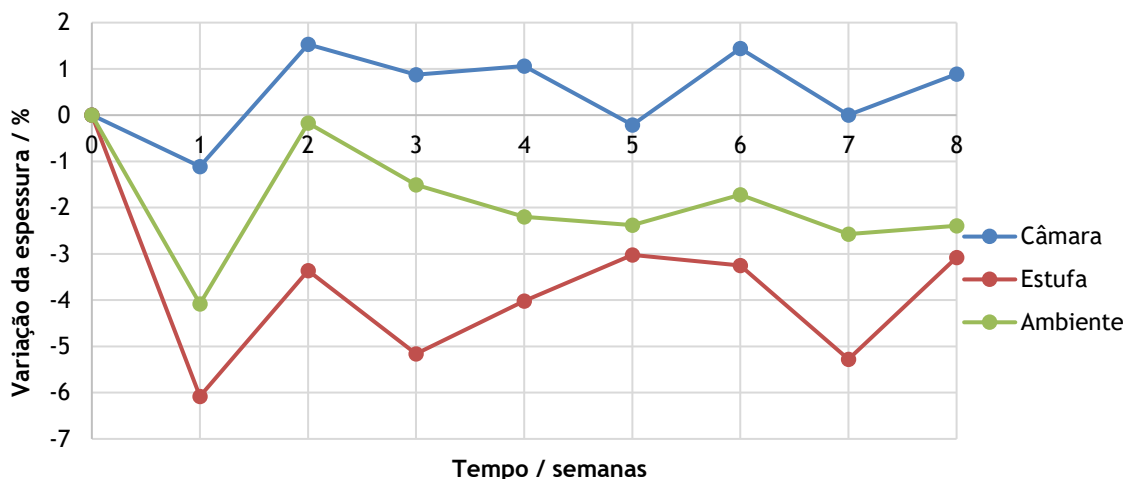


Figura 56- Variação da massa das amostras de HPL com padrão madeira com o tempo

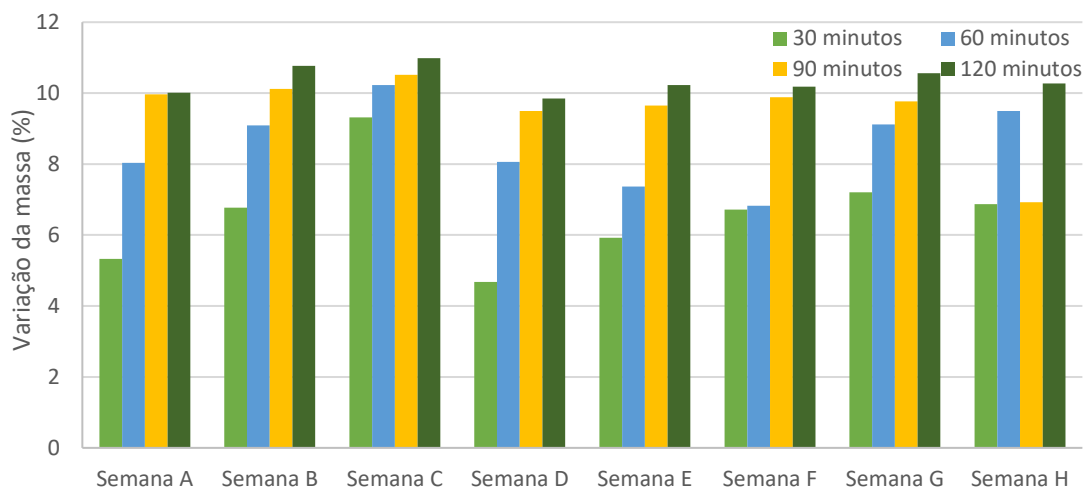


Figura 57- Variação da massa durante o ensaio em cada semana nas amostras de HPL com padrão madeira expostas às condições ambiente

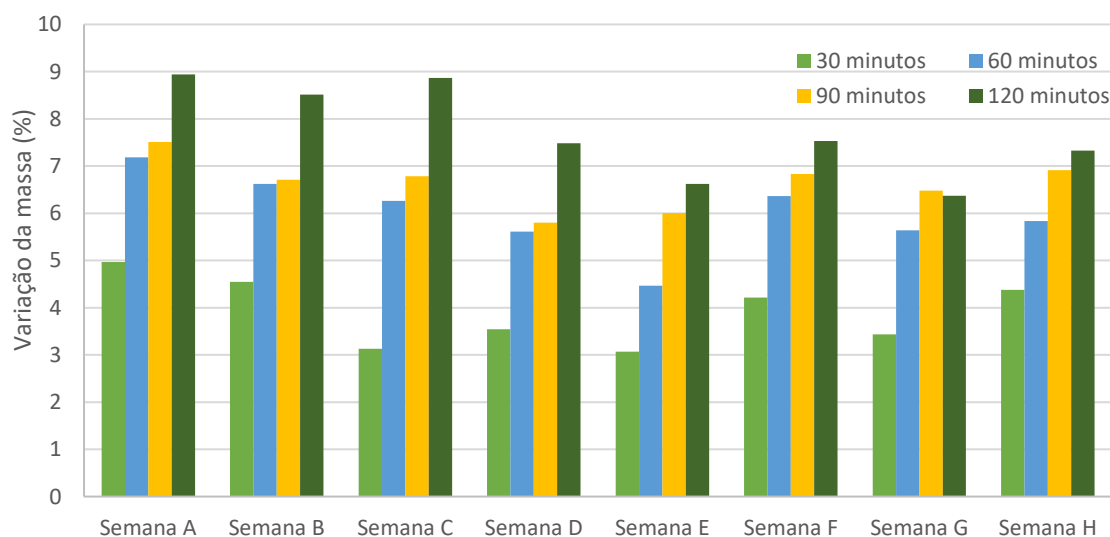


Figura 58- Variação da massa durante o ensaio em cada semana nas amostras de HPL madeira da câmara

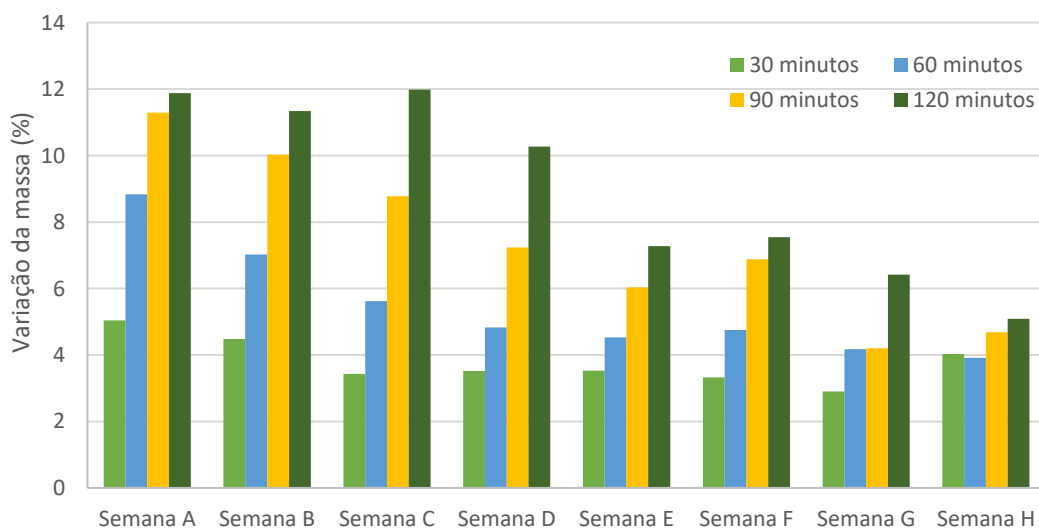


Figura 59- Variação da massa durante o ensaio em cada semana nas amostras de HPL madeira da estufa

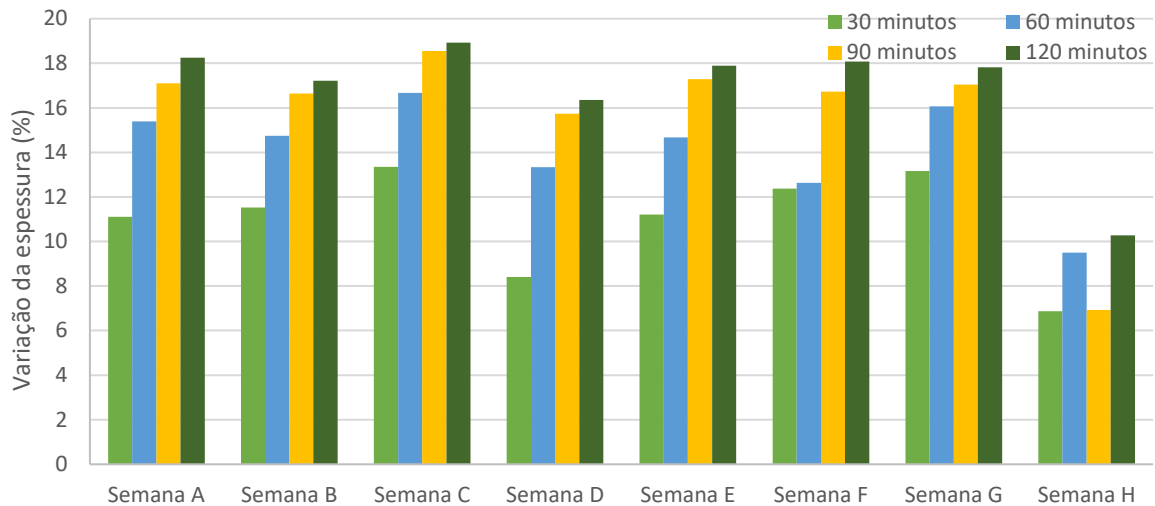


Figura 60- Variação da espessura durante o ensaio em cada semana nas amostras de HPL com padrão madeira expostas às condições ambiente

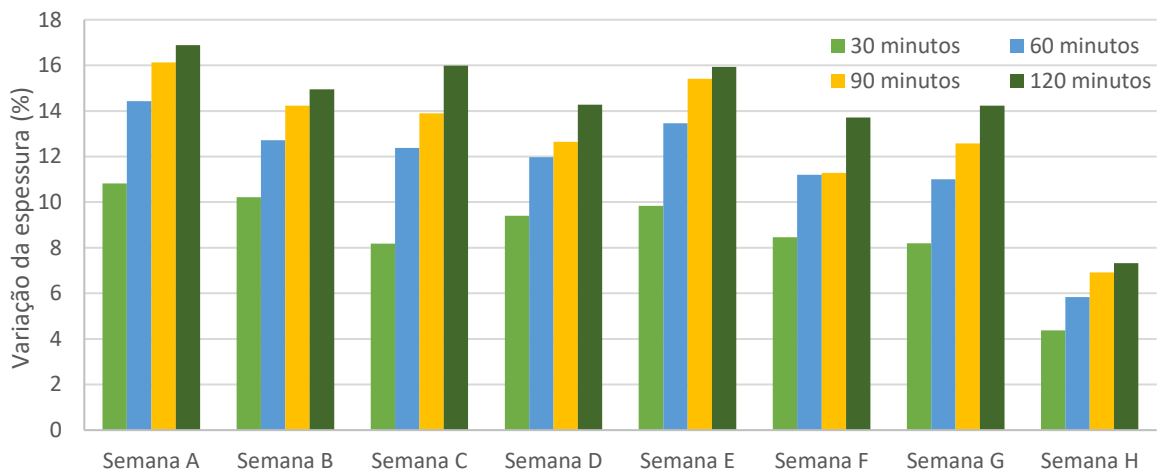


Figura 61- Variação da espessura durante o ensaio em cada semana nas amostras de HPL madeira da câmara

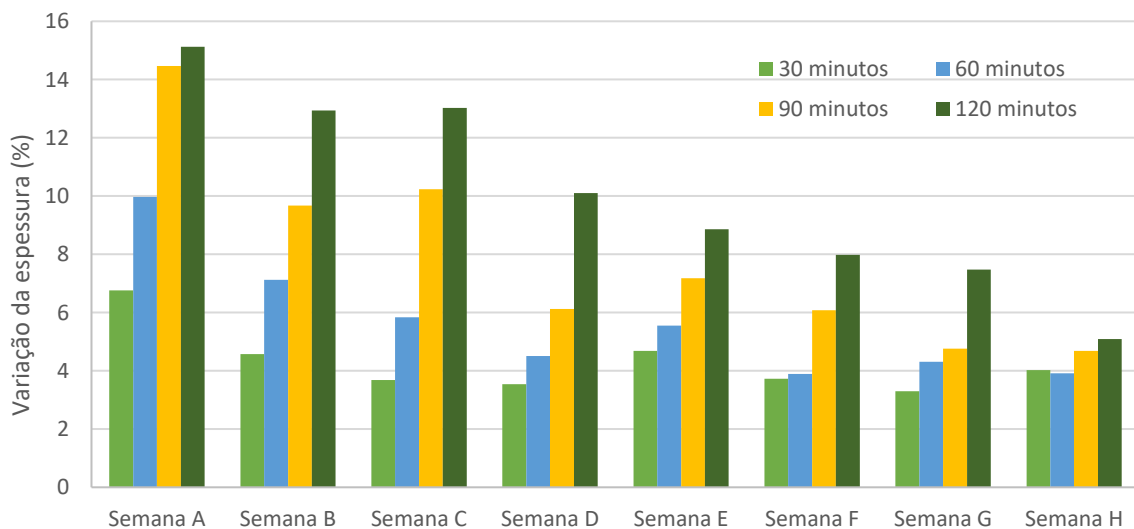


Figura 62- Variação da espessura durante o ensaio em cada semana nas amostras de HPL madeira da estufa

Anexo 6 - Resultados HPL compacto

Na figura 63 e 64 apresentam-se os gráficos com as variações de massa e espessura consequentes da exposição às condições de envelhecimento.

Nas figuras 65, 66 e 67 apresentam-se as variações de massa sofridas pelas amostras de HPL preto durante as 2 horas do ensaio de água em ebulição, para cada um dos envelhecimentos.

Nas figuras 68, 69 e 70 apresentam-se as variações de espessura sofridas pelas amostras de HPL preto durante as 2 horas do ensaio de água em ebulição, para cada um dos envelhecimentos.

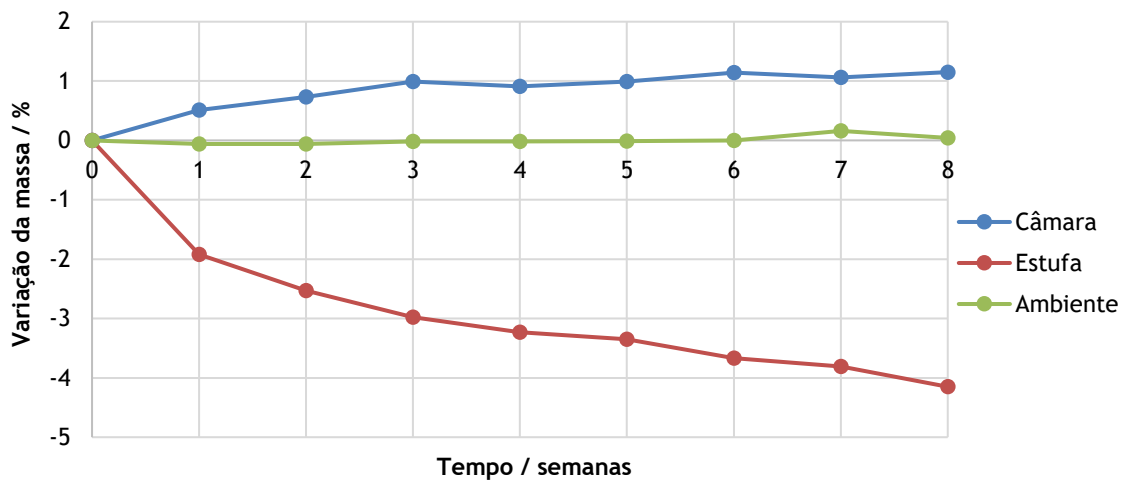


Figura 63- Variação da massa das amostras de HPL compacto ao longo das semanas de envelhecimento

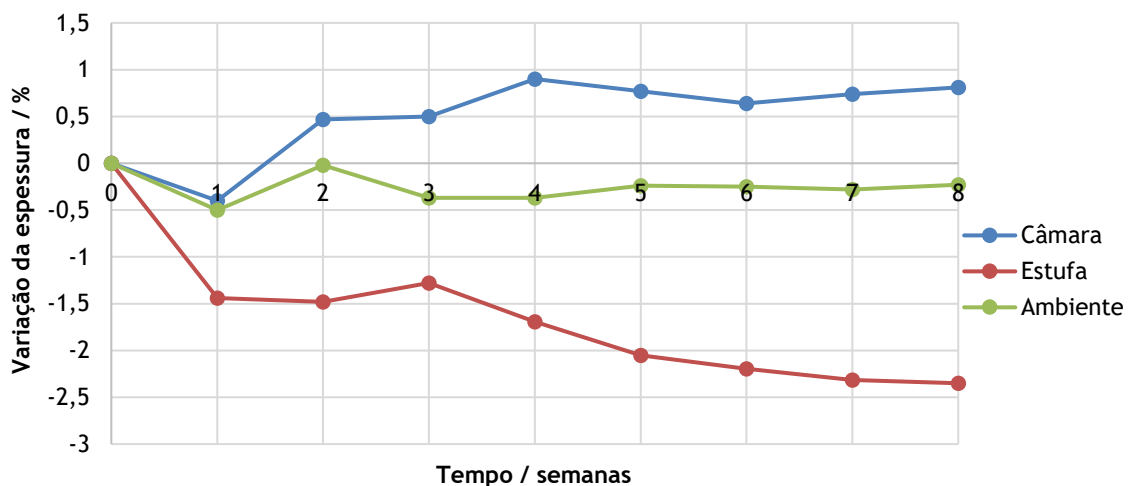


Figura 64- Variação da massa das amostras de HPL compacto ao longo das semanas de envelhecimento

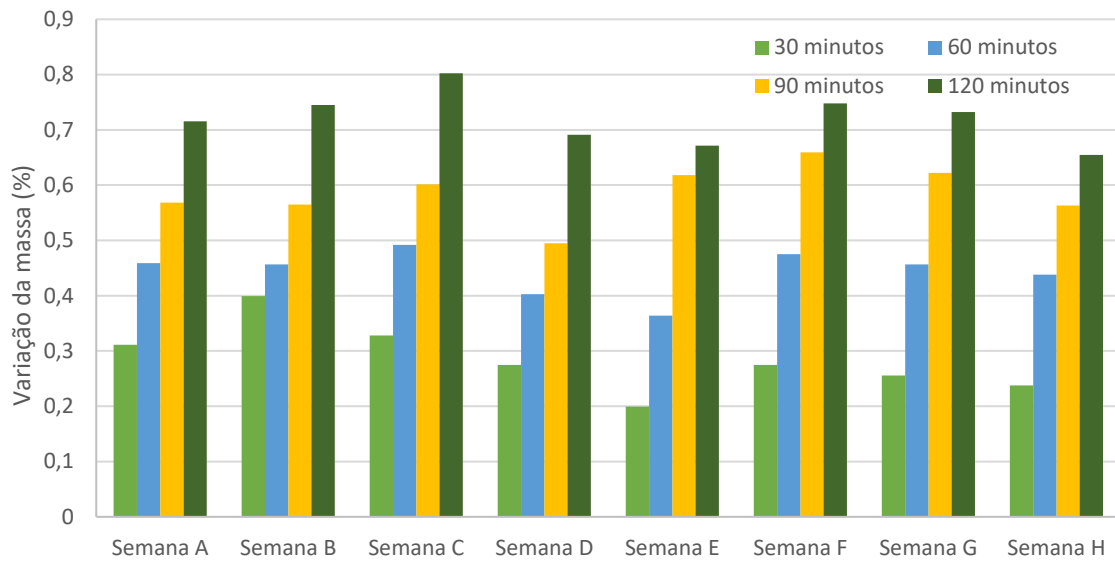


Figura 65- Variação da massa durante o ensaio em cada semana nas amostras de HPL compacto expostas às condições ambiente

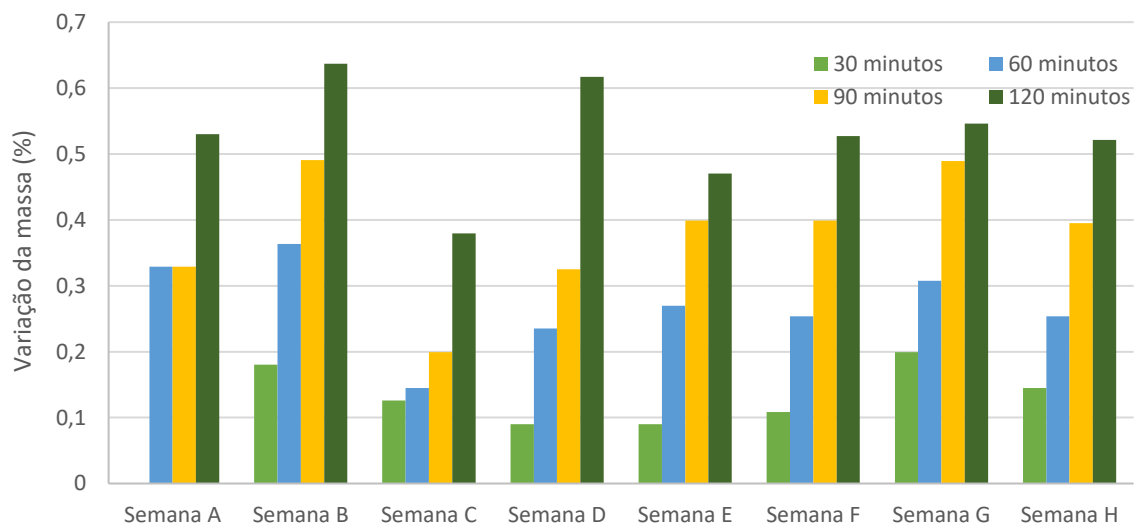


Figura 66- Variação da massa durante o ensaio em cada semana nas amostras de HPL compacto da câmara

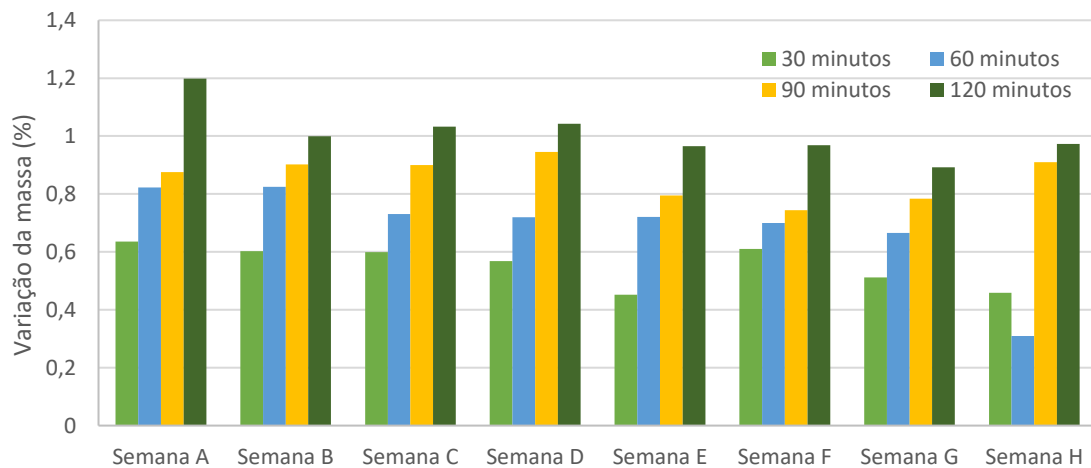


Figura 67- Variação da massa durante o ensaio em cada semana nas amostras de HPL compacto da estufa

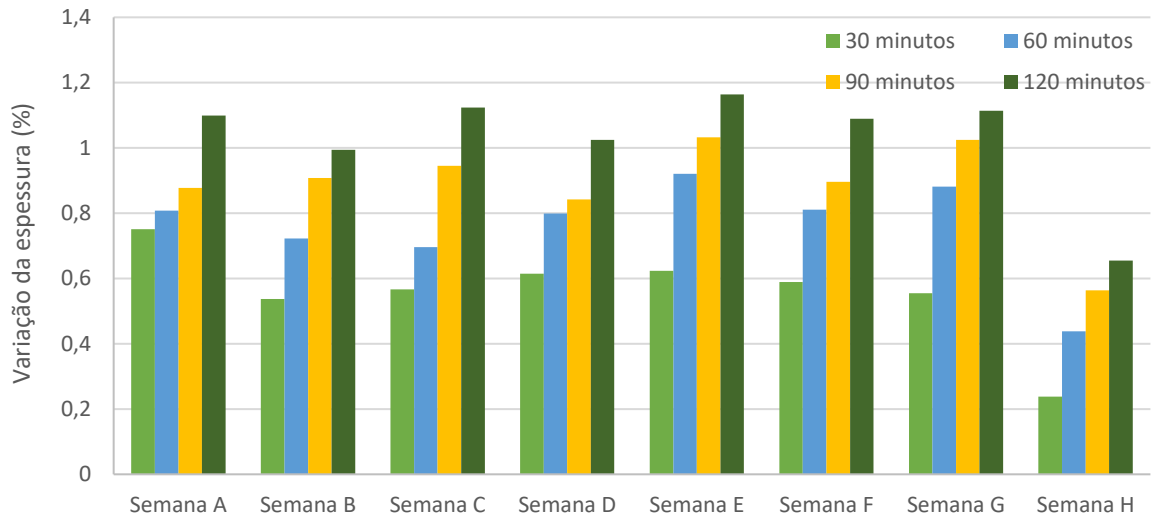


Figura 68- Variação da espessura durante o ensaio em cada semana nas amostras expostas às condições ambiente

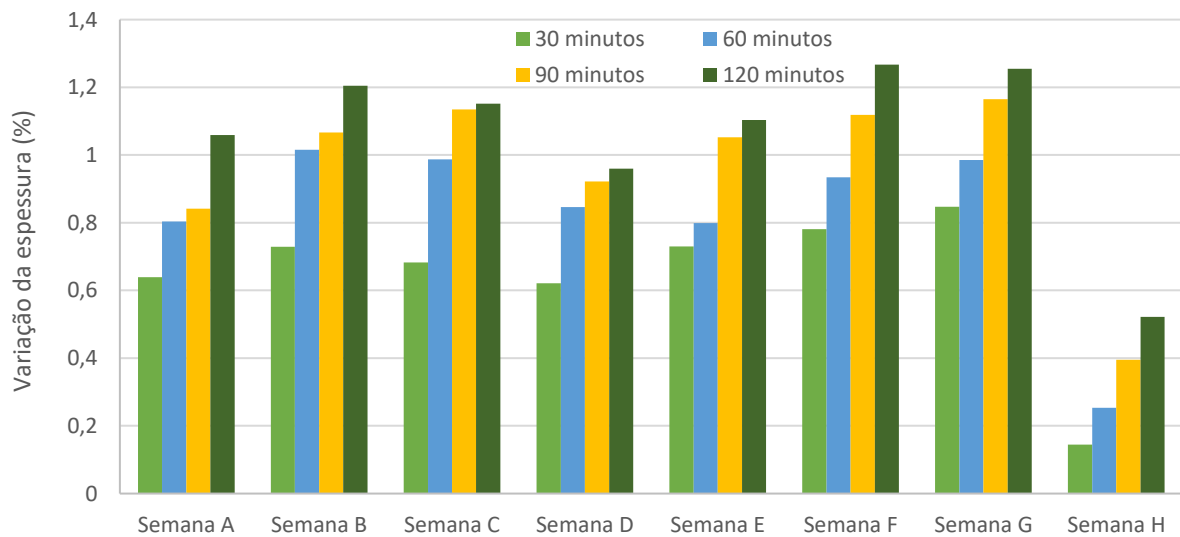


Figura 69- Variação da espessura durante o ensaio em cada semana nas amostras de HPL compacto da câmara

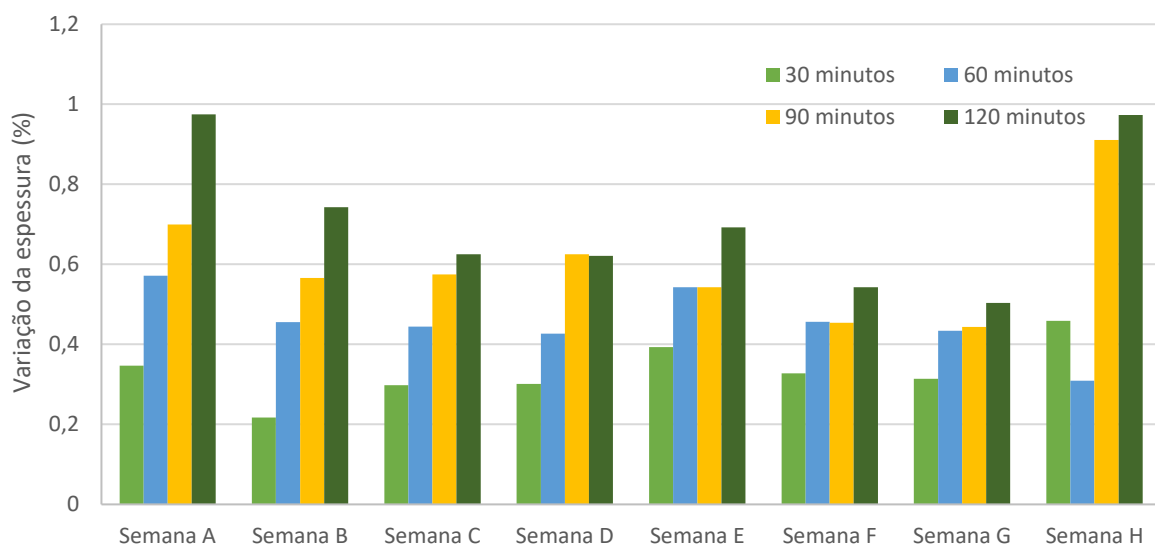


Figura 70- Variação da espessura durante o ensaio em cada semana nas amostras de HPL compacto da estufa

Anexo 7 - Estudo de um compacto da concorrência

Foram realizados os mesmos tratamentos de envelhecimento a um HPL compacto, com 6 mm de espessura, proveniente de uma empresa concorrente. Devido à pequena dimensão da amostra apenas foi possível colocar duas amostras quadradas de 50 mm de lado em cada condição, onde permaneceram as 8 semanas completas. Todas as semanas eram retiradas por uns instantes apenas para efetuar as medições da cor. Após o fim do envelhecimento foi realizado o ensaio de imersão em água a ferver, segundo a EN 438-2, no qual metade das amostras foram retiradas na primeira hora enquanto as restantes permaneceram as 2 h.

No gráfico apresenta-se a variação da massa, em percentagem, sofrida por estas amostras e também pelas pertencentes à SIR. O envelhecimento provocado pelas condições da estufa e da câmara, comparativamente ao das condições ambiente, contribuiu para a diminuição da quantidade de água absorvida pelo material. Em relação aos resultados, observa-se que o desempenho alcançado pelas amostras da concorrência foi consideravelmente inferior ao das amostras da SIR, uma vez que as variações de massa foram entre 3 a 5 vezes superiores às outras. A justificação poderá estar relacionada com vários parâmetros tais como a qualidade e/ou quantidade de resina aplicada, as condições de prensagem ou as características do papel.

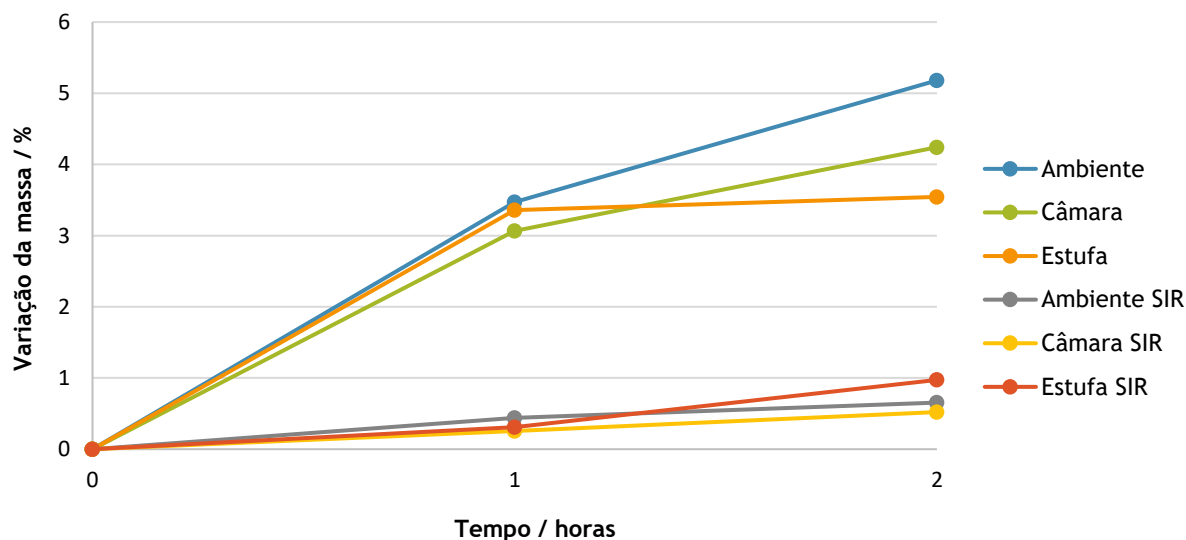


Figura 71- Resultados da variação de massa das amostras de HPL compacto durante o ensaio de água em ebulição

Nos resultados da variação de espessura não é tão notória a diferença entre os dois tipos de amostras, apesar das da SIR apresentarem inchamentos ligeiramente menores. A curva relativa à estufa destaca-se das outras pelos resultados alcançados. Coincidentemente, as duas amostras colocadas na estufa corresponderam às que registavam menores espessuras. No decorrer do envelhecimento foi verificada uma diminuição gradual da espessura que, após o ensaio de água em ebulição, foi completamente recuperada e inclusive ultrapassada.

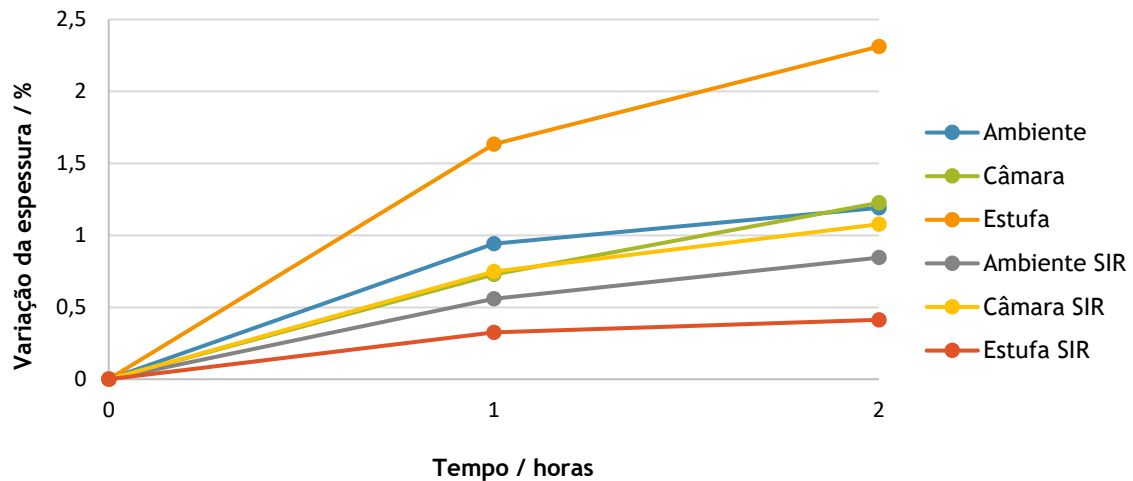


Figura 72- resultados da variação de espessura das amostras de HPL compacto durante o ensaio de água em ebulição

Relativamente à cor, o comportamento das amostras da concorrência foi bastante bom uma vez que, a partir da primeira semana, a cor das amostras não sofreu variações significativas, mantendo-se o ΔE constante ao longo das 8 semanas. Na 5ª semana os resultados não são válidos devido a problemas relacionados com a calibração do colorímetro. O efeito da câmara é o que provoca uma maior mudança na cor, seguido da estufa e por último a sala às condições ambiente.

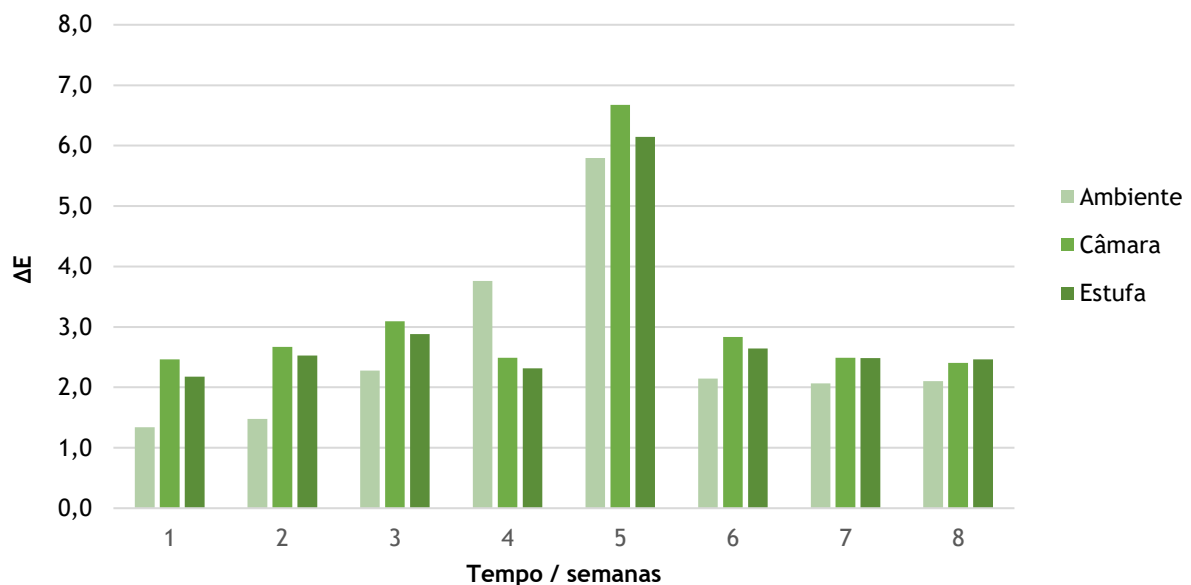


Figura 73- Resultados da variação da cor total das amostras de HPL compacto ao longo do envelhecimento

Anexo 8 - Ensaio de água em ebulição, 10 horas

De modo a conhecer o efeito do tempo no comportamento dos HPL ao longo do ensaio de água em ebulição decidiu-se prolongar a sua duração. Foram utilizadas 10 amostras padrão de cada um dos HPL (do preto, do que tem o padrão madeira e do compacto) e a cada 2 h eram retiradas 2 de cada um dos tipos.

Na figura encontram-se os resultados da variação de massa nos três materiais. Observa-se que 10 h de ensaio no compacto provocaram um aumento de 2 %. O HPL com padrão de madeira manteve os valores constantes após as 2 h de ensaio, sempre próximos de 10 %. O HPL preto foi aquele que variou mais a sua massa ao longo do ensaio, que aumentou sucessivamente desde os 7 até aos 15 %.

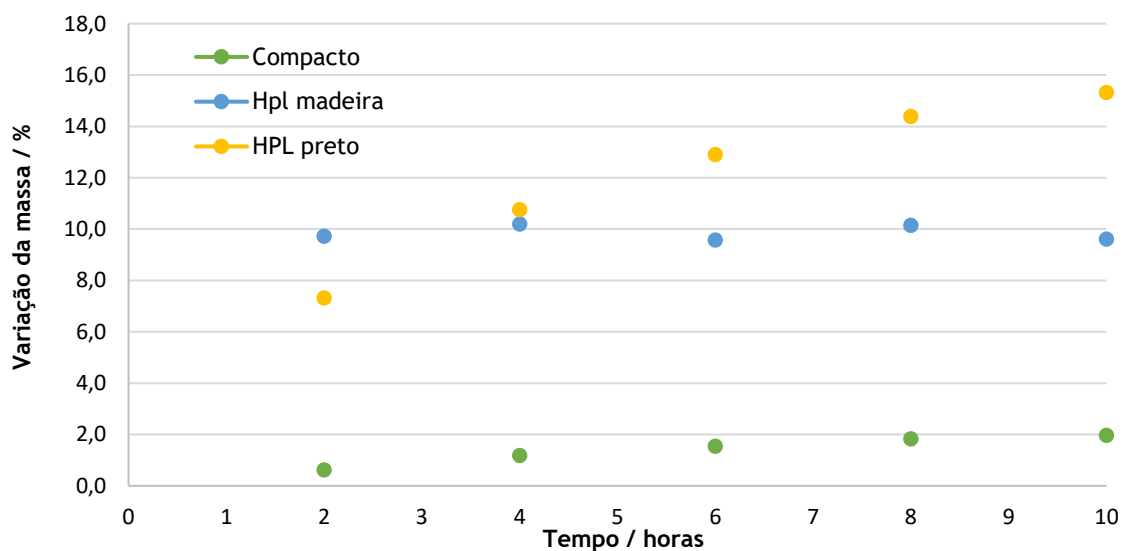


Figura 74- Resultados da variação de massa nas amostras de HPL durante o ensaio de água em ebulição

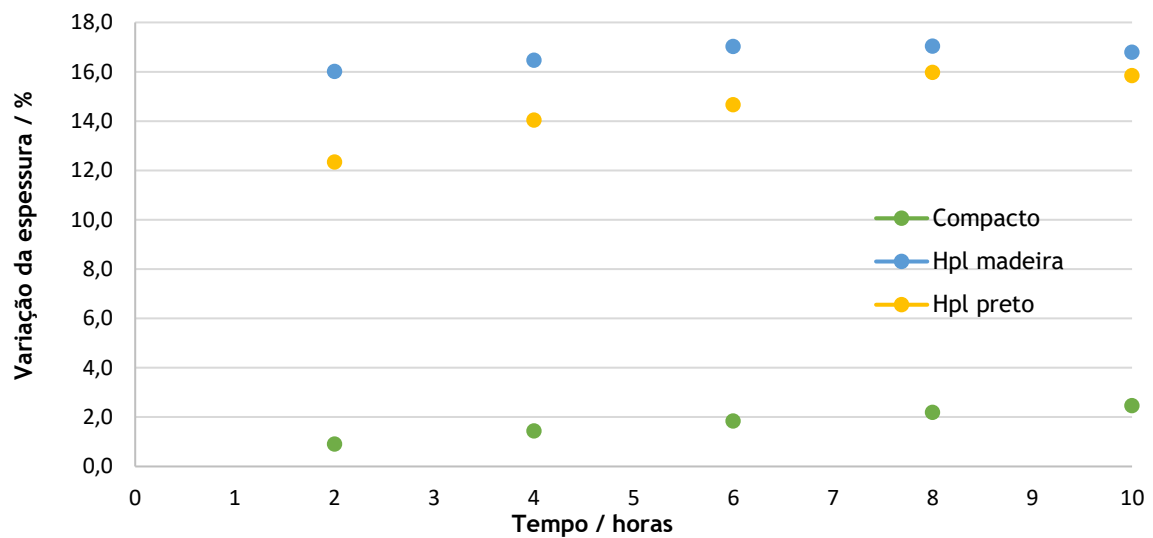


Figura 75- Resultados da variação de espessura nas amostras de HPL durante o ensaio de água em ebulição

A variação de espessura nos compactos vai aumentando ao longo do ensaio, atingindo os 2,5 % às 10 h. O HPL preto aumenta até às 8 h e depois parece estabilizar. O outro HPL mantém as variações entre os 16 % e os 17 % (coincidentes com as obtidas nos padrões, no capítulo 4).