



M 2017

DESENVOLVIMENTO DE PAINÉIS DE MATERIAL RECICLADO REVESTIDOS COM LAMINADO DE ALTA PRESSÃO

ANA JOÃO TAVARES DA SILVA VINHAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA

À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ENGENHARIA QUÍMICA

Mestrado Integrado em Engenharia Química

“Desenvolvimento de painéis de material reciclado revestidos com laminado de alta pressão”

Dissertação de Mestrado

de

Ana João Tavares da Silva Vinhas

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

realizado em

Sonae Indústria de Revestimentos, S.A.



Orientadores na FEUP/UPTEC: Prof. Dr. Fernão Domingos de Magalhães

Prof.^a Dr.^a Luísa Hora de Carvalho

Orientador na Sonae Indústria de Revestimentos S.A.: Dr.^a Cláudia Costa



Departamento de Engenharia Química

Julho de 2017

Agradecimentos

Gostaria de começar por agradecer aos meus orientadores: à Dr.^a Cláudia Costa por todo o acompanhamento, confiança e autonomia que me concedeu durante todo o período de dissertação, à Prof.^a Luísa Carvalho, por toda a vontade de ajudar e disponibilidade que sempre demonstrou para comigo e o meu trabalho, além de todo o conhecimento que partilhou comigo; e ao Prof. Fernão Magalhães por toda paciência e disponibilidade para ouvir as minhas dúvidas e por todas as sugestões.

Não menos importante, a presença da Margarida Nogueira durante a realização deste trabalho foi imprescindível, não só por toda a informação e formação que me facultou, mas também pela disponibilidade e pelo companheirismo que demonstrou para comigo.

Da mesma forma, o acompanhamento incansável do Prof. Jorge Martins foi decisivo para o encaminhamento deste projeto a bom porto. Por toda a ajuda, paciência e tempo depositado em mim, o meu muito obrigada.

De seguida, gostaria de agradecer às pessoas mais importantes da minha vida, que me acompanham no bom e no mau, nos meus dias de boa disposição e nos meus dias de trovoadas: aos meus queridos pais, Ana e Roberto, o meu obrigada por acreditarem sempre em mim, me ajudarem a ser melhor e a atingir todos os meus objetivos e por não só celebrarem as minhas vitórias comigo, mas por viverem as minhas derrotas tão vivamente como eu as vivo. Ao meu irmão Robertinho, por ser um chato adorável e por ter estado sempre presente para me distrair da escrita deste trabalho. Ao meu namorado incansável Fábio, por me aturar quando mais ninguém é capaz de o fazer, por ser o meu fã incondicional, e por me ajudar sempre a conseguir tudo o que quero. Aos meus amigos, que por mais quilómetros que nos separem, ou por mais tempo que estejamos sem nos ver, ou por mais dias que me aturem em vão, nunca deixam de estar presentes e de me apoiar: Prantene, Peças, Foto, Sport, Cancelada, Piri. Obrigada por serem os melhores dos melhores.

Às minhas afilhadas Marias, por serem umas chatas que eu gosto muito, e que de um modo seco, sempre foram acompanhando os meus últimos meses de estudante.

Quero também agradecer ao Sr. Filipe, ao Sr. Vítor e ao Sr. Rogério do Laboratório de Qualidade da SIR por todo o acompanhamento, ajuda e conhecimento, pois tornaram os meus dias de trabalho numa alegria. De igual modo gostaria de agradecer ao Pedro Pinto e ao Tiago Ramos da Biosafe pela disponibilidade e atenção prestadas.

Ao João Carlos e à Ana Helena por todas frustrações e descobertas que passamos juntos no UPTEC, e por toda a alegria que deram aos meus dias com as vossas inocências e reclamações.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para o sucesso deste trabalho, seja no UPTEC ou na SIR, o meu muito obrigada.

Este trabalho foi financiado por *Sonae - Indústria de Revestimentos, SA* e 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.



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional



Resumo

A Sonae Indústria de Revestimentos S. A. (SIR) é um dos maiores produtores mundiais de laminados de alta pressão (HPL) e compactos. Na sua constante procura de melhoria, optimização e inovação dos seus produtos, a SIR pretende encontrar uma alternativa aos seus atuais compactos, mantendo ao máximo as suas características químicas, físicas e mecânicas, mas a custos mais competitivos. Assim, procura-se integrar matérias-primas mais baratas e de elevada disponibilidade nos produtos já produzidos, por forma a obter soluções estruturais viáveis e otimizadas. Surge assim a oportunidade de utilizar borracha reciclada, já incorporada em produtos da indústria de isolamentos, pavimentos, relvados sintéticos, entre outros, no portefólio comercial da SIR. Devido à necessidade de reutilização de matéria indesejáveis, como é o caso da borracha dos pneus em fim de vida, a utilização deste material como miolo de compactos apresenta-se como uma forma de transmitir uma mensagem de consciencialização ambiental por parte da SIR.

Os compactos apresentam-se como produtos de elevado valor acrescentado, sendo fabricados com papel kraft, cujo componente confere aos compactos a designação de fenólicos devido às resinas termoendurecíveis com que as folhas são impregnadas. Estes produtos apresentam geralmente elevada resistência mecânica e impermeabilidade, e outras propriedades menos comuns como a resistência à chama, ao risco e a condições atmosféricas adversas. O processo de produção de compactos e termolaminados encontra-se dividido em três etapas: impregnação do papel kraft, prensagem da estrutura, e corte, lixagem e inspeção visual do produto final.

De forma a obterem-se produtos sucessivamente melhorados, foram testados vários parâmetros influentes na produção dos compactos com miolo de borracha reciclada, sendo alguns deles o teor de resina, a granulometria das partículas de borracha e a espessura dos painéis. Alguns dos testes efetuados passaram pelo teste de água em ebulição, a determinação da resistência à tração perpendicular ao plano, e análise de SEM (do inglês “*Scanning Electron Microscopy*”) de forma a observar a adesão entre as partículas. Foi utilizada uma resina de pré-polímero de poliuretano.

De uma forma geral, obteve-se um produto final com propriedades otimizadas, sendo que, para 5 mm de espessura, as propriedades estudadas ficaram perfeitamente definidas: quatro folhas de papel kraft impregnado, duas folhas de papel kraft seco, teor de resina de 4 %, granulometria de 0,0-0,8 mm e massa volúmica de 1160 kg.m^{-3} . Adicionalmente realizaram-se estudos no que toca a outras espessuras possíveis e mais vantajosas, tendo-se aprofundado a produção de painéis com 12,5 mm de espessura, uma vez que este valor corresponde à espessura mais comercializada pela SIR.

Palavras Chave:

Borracha reciclada, compactos, HPL, poliuretano.

Abstract

Sonae Indústria de Revestimentos S.A. (SIR) is one of the largest high pressure laminates and compact boards producers in the world. In its constant search for improvement, optimization and innovation of its products, SIR intends to find alternatives to its current products, retaining to the maximum its chemical, physical and mechanical properties, at a lower cost. That way, there's an effort to integrate cheaper and highly available raw materials in the production line, to obtain optimized and viable structural solution. This enables the opportunity of using recycled rubber, already in use on industries such as isolation, flooring, synthetic lawns, among others, in SIR's commercial portfolio. Due to the need to reutilize unwanted materials, as the tire rubber is, the utilization of this material as compact core presents itself as a way to communicate a message of environmental awareness from SIR.

The compact boards are products of high added value, produced with kraft paper as core, which gives the designation of phenolic due to the thermosetting resins used for sheets impregnation. These products usually show properties such as high mechanical resistance and impermeability, and other less common like fire, risk and adverse weather resistance. The production process of compacts and thermolaminates is divided in three steps: impregnation of kraft paper, pressing and cutting, sanding and visual inspection of the final product.

To obtain successively improved products various parameters were tested, such as resins' content, particle granulometry and panel thickness. Some of the performed tests were the boiling water test, tensile strength perpendicular to the plane of the board and SEM analysis, to observe the adhesion between particles. A pre-polymer of polyurethane resin was used.

In a general way, a final product with 5 mm of thickness was obtained, with the following optimized properties: four sheets of impregnated kraft paper, two sheets of dry kraft paper, 4 % of resin content, granulometry of 0,0-0,8 mm and density of 1160 kg.m⁻³. Additionally, studies with different board thickness values were performed, with a thickness of 12,5 mm being chosen because it's the more commercialized type of board, by SIR.

Key Words:

Recycled rubber, compacts, HPL, polyurethane.

Declaração

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

(Ana Vinhas)

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projeto	1
1.2	Contributos do Trabalho	2
1.3	Organização da Tese	3
2	Contexto e Estado da Arte	4
2.1	Termolaminados Decorativos de Alta Pressão	5
2.2	Compactos fenólicos.....	6
2.3	Papel Kraft	7
2.4	Borrachas	8
2.4.1	Borracha Natural	8
2.4.2	Borracha sintética	9
2.5	Poliuretanos (PU)	10
2.6	Produtos e bibliografia relacionada	11
3	Descrição Técnica.....	14
3.1	Materiais Utilizados.....	14
3.2	Procedimentos.....	14
3.3	Caracterização do Produto.....	16
3.3.1	Teste da água em ebulição.....	16
3.3.2	Resistência à abrasão	17
3.3.3	Microscopia Eletrónica de Varrimento (SEM)	18
3.3.4	Resistência à tração perpendicular ao plano.....	18
4	Resultados e Discussão.....	20
4.1	Afinação das variáveis do processo.....	20
4.1.1	Número de folhas de kraft	21
4.1.2	Teor de resina	24
4.1.3	Granulometria	28
4.1.4	Massa volúmica	31

4.1.5	Espessura	35
4.2	Laminado	43
5	Conclusões	44
6	Avaliação do trabalho realizado.....	45
6.1	Objetivos Realizados	45
6.2	Limitações e Trabalho Futuro	46
6.3	Apreciação Final	47
Anexo 1	Ficha Técnica da cola LORPUR 1728 R.....	51
Anexo 2	Ficha Técnica da borracha BioRG 0.0-0.8 mm	52
Anexo 3	Ficha Técnica da borracha BioRG 0.8-2.5 mm	53
Anexo 4	Ficha Técnica da borracha BioRG 2.5-4.0 mm	54
Anexo 5	Ficha Técnica da borracha BioRG 4.0-7.0 mm	55
Anexo 6	Exemplo de cálculo	56
Anexo 7	Representação gráfica dos resultados dos testes de água em ebulição para os provetes AV-016 (granulometria 0.8-2.5 mm)	57
Anexo 8	Representação gráfica dos resultados dos testes de água em ebulição para os provetes AV-018 e AV-021	58
Anexo 9	Resultados finais para o compacto de borracha com espessura 12,5 mm, prensado a 40 kg.cm-2	59

Notação e Glossário

$F_{t\perp}$	resistência à tração perpendicular	N.mm^{-2}
F_{max}	carga de rutura	N
a	largura	mm
b	espessura	mm
V_{forma}	volume da forma	cm^3
ρ	massa volúmica	kg.cm^{-3}
m	massa	kg
V	volume	cm^3

Lista de Siglas

OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
HPL	<i>High Pressure Laminates</i>
SIR	Sonae Indústria de Revestimentos, S.A.
ARCP	Associação Rede de Competência de Polímeros
I&D	Investigação e Desenvolvimento
BMB	Betume Modificado de Borracha
MOR	<i>Modulus of Rigidity</i>
MOE	<i>Modulus of Elasticity</i>
NR	<i>Natural Rubber</i>
SBR	<i>Styrene-Butadiene Rubber</i>
BR	<i>Butadiene Rubber</i>
MDI	<i>Methylene Diphenyl Isocyanate</i>
MUF	<i>Melanine-Urea-Formaldehyde</i>
PU	Poliuretanos
pMDI	para-Methylene Diphenyl Isocyanate
UF	Ureia-Formaldeído
LEPABE	Laboratório de Engenharia de Processo, Ambiente, Biotecnologia e Energia
UPTEC	Parque Ciência e Tecnologia da Universidade do Porto
EN	<i>European Norm</i>
IP	<i>Initial Point</i>
FP	<i>Final Point</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i>

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

Desenvolvido no âmbito da Dissertação de Mestrado, o presente trabalho procura, principalmente, colmatar certos problemas associados à utilização de papel kraft na indústria de pavimentos e laminados na qual a Sonae - Indústria de Revestimentos, S.A. se encontra inserida, procurando atribuir novas qualidades diferenciadoras aos produtos, ou realçar as existentes. Em segundo plano, a reutilização de pneus em fim de vida também é uma questão influente neste trabalho.

A Sonae - Indústria de Revestimentos, S.A, cujo capital social é detido na sua totalidade pelo grupo Sonae Indústria, SGPS, S.A., dedica a sua atividade à produção e comercialização de termolaminados decorativos de alta pressão e compactos.

Teve a sua gênese com a empresa Sonae - Sociedade Nacional de Estratificados, SARL, criada em 1959, que tinha por objetivo a produção de painéis decorativos. Em 1971, esta passa a produzir painéis de aglomerado revestidos com papel melamínico ou folha de madeira, e a partir de 1982, surgem as unidades de produção de formaldeído e de resinas ureicas. Só em 1988 se dá a criação da Sonae - Indústria de Revestimentos, S.A. propriamente dita, na qual se desenvolve esta dissertação, e é esta empresa que passa a deter o património industrial localizado na Maia.

No ano de 1991, surge a Sonae Indústria, SGPS, da necessidade de uma maior focalização nos negócios. No ano de 1993, inicia-se uma fase de expansão e internacionalização dos negócios do Grupo Sonae Indústria, o que o torna líder do setor de painéis de madeira na Península Ibérica e num dos cinco maiores produtores europeus, abrindo caminho, nos anos subsequentes, para a expansão internacional.

Em 1994, a SIR sofre uma operação de cisão fusão e passa a deter apenas a produção de termolaminados de alta pressão e papel impregnado.

Já em 2016, a Sonae Indústria SGPS efetuou uma parceria com uma sociedade pertencente ao Grupo Arauco, com sede no Chile, surgindo a Sonae Arauco, que passou a deter as atividades de produção de painéis derivados de madeira, químico e papel impregnado na Europa e África do Sul.

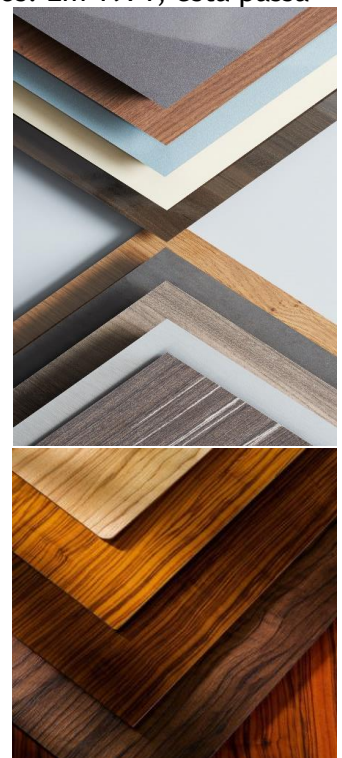


Figura 1 - Exemplos de produtos comercializados na SIR.

O objetivo primordial deste projeto passa pelo desenvolvimento de soluções alternativas aos compactos atualmente produzidos pela SIR, painéis fabricados pela prensagem de materiais a elevadas pressões e temperaturas, que apesar de serem de uma qualidade superior, apresentam elevados custos de produção. Um balanço poderá ser feito de forma a que um produto estruturalmente menos resistente seja vantajoso no sentido de resultar em maior valor acrescentado, uma vez que nem todas as aplicações necessitam do mesmo nível de resistência mecânica.

Vários são os materiais que poderiam ser selecionados para este estudo, já que o critério principal a aplicar na escolha seria a diminuição do custo de produção - teria de ser selecionada uma matéria-prima barata e de fácil acesso. Outras características favoráveis prender-se-iam com o peso da matéria-prima e a facilidade de processamento. No entanto, cada vez mais surge a necessidade de criação de produtos sustentáveis, que não só solucionem problemas atuais, mas que melhorem a imagem de qualquer empresa. Surgiu assim durante uma reunião promovida pela ARCP onde, além de representantes da SIR encontravam-se também presentes representantes da Biosafe, empresa responsável pela reciclagem de pneus em fim de vida, a opção de se explorar a utilização de borrachas provenientes da reciclagem destes mesmos pneus nos produtos já comercializados pela empresa, face à elevada quantidade de resíduos provenientes desta indústria.

Posto isto, e de uma forma geral, numa primeira fase procurar-se-á avaliar a viabilidade do produto idealizado, seguido do seu desenvolvimento até um nível que seja suficiente para uma fase de implementação industrial. Durante este processo de desenvolvimento, vários serão os métodos de análise e caracterização utilizados de forma a avaliar o comportamento do produto e a medir as diversas otimizações a realizar.

1.2 Contributos do Trabalho

Para a SIR, e mais precisamente para o departamento de I&D, este trabalho apresentou as seguintes contribuições:

- Estudo da viabilidade do produto como solução estrutural alternativa às atualmente comercializadas;
- Desenvolvimento de produto até às condições ideais de implementação industrial;
- Caracterização do mesmo, através de diversos métodos e testes.

Para isto foi necessário bastante trabalho teórico de forma a conhecer todos os parâmetros passíveis de ser otimizados e quais as consequências de tal otimização. Procurou-se também efetuar uma caracterização extensiva, seja por testes de resistência mecânica e adesão entre partículas, seja por análise das superfícies e interfaces, através da microscopia eletrónica.

1.3 Organização da Tese

O presente trabalho está dividido nas seguintes secções:

1. Enquadramento, apresentação e principais objetivos;
2. Contexto e estado da arte, onde se apresentam os diferentes componentes a uso neste trabalho, assim como os estudos realizados na área;
3. Descrição técnica, que se traduz pela descrição dos diferentes materiais e origens dos mesmos, e das técnicas utilizadas durante o período de dissertação;
4. Resultados e discussão dos mesmos;
5. Conclusões, onde se sumarizam as principais conclusões retiradas do projeto;
6. Avaliação do trabalho realizado, onde se avalia o trabalho desenvolvido e os obstáculos encontrados, sugerindo-se trabalhos e desenvolvimentos futuros.

2 Contexto e Estado da Arte

Como um dos maiores produtores mundiais de laminados e compactos, a SIR procura inovar e estar a par de novas tecnologias que possam não só melhorar o seu portefólio, mas também a sua imagem enquanto empresa. Desta forma, a necessidade de novos produtos e soluções melhoradas conduz a uma investigação continua na área dos compactos e laminados.

Por forma a obter soluções estruturais mais baratas, mas mantendo ou melhorando o desempenho dos compactos já comercializados pela SIR, ou para alargar a gama de produtos disponibilizados pela empresa, procura-se integrar nos produtos já desenvolvidos matérias-primas mais baratas, com elevada disponibilidade, e que representem problemas ambientais de difícil resolução. Assim surgiu a ideia de se estudar a incorporação de borracha reciclada em compactos, obtendo soluções estruturais viáveis e otimizadas.

O mercado global dos laminados encontra-se em crescimento, devido ao setor da construção e renovação de edifícios e ao setor comercial, e espera-se um total de 28,3 mil milhões de euros em volume de negócios, no ano de 2021 (Lucintel Set 2016). Em 2015, o mercado europeu perfazia um total de 38,7 % do mercado global de construção, sendo a tendência para decrescer, como podemos observar na *Figura 2*. Assim, a Europa apresenta-se como o mercado líder no setor, estando previsto atingir 1,7 mil milhões de metros quadrados de produto, no ano de 2020. Os baixos custos de instalação e manutenção, aliados não só à durabilidade e design, mas também à inovação e desenvolvimento, são os principais fatores de crescimento e procura deste setor.

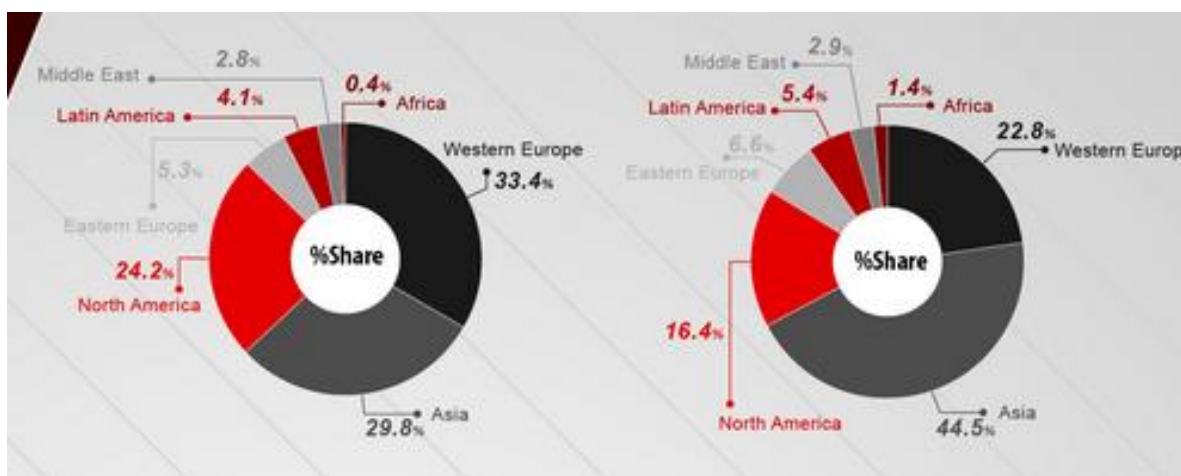


Figura 2 - Mercado global de construção, para 2015 (à esquerda) e 2020 (à direita) (Global Industrial Analysts, Inc 2015).

Tendo também em consideração que em Portugal são produzidos anualmente mais de 7 milhões de pneus usados (cerca de 90 000 toneladas), e que 60 % da sua constituição corresponde a borracha, podemos concluir que esta é uma matéria-prima de grande disponibilidade. A borracha reciclada pode ser aplicada em diferentes áreas, desde a indústria de isolamentos, à indústria de pavimentos, relvados sintéticos e betume modificado de borracha (BMB). No seguimento da necessidade de reutilização dos resíduos produzidos, surge a oportunidade de os incorporar em produtos resistentes e economicamente viáveis, que possam ser comercializados pela SIR.

Assim, após um estudo inicial da arquitetura de termolaminados/compactos, procurar-se-á investigar possíveis alterações à mesma, substituindo componentes físicos parcial ou totalmente, ou alterando as formulações dos componentes adesivos, de forma a garantir a adesão do papel kraft às borrachas de interesse, mantendo ou melhorando as propriedades mecânicas associadas a este tipo de produtos, de acordo com as normas em vigor.

Este estudo é economicamente interessante para a SIR, sendo expectável que a implementação de borracha nos compactos conduza a uma diminuição de custos de matéria-prima, por diminuição da quantidade de papel kraft necessário, além de uma melhoria em algumas propriedades mecânicas de interesse, face a produtos apresentados pela concorrência da SIR.

2.1. Termolaminados Decorativos de Alta Pressão

Os termolaminados são placas finas, distinguindo-se dos compactos pela sua espessura, que deve situar-se abaixo dos 2 mm, cujas folhas de kraft impregnado são ligadas entre si por ação de calor e pressão (*Figura 3*). Tipicamente não representam soluções estruturais, mas sim de superfície, que podem ser melhoradas de forma a obter propriedades antibacterianas, antifúngicas, resistência ao fogo e à chama, anti impressão digital, entre outros, ou por atribuição de características mais simples, como brilho, opacidade e cor.

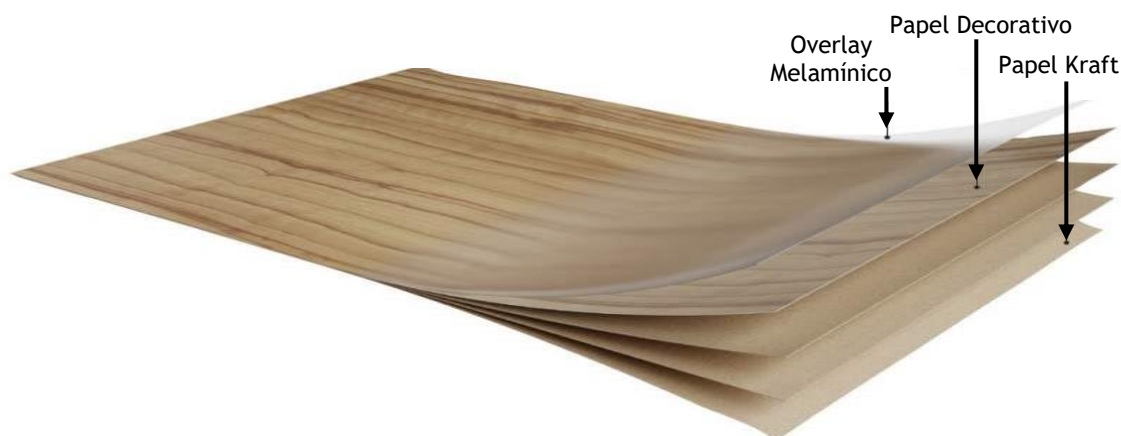


Figura 3 - Constituição de um HPL (adaptado de (Tectonica-online s.d.)).

2.2. Compactos fenólicos

Um compacto fenólico trata-se de um produto constituído por um miolo de papel kraft impregnado com resinas termoendurecíveis (por exemplo, resina fenol-formaldeído), que pode apresentar uma ou duas faces decorativas, constituídas por um papel decorativo e um overlay protetor, como pode ser observado na *Figura 4*.

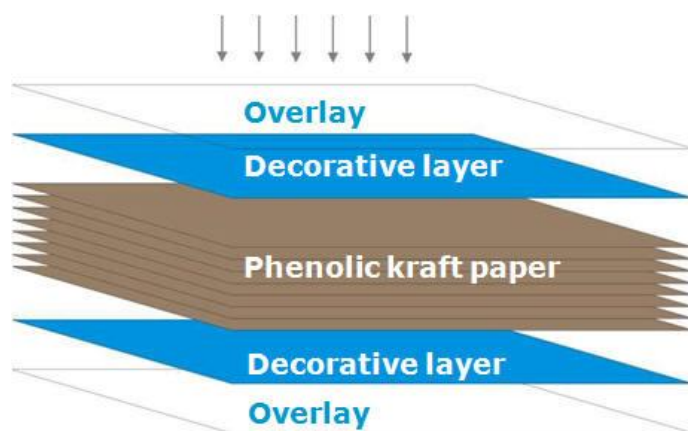


Figura 4 - Representação esquemática de um compacto fenólico (J. Pinto Leitão 2013).

É um produto geralmente utilizado tanto para soluções interiores como exteriores, nos setores de decoração, mobiliário ou construção, apresentando elevada resistência mecânica e impermeabilidade. Além destas características, outras podem ser potenciadas, como por exemplo resistência à chama, ao risco e a condições atmosféricas adversas. Denomina-se compacto por apresentarem uma espessura igual ou superior a 2 mm (*Figura 5*).



Figura 5 - Exemplo de compactos.

O processo de produção de compactos e laminados é então constituído por três etapas sucessivas: impregnação, prensagem e corte, lixagem e inspeção visual.

Na impregnação adiciona-se resina ao papel kraft, de forma a conferir-lhe as características adesivas necessárias para o processo de prensagem. Após este passo, o papel sofre uma secagem e corte. De seguida temos o processo de prensagem, que é efetuado em prensas semelhantes às da *Figura 6* (nível industrial), onde se insere a alimentação composta pelas folhas do compacto a produzir, que sofre então um processo de cura a pressões e temperaturas elevadas (que variam consoante os materiais usados e as aplicações a que estes se destinam). Por fim, cortam-se e lixam-se as placas, seguindo-se uma inspeção visual a defeitos ou manchas.



Figura 6 - Prensas existentes na SIR: Prensa 1 (esquerda) e Prensa 2 (direita).

Vários têm sido os estudos e desenvolvimentos envolvendo compactos, especialmente focados em alterações estruturais e em melhorias mecânicas. Alguns deles serão referenciados nos subcapítulos de interesse.

2.3. Papel Kraft

O papel kraft é fabricado a partir de uma mistura de fibras de celulose curtas e longas, provenientes de polpas de madeiras de resinosas ou folhosas (no caso de Portugal), tendo obtido esta designação devido a esse processo de transformação de

madeira em polpa de madeira, denominado processo Kraft. A lenhina é um material polifenólico amorfo, que é obtido a partir da copolimerização dos álcoois coniferílico, sinapílico e cumarílico. A diferença entre os pontos de origem da lenhina, resinosas ou folhosas, consiste na diferente polimerização dos três precursores mencionados, resultando em diferentes grupos funcionais presentes (Pinto 2005). Um baixo teor de lenhina é um fator importante uma vez que esta enfraquece as ligações entre a celulose, nas fibras, o que resulta em papel de baixa resistência. Além disso, o papel kraft tem tendência a oxidar, estando por isso na origem da coloração amarelada e estrutura quebradiça que este papel vai adquirindo com o passar do tempo (Adams 2012). Originalmente, o papel kraft apresenta uma cor acastanhada, e uma textura rugosa. A sua lixiviação é possível, com o objetivo de obter uma coloração mais clara; no entanto este processo enfraquece o papel, pelo que é desaconselhado.

O papel kraft constitui a base de um compacto/laminado, conferindo-lhe rigidez e espessura, estando estas propriedades dependentes do número de folhas utilizadas assim como da granulometria das mesmas.

Cavdar e colaboradores (Cavdar, Kalaycioglu e Hiziroglu 2008) apresentam um estudo extensivo às propriedades de OSB produzido com resinas fenólicas de lenhina, devido à sua grande vantagem de não libertar formaldeído. O esperado seria que a incorporação da lenhina melhorasse as propriedades de flexão do painel, o que foi sustentado pelos valores de MOR (do inglês, “*Modulus of Rigidity*”) e MOE (do inglês, “*Modulus of Elasticity*”) obtidos.

2.4. Borrachas

2.4.1. Borracha natural

A borracha natural (NR) é um elastómero originado da refinação do latex, uma dispersão coloidal produzida por algumas plantas e árvores. Possui elevada flexibilidade, elasticidade e é resistente à água. A sua principal aplicabilidade encontra-se no setor automóvel, com cerca de 75 % do consumo global atribuído à produção de pneus e 5 % a produtos mecânicos de automóveis. Para além deste setor, é utilizado em produtos mecânicos não-automóveis (10 %) e aplicações variadas no setor da medicina e saúde (10 %). (Rodgers e Waddell 2013)

A borracha natural pode ser dividida em três categorias, consoante as especificações procuradas (Rodgers e Waddell 2013):

- Borrachas tecnicamente especificadas (avaliação baseada em conteúdo de sujidade, cinzas, conteúdo volátil, azoto, plasticidade, índice de retenção de plasticidade, índice de cor e viscosidade de *Mooney*);
- Borrachas especificadas visualmente (a atribuição é efetuada a partir de inspeções visuais à borracha);
- Borrachas de especialidade (borrachas líquidas de baixo peso molecular, borrachas naturais desproteinizadas, borrachas naturais epoxizadas e de processamento superior, entre outras).

A sua forma purificada é semelhante ao poliisopreno (*cis*-1,4-poliisopreno), que pode ser sintetizado artificialmente, dando origem às borrachas sintéticas.

2.4.2. Borracha sintética

Nascidos da necessidade de borrachas sintéticas semelhantes à borracha natural, utilizando isopreno como matéria-prima, estes elastómeros são classificados e codificados de acordo com o método de produção e polímeros base utilizados. Por exemplo, a série IISRP 1500 é constituída por borrachas de butadieno-estireno (SBR) obtidas a partir de polimerização radicalar em emulsão a frio (temperaturas abaixo dos 10 °C).

As SBR representam 65 % de toda a borracha sintética utilizada em pneus, seguidas por borrachas de polibutadieno (BR). Este último possui várias características vantajosas, desde boa resistência à abrasão ao bom desempenho quanto ao desgaste no piso. Mezynski e Rodgers (Mezynski e Rodgers 1993) afirmam que, quando misturada com borracha natural, obtém-se melhorias na resistência à fadiga e à propagação de cortes.

Estes elastómeros podem também ser definidos consoante a sua macro e microestrutura, sendo que na primeira procura-se descrever o peso molecular, a distribuição de ligações cruzadas, as ramificações de cadeia e a formação de cristalites, enquanto que a segunda é constituída pela descrição dos arranjos dos monómeros dentro da cadeia polimérica (Rodgers e Waddell 2013).

Vários desenvolvimentos têm sido efetuados no sentido de introduzir borracha ou desperdícios de pneus no miolo de compactos baseados em madeira sob a forma de aglomerados, fibras ou lamelas. Ayrilmis e colaboradores (Ayrilmis, Buyuksari e Avci 2009) procuraram desenvolver placas de OSB a partir de um compósito de fibra de madeira de choupo e borracha de pneu, utilizando MDI (do inglês "*Methylene diphenyl isocyanate*") e resina MUF (do inglês "*Melanine-urea-formaldehyde*") como ligantes. O MDI apresentou melhores resultados do que a MUF, uma vez que esta última, por ser

uma resina polar e hidrofílica, não cria ligações fortes com plásticos. Por outro lado, a adição de borracha originou bons resultados a nível de propriedades mecânicas, mas apenas para pequenas percentagens (10 %) deste material. Também Jun e seus colaboradores (Jun, et al. 2008) apresenta um estudo de otimização das variáveis de processo na produção de compósitos funcionais de madeira-borracha reutilizada, usando novamente MDI ou uma mistura de ligantes como adesivo. Neste trabalho focaram-se em variáveis como densidade do material e temperatura e tempo de prensagem, concluindo que estes materiais conduzem a melhorias estruturais e mecânicas variadas, num dado ponto ótimo de funcionamento do processo. De um modo geral, poucos são os estudos encontrados na literatura que envolvam compactos fenólicos, pelo que não existem muitos termos de comparação para o trabalho que aqui se está a desenvolver.

Quanto ao granulado de borracha reciclada fornecido pela Biosafe, este é obtido através de um processo mecânico de reciclagem de pneus. Este processo é dividido em várias etapas, iniciando-se com a receção do pneu, seguido de duas triturações sucessivas, primária (redução 100×100 mm) e secundária (30×30 mm), utilizando “*shredders*”. Após isto, precede-se a uma separação magnética inicial, seguida de granulação e de uma segunda separação magnética. Por fim, dá-se a remoção de fibras, uma separação granulométrica e uma última separação magnética, de forma a retirar-se partículas de aço ou têxtil que não tenham sido separadas eficazmente. A calibração do granulado, controlo de qualidade (visual e granulométrico) e embalamento traduzem os passos finais deste processo (Marques 2005). Deste procedimento resultam partículas com diferentes tamanhos, que terão aplicações diferentes consoante a sua granulometria.

2.5. Poliuretanos (PU)

Uma vez que o material ligante utilizado para a encolagem da borracha é um pré-polímero de poliuretano, uma breve introdução a este tema torna-se necessária.

Com a sua primeira utilização datada nos fins de 1930, os poliuretanos compreendem não só adesivos cuja composição contém grupos poliuretano ou ligações uretano, mas também adesivos reativos cujo grupo uretano é formado durante o processo de endurecimento. Quanto à sua base, podem ser catalogados tanto como adesivos isentos de solventes como de base solvente. Assim, obtemos a seguinte classificação topológica (Clara, Santos e Bordado s.d.): espumas (flexíveis, semirrígidas e rígidas), elastómeros microcelulares e elastómeros sólidos (tintas, vernizes, colas e PU termoplásticos).

Os poliuretanos formam ligações com a maioria das superfícies, adquirindo assim uma elevada versatilidade face a matérias-primas, composição e processo de cura, razão pela qual são utilizados em diversas aplicações, e possuem melhor resistência a baixas temperaturas do que qualquer outro adesivo. Outras vantagens passam pela resistência à abrasão, rigidez e flexibilidade; no entanto possui também limitações, como a sensibilidade à humidade e a toxicidade dos isocianatos.

Um pré-polímero de poliuretano traduz-se por um intermediário que contém grupos isocianato livres, resultante da reação por reação gradual (*Figura 7*).



Figura 7 - Reação de formação do pré-polímero de poliuretano.

A utilização deste tipo de substância permite um maior controlo das várias reações realizadas, já que é um processo bastante empregue na produção de elastómeros, selantes, espumas, revestimentos, entre outros (G. B. Monteiro 2014).

O MDI é um diisocianato aromático (*Figura 8*) de cor amarelada, da família dos PUs, tóxico por ingestão, inalação ou absorção cutânea. É o diisocianato mais produzido do mundo, com um consumo mundial de 16 milhões de toneladas (dados de 2010, (Poliuretanos s.d.)) e trata-se do adesivo ideal a ser utilizado neste projeto, na sua conformação para-(4,4'-MDI), devido à elevada tolerância à humidade, tempos de cura curtos e ausência de libertação de gases nocivos.

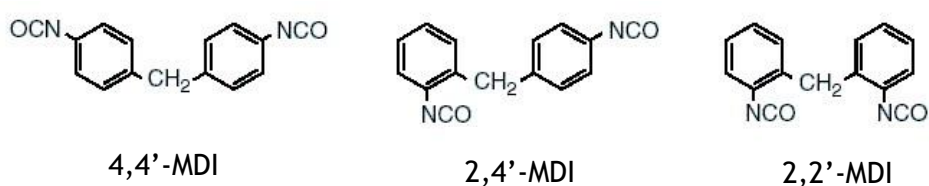


Figura 8 - Estrutura molecular do MDI nas diferentes conformações possíveis (Flexible Polyurethane Foam 2006).

2.6. Produtos e bibliografia relacionada

De forma a validar a necessidade deste tipo de produtos no mercado, procedeu-se a uma pesquisa extensiva na literatura, tanto a nível de patentes como de artigos científicos. Os resultados de tal pesquisa são escassos, ou não vão de encontro ao processo desenvolvido neste trabalho, estando os mais aproximados apresentados de seguida.

Na patente denominada “*Method for making a surface reinforced foam rubber board and foam rubber board obtained with this method*” (Lunardi 2010) procuram desenvolver um método de produção de compactos com espuma de borracha reforçados superficialmente. A espuma de borracha é constituída por uma combinação de poliamida (nylon) e materiais elastoméricos. Difere do produto aqui desenvolvido uma vez que utiliza um conjunto de polímeros e não borracha reciclada, que se apresenta como o cerne deste projeto.

Relativamente à patente “*Construction board and method of making same*” (Ernst 1951), esta diz respeito à produção de compactos cujo miolo é constituído por materiais fibrosos, entre eles madeiras e cortiças, ligados por uma matriz polimérica de policloropreno, estireno-butadieno ou latexes, e resorcina-formaldeído. Este método afasta-se do desenvolvido neste projeto devido aos componentes utilizados não corresponderem.

As patentes atrás mencionadas correspondem provavelmente aos conceitos mais aproximados do desenvolvido nesta dissertação.

A patente seguinte, “*Method of adhering fibers to rubber*” (Lessig e Headley 1943) explora várias metodologias para aumentar a adesão entre fibras de algodão e borracha vulcanizada, empregando a utilização de uma dispersão de resorcina-formaldeído-latex a elevadas temperaturas. Apesar de envolver alguns tópicos essenciais ao desenvolvimento do produto em estudo neste trabalho, como por exemplo as condições de encolagem e as resinas a utilizar, não possui o mesmo objetivo final.

A última patente encontrada, “*Rubberized fibrous sheet and method of making same*” (C. e L. 1955) tem como objetivo a produção de folhas de feltro de borracha com elevada força tênsil, grande compressibilidade, boa recuperação após remoção da carga e elevada resistência a solventes, com o menor inchamento possível quando exposto a humidade. As suas aplicações estão direcionadas para a indústria automóvel, aeronáutica e outras. Para tal utilizam uma mistura de minerais e borrachas na forma de latexes, que é depositada numa forma que sofre depois uma secagem a humidades baixas, de forma a poder efetuar-se a calandragem da folha. Assim, além de possuir um produto-alvo bastante diferente do pretendido aqui, tornam-se obvias as desigualdades de método. No entanto, esta seria uma alternativa viável para a produção do miolo de borracha, caso assim fosse desejado.

Relativamente a artigos científicos, foi possível confirmar a utilização de borracha para a produção de painéis, mas em produtos estruturalmente diferentes do que se pretende alcançar com este projeto.

Ayrilmis e colaboradores (Ayrilmis, Buyuksari e Avci 2009) estudaram a possibilidade de utilização de borracha de pneu reciclada na produção de placas de aglomerado de partículas, com percentagens de borracha até 30 %. Apenas para percentagens menores que 10 % foram obtidos bons resultados. Este conceito diferencia-se do proposto nesta dissertação uma vez que além de pretender produtos-alvo bastante diferentes dos compactos com miolo de borracha, apenas explora percentagens de borracha até 30 %, e não 100 %.

Também Silva e colaboradores (Silva, et al. 2012) estudou a utilização de borracha reciclada com resinas termorrígidas, mas exploram teores de resinas entre 10 e 50 %, monitorizando a influência de parâmetros como granulometria, adição de resina, entre outros. Novamente, além de envolverem baixos teores de borracha, utilizam um tipo de resina diferente do explorado neste trabalho.

Da mesma forma, Jun e colaboradores (Jun, et al. 2088) explora métodos de otimização da produção de compósitos madeira-borracha com resinas pMDI (do inglês “*para-Methylene Diphenyl Diisocyanate*” e UF (ureia-formaldeído), cujos parâmetros passem pelo tempo, temperatura de prensagem, resistência interna e módulos de elasticidade e rigidez, mas não apresenta resultados para teores de borracha superiores a 40 %.

Por fim, mas ainda dentro do tema anterior, Kakroodi e Sain (Kakroodi e Sain 2016) procuram incorporar borracha em compósitos orgânicos, como a lenhina, estudando o efeito desta na adesão e estabilidade da borracha. Assim, o objetivo principal é a obtenção de um compósito e não a produção de painéis.

3 Descrição Técnica

3.1 Materiais Utilizados

A cola *LORPUR 172R* da *LORCOL* foi testada como ligante das partículas de borracha. É um pré-polímero de poliuretano com coloração amarelada, resistente à água e de elevada aderência. Com um tempo aberto aproximado de 7 minutos, trata-se de um ligante que endurece em contacto com a humidade dos substratos (ficha técnica no *Anexo 1*). Esta cola é adequada para colagens de madeiras, laminados, MDF, assim como betões, espumas rígidas, cerâmicas, entre outros. É também indicada para uso exterior.

Vários foram os tipos de partículas de borracha reciclada utilizados, provenientes de diferentes fornecedores. Da Biosafe foram disponibilizados granulados com quatro granulometrias diferentes (0,0-0,4 mm, 0,4-2,5 mm, 2,5-4,0 mm, 4,0-7,0 mm, fichas técnicas nos *Anexos 2 a 5*), tendo todas elas sido testadas de forma a aferir qual a mais adequada.

O papel kraft seco (gramagem de 156 g.cm⁻²), impregnado e o papel decorativo, assim como outros materiais que foram sendo necessários ao longo do projeto, provieram da *SIR*.

3.2 Procedimentos

De forma a obter-se uma otimização constante do produto a desenvolver, o processo de produção foi melhorado por etapas, escolhendo-se uma propriedade em que focar o estudo, que serviu de base para a melhoria da propriedade seguinte. Assim, de uma forma geral as propriedades mais relevantes para este projeto seriam o número de folhas de papel kraft a utilizar e o teor de resina necessária para a encolagem do miolo, uma vez que o controlo destes parâmetros é vantajoso para a *SIR* como forma de redução de custos de produção, a granulometria das partículas utilizadas, fatores estes que podem ter impacto no preço da matéria-prima, a densidade ótima dos painéis produzidos, e por fim, a resistência mecânica do produto final, por forma a este ser adequado e compatível com as aplicações a que se destina.

Para a produção inicial dos painéis, foi utilizada a prensa do LEPABE (Figura 9), sob a orientação do Prof. Jorge Martins, utilizando o procedimento especificado de seguida. Esta prensa é controlada por computador e equipada com termopares, sensor de carga e LVDT (do inglês “*Linear Variable Displacement Transducer*”). O ciclo de prensagem é estabelecido tendo em conta que o controlo é feito por posição. Quanto à segunda parte do procedimento, a partir do ponto 7 do procedimento, utilizou-se a prensa da SIR, da C.M.R. *Costruzioni Meccaniche*, em conjunto com um painel de controlo, disponível no UPTEC, por promover um melhor acabamento do laminado. Esta prensa funciona com um controlo de pressão e possui arrefecimento.

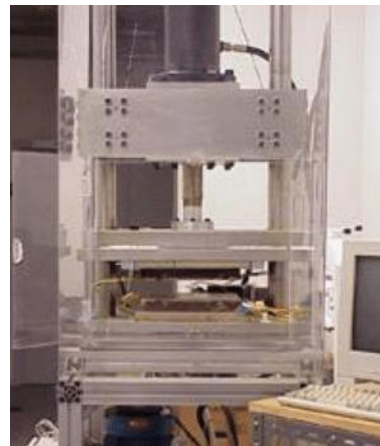


Figura 9 - Prensa utilizada no UPTEC, pertencente ao LEPABE.

1. Definição de características (espessura, por exemplo) e cálculo de quantidades de componentes (exemplo de cálculo no Anexo 6). Adicionalmente, corte do papel kraft e papel decorativo necessário;
2. Pesagem dos reagentes;
3. Encolagem da borracha com resina, por mistura manual dentro de um saco plástico;
4. Disposição das diferentes matérias-primas, de acordo com o esquema seguinte, nas formas utilizadas (Figura 10):



Figura 10 - Ordem de colocação das matérias-primas.

5. Prensagem a 140 °C durante 2 minutos, tempo necessário para formação do miolo da borracha-kraft seco. Para tal, utilizou-se um programa criado especialmente para este projeto, no qual se especifica a posição do prato móvel em função do tempo desde o início da prensagem; a posição constante atingida a dado ponto traduz-se pela espessura do painel a produzir;

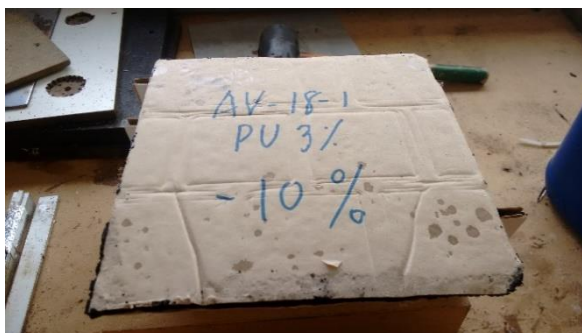


Figura 11 - Resultado da primeira prensagem.

6. Arrefecimento: de forma a reproduzir o procedimento utilizado na indústria, o arrefecimento ocorre durante um largo período de tempo, à temperatura ambiente;
7. Formação do laminado, com a adição das folhas de papel kraft e papel decorativo para formação dos laminados superficiais (*Figura 12*). Para este passo é utilizada a prensa da SIR (*Figura 13*), na qual se indica, através da interface, as dimensões dos painéis e as condições operatórias como temperatura, tempo de cura e pressão de trabalho (a qual converte em pressão efetiva nos pratos, sendo esta função da área do painel). De seguida coloca-se a montagem entre os pratos e inicia-se o programa.

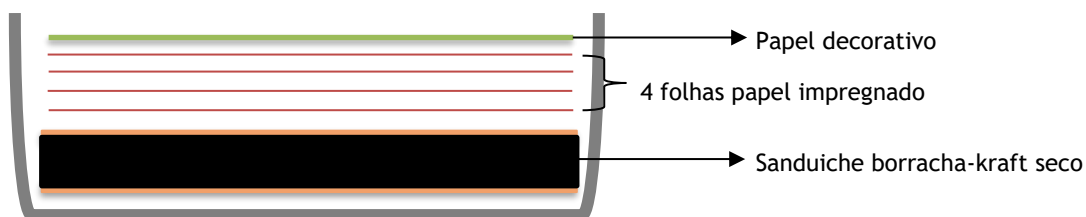


Figura 12 - Esquema da deposição do laminado, numa das faces.



Figura 13 - Prensa HPL pertencente à SIR.

8. Prensagem a 140 °C durante 5 minutos, de forma a ocorrer a cura das resinas presentes tanto no kraft impregnado como no papel decorativo;
9. Arrefecimento do compacto, à temperatura ambiente, ainda dentro da prensa, sob pressão;
10. Corte dos provetes: habitualmente realizado no Departamento de Engenharia de Madeiras, do Instituto Politécnico de Viseu, pelo Eng. João Pereira, sob a supervisão do Prof. Jorge Martins.



Figura 14 - Resultado da segunda prensagem.

3.3 Caracterização do produto

3.3.1 Teste de água em ebulição

Este teste avalia o aumento de massa e espessura dos provetes, bem como alterações na aparência da superfície, quando sujeitos a condições extremas de temperatura e humidade.

O procedimento aplicado passa por, conforme descrito na norma EN 438-2 (EN 438-2 2005):

1. Corte de quatro provetes de 5×5 cm do laminado (três para teste, um de referência);
2. Imersão dos três provetes num recipiente com água em ebulição durante 120 minutos;
3. Arrefecimento em água fria, durante 5 minutos;
4. Secagem dos provetes;
5. Repouso durante 24 horas;
6. Avaliação segundo os parâmetros definidos pela norma EN 438-2, de acordo com a seguinte escala: 1) Formação de bolhas ou delaminação; 2) Alterações acentuadas no brilho e/ou cor; 3) Alterações moderadas no brilho e/ou cor; 4) Alterações mínimas no brilho e/ou cor; 5) Sem alterações perceptíveis.

Uma vez que o trabalho em questão se prende com o desenvolvimento e optimização de produtos essencialmente estruturais, alterações no brilho e/ou cor apenas serão relevantes numa fase posterior do projeto. Assim foca-se a avaliação na observação de delaminação e/ou bolhas e no aumento de massa e espessura, uma vez que são indicadores diretos da eficiência da encolagem, da resina utilizada, e das condições de prensagem.

3.3.2 Resistência à abrasão

Este teste avalia a capacidade de uma superfície de laminado resistir a desgaste abrasivo, conforme descrito na norma EN 438-2. É efetuado num abrasímetro *Taber* (Figura 15), através do contacto entre a amostra e cilindros com superfícies abrasivas em rotação. O número de revoluções necessárias para causar determinados graus de abrasão é usado como medida de resistência à abrasão. O teste é efetuado de forma a obter um ponto inicial de desgaste (IP, correspondente ao primeiro ponto em que é possível observar o papel kraft) e um ponto final de desgaste (FP, correspondente ao ponto em que 95 % do papel kraft se encontra exposto). A cada um destes pontos está associado um número característico de revoluções, que será diferente para cada material em análise.



Figura 15 - Exemplo de equipamento utilizado para testes de resistência à abrasão. (Erichsen s.d.)

3.3.3 Microscopia Eletrônica de Varrimento (SEM)

A microscopia eletrônica de varrimento é um tipo de análise que nos permite obter imagens tridimensionais de alta resolução da superfície de uma amostra de interesse.

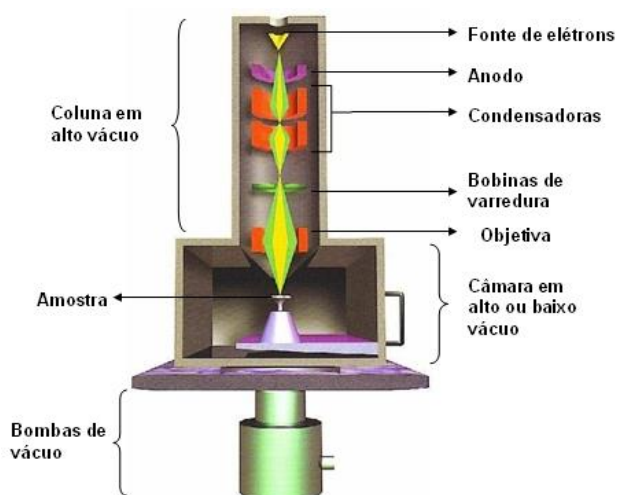


Figura 16 - Representação esquemática de um aparelho de SEM.

Através de um feixe de elétrons que interagem com os átomos presentes na amostra, excitando-os, diferentes sinais são produzidos e convertidos em informação sobre a topografia e composição da superfície em teste. Para este tipo de teste foi utilizado o equipamento *Phenom XL* da *Phenom-World* (Figura 17).

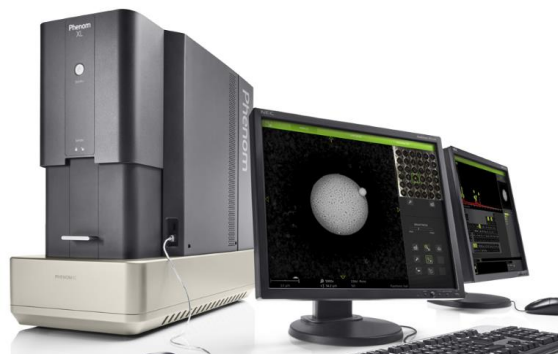


Figura 17 - Phenom XL.

De maneira a poderem ser analisadas, as amostras devem satisfazer um conjunto de condições: apresentar boa condutividade elétrica superficial, suportar vácuo, estabilidade física e química, entre outras. No caso de estas características não se verificarem, é então necessário um pré-tratamento, como por exemplo, a aplicação de um revestimento ultrafino de ouro de forma a melhorar a condutividade superficial (A. J. Monteiro 2005).

3.3.4 Resistência à tração perpendicular ao plano

Os ensaios de resistência à tração perpendicular ao plano, ou de “*internal bond strength*” (IB), têm como objetivo definir a adesão interna (ou “*internal bond*”) de um provete, conforme as especificações da norma NP EN 319. Os provetes a testar devem apresentar uma forma quadrada com dimensões de 50 ± 1 mm de aresta, cujos ângulos devem ser de 90° , com bordos direitos e limpos.

Para este ensaio, os provetes são colados a suportes metálicos, paralelamente, com uma cola termofusível, como se observa na Figura 18. Para tal, as placas metálicas sofrem um aquecimento, por forma a fundir o adesivo utilizado, sobrepondo-se de seguida os provetes. Por último, o conjunto é deixado arrefecer de forma a proceder-se ao endurecimento da cola. (Campos e Lahr 2004)

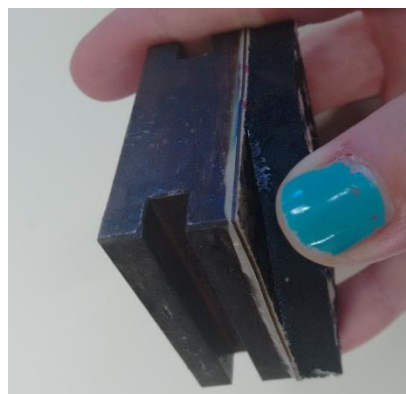


Figura 18- Detalhe da interface provete-superfície metálica.

Após montagem, os provetes são colocados num equipamento de ensaio universal, *Tinius Olsen H50KT*, e o ensaio inicia-se por aplicação de uma força de tração perpendicular às superfícies do provete por intermédio de uma garra, como se observa na Figura 19, capaz de medir a força aplicada.

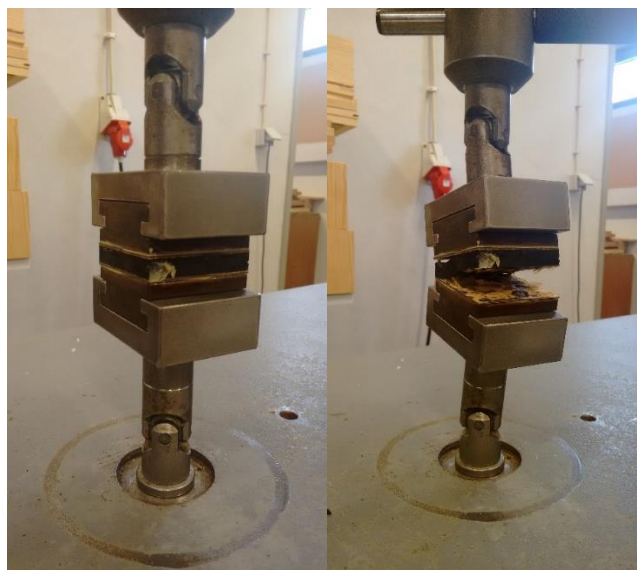


Figura 19 - Detalhe do ensaio: numa fase inicial (esquerda) e no final (direita).

A determinação da resistência máxima consiste em submeter as amostras a uma tração até rutura a uma velocidade constante, e é calculada utilizando a *Equação 1*:

Equação 1:

$$f_{t\perp} = \frac{F_{max}}{a \times b}$$

sendo $f_{t\perp}$ a resistência à tração perpendicular em N.mm^{-2} , F_{max} a carga de rutura em Newton e a e b a largura e a espessura da secção reta do provete, respetivamente, do corpo-de-prova, em milímetros.

4 Resultados e Discussão

4.1 Afinação das variáveis do processo

Numa fase inicial do trabalho, optou-se por produzir os compactos em duas etapas: uma primeira, onde o miolo de borracha seria produzido, por prensagem de dois minutos de uma “sanduiche” de partículas de borracha entre duas folhas de papel kraft seco, como exemplificado na *Figura 10* da secção anterior, e uma segunda, com a duração de cinco minutos, onde se prensaria o laminado nas superfícies do painel anterior, resultando no compacto final (ver *Figura 12*). Adicionalmente produziram-se alguns painéis num só passo, como ilustra a *Figura 20*, **sem papel kraft seco**, de forma a compararem-se resultados.

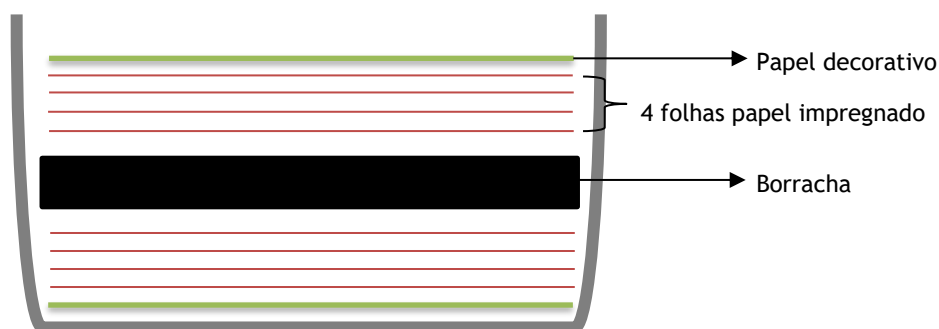


Figura 20 - Montagem para produção do compacto numa só fase.

Decidiu-se também utilizar a borracha de granulometria mais fina, 0,0-0,8 mm, para os testes iniciais, já que pretendíamos apenas realizar ensaios de forma a perceber o comportamento geral da borracha no processo de prensagem. Foi utilizada esta granulometria uma vez que, ao ter uma área superficial superior, assumiu-se que conduziria a melhores adesões na encolagem e porosidades menores após prensagem, potenciando os resultados preliminares.

4.1.1 Número de folhas de kraft

Numa primeira fase do projeto, procurou-se estudar o número de folhas de papel kraft, tanto seco como impregnado, a utilizar na sanduiche de forma a obter um produto com propriedades otimizadas. Após a prensagem do miolo, o poliuretano que liga as partículas de borracha já se encontra curado. Por outro lado, a resina fenólica do papel kraft impregnado não permite adesão à borracha. Assim, a utilização do kraft seco na sanduiche deve-se à necessidade de criar uma superfície de ligação, onde tanto a resina de poliuretano da borracha como a resina fenólica dos constituintes impregnados possam ancorar-se. Se este não estivesse presente, e a necessidade de realizar o processo em duas fases se mantivesse, seria necessária uma aplicação de

resina na superfície do painel de borracha de forma a colar este ao laminado. Na *Tabela 1* observa-se a constituição dos diferentes ensaios efetuados.

Tabela 1 - Constituição dos laminados produzidos.

ID Provete	Constituição
AV-011	Sanduiche de kraft seco + Duas folhas de papel impregnado, uma de decorativo
AV-012	Sanduiche de kraft seco + Três folhas de papel impregnado, uma de decorativo
AV-013	Sanduiche de kraft seco + Cinco folhas de papel impregnado, uma de decorativo
AV-014	Sanduiche sem kraft seco + Três folhas de papel kraft impregnado, uma de decorativo
AV-015	Sanduiche de kraft seco + Quatro folhas de papel impregnado, uma de decorativo

De um modo geral todos os ensaios resultaram em painéis robustos, com uma resistência mecânica apreciável, sendo que o painel com duas folhas de kraft impregnado se apresenta mais flexível do que desejável, e que todos os painéis com mais de duas folhas de kraft impregnado resultaram em produtos bastante rígidos.

De forma a auxiliar na avaliação da composição mais vantajosa, realizaram-se testes de água em ebulição. Estes foram efetuados às amostras AV-011 a AV-014, utilizando o procedimento já apresentado, com uma alteração: além de se retirarem os provetes para pesagem e medição a cada hora, adicionaram-se duas horas extra ao teste, ficando este com a duração de quatro horas. Este procedimento foi adotado para a maioria dos testes de água em ebulição ao longo deste projeto. Assim, foi possível obter um perfil temporal do comportamento do material face a estas condições extremas. A *Figura 21* representa a variação de massa ao longo do tempo de teste, enquanto que a *Figura 22* representa a variação da espessura ao longo do tempo.

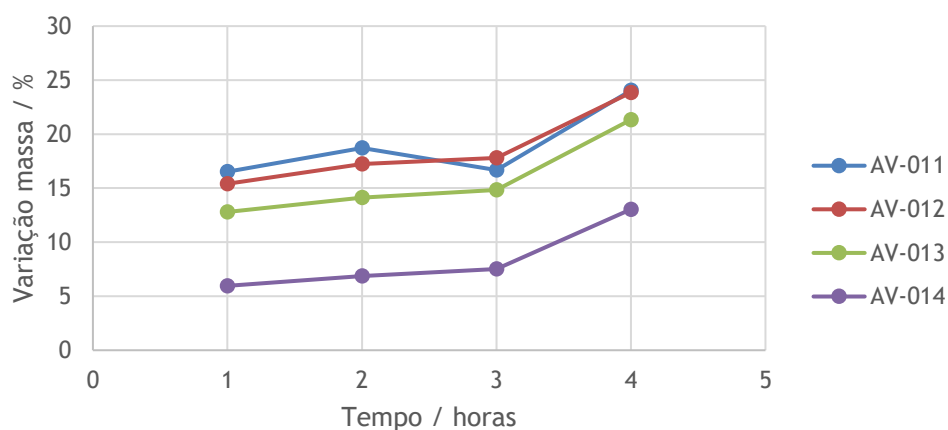


Figura 21 - Massa de água absorvida ao longo do tempo de imersão em água em ebulição.

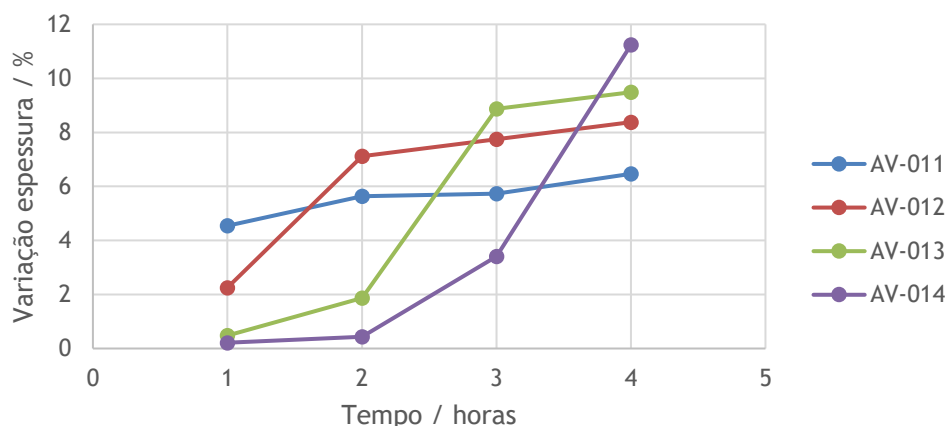


Figura 22 - Variação da espessura dos provetes ao longo do tempo de imersão em água em ebulição.

Em relação às figuras, podemos observar que para os ensaios com duas e três folhas de kraft impregnado (AV-011 e AV-012 respetivamente), a variação de massa e espessura foi bastante semelhante (exceto num ponto da variação de espessura, para o AV-012, que pode ser tido como erro de medição), observando-se, no entanto, um distanciamento significativo na massa para o ensaio AV-013, com uma variação de espessura elevada, correspondente a cinco folhas de kraft impregnado. Este resultado pode dever-se ao facto de um número de folhas superior conduzir não só a uma maior compressão da borracha, o que limita os espaços disponíveis para a água se alojar, mas também a um teor de resina fenólica maior, que poderá impregnar a folha de kraft seco ao fluir durante a prensagem, diminuindo assim a sua capacidade de absorção de água. Pois como podemos observar pela linha correspondente ao ensaio AV-014, na Figura 21, a ausência de kraft seco diminui significativamente a absorção de água, já que este é o componente mais sensível à água. No entanto, e contrário ao esperado, observa-se na Figura 22 um aumento exponencial de espessura para este mesmo provete, o que pode ser explicado pela ligeira delaminação que foi sofrendo ao longo do teste. Ainda assim, estes resultados suportariam a utilização duma variante desta configuração, mais vantajosa para este projeto: “sanduiche” de borracha com papel impregnado em vez de seco, produzido numa só prensagem. No entanto, como já foi referido, foi decidido que o processo iria ocorrer em duas fases, pois a linha de montagem da SIR, na Maia, apenas está preparada para lidar com folhas sólidas e não com granulados de borracha soltos.

A escala fornecida pela norma para o teste de água em ebulição não foi utilizada uma vez que o estudo da alteração da aparência superficial das amostras não era o objetivo primordial do mesmo, mas sim a sua resistência mecânica a um ambiente extremo. A Tabela 2 resume os resultados obtidos para cada ensaio.

Tabela 2 - Resultados do teste de água em ebulição para cada um dos ensaios.

ID Provete	Resultados
AV-011	Delaminação generalizada pela interface kraft impregnado-seco
AV-012	Delaminação moderada nos vértices
AV-013	Delaminação mínima nos vértices
AV-014	Delaminação ligeira pelo kraft

É importante referir que estes resultados podem também ter sido negativamente influenciados por uma re-prensagem dos painéis, devido a terem sido prensados durante pouco tempo da primeira vez. Assim, a prensagem pode não ter sido 100 % eficiente, o que é comprovado pela delaminação observada durante o teste de água em ebulição (*Figura 23*).



Figura 23 - Diferentes graus de delaminação resultantes do teste de água em ebulição, para os provetes AV-013, AV-012 e AV-014 (da esquerda para a direita).

Após reflexão com base nos resultados obtidos, definiu-se que o número ideal de folhas de papel kraft a ser utilizado no compacto seriam quatro folhas de kraft impregnado, uma vez que tanto com três como com cinco obteve-se uma resistência mecânica boa, optando-se por um valor intermédio já que um dos objetivos é minimizar a quantidade de papel kraft utilizado.

4.1.2 Teor de resina

Com o número de folhas de kraft definido, seguiu-se para o estudo do teor de resina ideal a utilizar, pois este parâmetro representa uma possibilidade de diminuição dos custos de produção. Neste sentido, foram efetuados vários ensaios com diferentes teores de resina.

A cola *LORPUR 1728R* foi a primeira e única a ser utilizada, já que estava disponível no laboratório, e de um modo geral apresentou resultados positivos, uma vez que a encolagem conseguida foi bastante boa (para a granulometria com diâmetros inferiores a 0.8 mm) e que os painéis produzidos se apresentaram resistentes e coesos. A desvantagem associada a este material prendeu-se com o facto de possuir um tempo

aberto de apenas 7 minutos (ficha técnica em Anexo), o que se revelou um obstáculo a uma encolagem mais eficiente, e ditou o ritmo de todo o processo de prensagem.

Na *Tabela 3* encontra-se a descrição dos vários painéis produzidos.

Tabela 3 - Estudo do teor de resina para a borracha BioRG 0,0-0,8 mm.

ID Provete	Constituição	Teor de resina / %
AV-015-1	Sanduiche com kraft impregnado + Quatro folhas de kraft impregnado, uma de decorativo	5
AV-015-2		
AV-015-3	Sanduiche com kraft seco + Quatro folhas de kraft impregnado, uma de decorativo	4
AV-015-4		3
AV-015-5		2
AV-016-1		1

Adicionalmente, realizou-se o mesmo ensaio, mas para a borracha de granulometria 0,8-2,5 mm. Procedendo-se da mesma forma, produziram-se os painéis descritos na *Tabela 4*.

Tabela 4 - Estudo do teor de resina para borracha BiRG 0,8-2.5 mm.

ID Provete	Composição	Teor de resina / %
AV-016-2	Sanduiche com kraft seco +	5
AV-016-6		4
AV-016-5	Quatro folhas de kraft impregnado, uma de decorativo	3
AV-016-7		2
AV-016-8		1

Procedeu-se à realização de testes de água em ebulição a todos os provetes, tal como anteriormente, de forma a aferir qual a configuração mais resistente e vantajosa. Os gráficos correspondentes à granulometria de 0,8-2,5 mm encontram-se no Anexo 7.

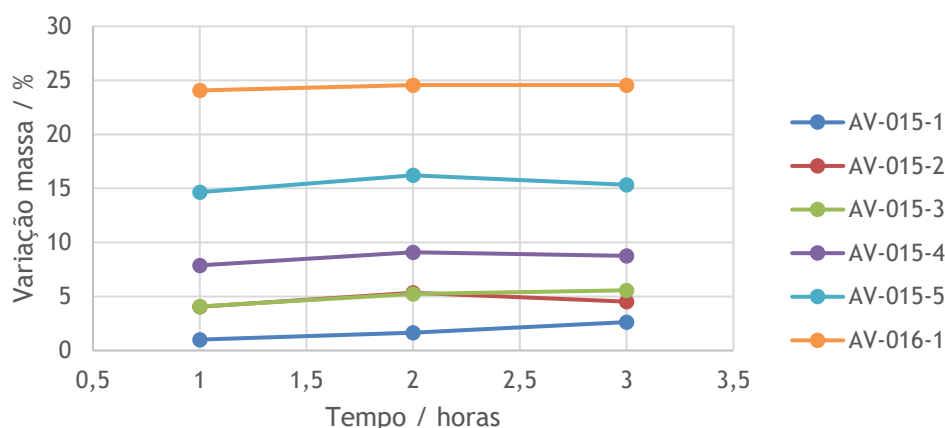


Figura 24 - Massa de água absorvida ao longo do tempo de imersão em água em ebulição, para provetes com diferentes teores de resina.

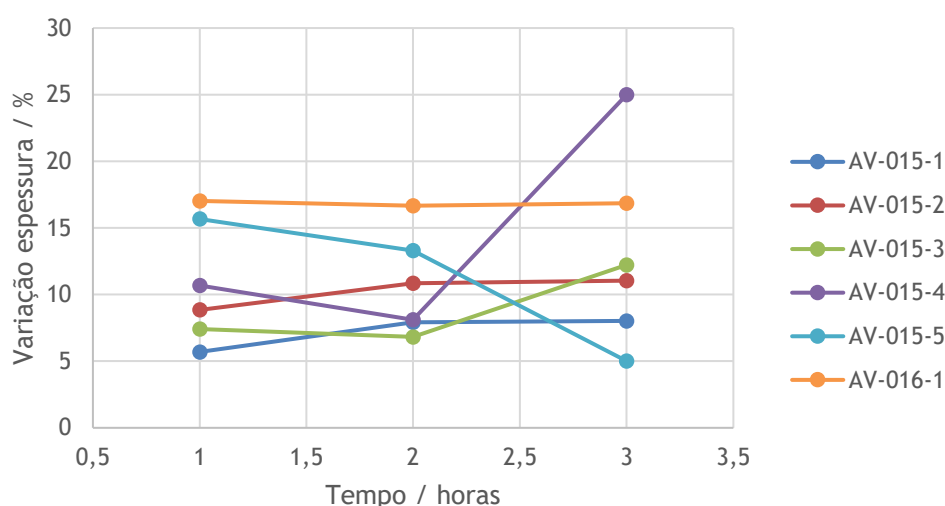


Figura 25 - Variação da espessura dos provetes ao longo do tempo de imersão em água em ebulição, para provetes com diferentes teores de resina.

Como podemos observar pelas Figuras 24 e 25, à medida que o teor de resina do painel diminui, a sua capacidade de absorver água aumenta, o que se traduz por um aumento da massa e da espessura dos provetes. Este comportamento pode ser justificado pelo facto de um menor teor de resina conduzir à existência de menos pontos de contacto entre partículas, ou seja, a um maior número de espaços vazios entre os grânulos, resultando em placas mais porosas. Um maior número e tamanho de poros permite que uma maior quantidade de água se aloje nos interstícios.

Assim, podemos ver que para os ensaios a 5 % de resina, o ensaio sem papel kraft seco (AV-015-1) apresentou melhores resultados do que o ensaio com kraft seco (AV-015-2), pelas razões já enunciadas acima. Comparando ambas com o ensaio a 4 % (AV-015-3) podemos concluir que, em termos de absorção de água durante o teste

efetuado, este se comporta de forma semelhante ao 2 (estando inclusivamente os seus pontos sobrepostos), enquanto que em relativamente à variação de espessura, apresenta variações menores que este. Quanto ao provete AV-015-4, correspondente a 3 % de resina, podemos observar que apresenta variações de massa abaixo dos 10 % (os resultados para a variação de espessura apresentam um ponto afastado que pode ter surgido devido a erros de leitura, pelo que se descartou a análise deste gráfico). Os restantes provetes apresentam resultados bastante desviados dos obtidos para os quatro primeiros, com massas de água absorvida entre os 15 e os 25 % e variações de espessura superiores a 15 %.

Adicionalmente, os provetes AV-015-1 a AV-016-1 foram enviados para o IPV de forma a serem realizados não só testes de resistência à tração perpendicular ao plano (IB), mas também medições da massa volúmica (MV). Na *Tabela 5* observam-se os valores obtidos: foram não só testados provetes que tinham passado pelo teste de água em ebulição, mas também provetes que não passaram por este teste (a sombreado).

Tabela 5 - Resultados obtidos para os provetes AV-015.

ID Provete	Teor de resina / %	MV / kg.m ⁻³	IB / N.mm ⁻²
AV-015-1	5	1199	0,79
		1220	1,05
		1221	1,49
AV-015-2	5	1173	0,25
		1230	1,03
		1180	0,26
AV-015-3	4	1165	0,14
		1227	0,49
		1231	0,34
AV-015-4	3	1172	0,31
		1072	0,25
		1196	0,33
AV-015-5	2	1182	0,33
		1172	0,26
		1143	0,20

AV-016-1	1	993	0,13
		1060	0,12
		1037	0,19

De um modo geral pode ser observado que os valores de IB diminuem consoante a diminuição de resina na placa, o que seria de esperar, pois menores teores de resina conduzem a menos ligações entre as partículas de borracha. Dentro da mesma placa, podemos observar que a variabilidade dos resultados obtidos se encontra dentro do razoável, sendo que as diferenças observadas poderão ser justificadas por uma prensagem e/ou encolagem não uniforme, pelo que os provetes com valores de IB superiores poderiam encontrar-se numa zona da placa com maior teor de resina ou na zona mais central da placa.

Como podemos observar pela *Figura 26*, e como era esperado, a rutura dá-se preferencialmente pelo papel kraft seco, já que se trata do componente mais frágil do sistema. No caso da prensagem do laminado não ser ótima, ou de existirem problemas de fluxo da resina fenólica, obtemos uma rutura exatamente pelo kraft seco, isto é, existirá kraft seco em ambas as peças (*Figura 26 c*)), e um valor de IB baixo. No outro extremo encontramos a situação em que todo o kraft seco foi impregnado pela resina fenólica proveniente do papel kraft impregnado, e por essa razão é pela interface borracha-kraft seco/laminado que se observa a rutura, registando-se valores de IB superiores pois deixa de existir o local de maior fragilidade no sistema.



Figura 26 - Diferentes tipos de rutura observados após testes de IB, nos provetes: a) AV-021-4, b) AV-015-1 e c) AV-015-3 (da esquerda para a direita).

De forma a prosseguir-se com o estudo dos parâmetros, decidiu-se restringir os de teores de resina a 3 e 4 %. De forma a ter uma referência, procedeu-se à comparação dos resultados de IB obtidos com valores conhecidos para placas de aglomerados de partículas (AP) para fins não estruturais e ambiente húmido (tipo P3 de acordo com a

norma EN 312). Na tabela seguinte encontram-se os valores de IB para os teores de resina de 3 e 4 % e uma placa de aglomerado de partículas típica com a mesma espessura, para o caso de provetes não sujeitos ao teste de água em ebulição (319 s.d.).

Tabela 6 - Comparação das propriedades mecânicas entre os provetes testados e a bibliografia relativa a aglomerados de partículas.

ID Provete	Espessura / mm	IB / N.mm ⁻²
AV-015-3	5	1,49
AV-015-4	5	0,33
AP	4 - 6	0,50

De acordo com a *Tabela 6*, os provetes selecionados apresentam valores de IB superiores ou relativamente próximos dos valores típicos para AP, conclusões estas que justificam a sua utilização nos estudos seguintes.

Podemos ainda concluir que o teste de 4 horas em água em ebulição não prejudica a resistência mecânica dos provetes, o que se deve à elevada estabilidade da cola de poliuretano e da resina fenólica perante as condições extremas desse teste.

4.1.3 Granulometria

O estudo da granulometria ideal só foi efetuado num ponto mais avançado do trabalho, uma vez que se colocou a hipótese duma granulometria inferior conduzir a melhores adesões entre partículas, devido à maior área superficial disponível. Assim, o estudo deste parâmetro passou apenas pela consolidação desta hipótese.

Na *Tabela 7* podemos observar a composição dos ensaios efetuados.

Tabela 7 - Composição dos ensaios para estudo da influência da granulometria.

ID Provete	Granulometria / mm	Teor de resina / %
AV-016-6	0,8-2,5	4
AV-016-5	0,8-2,5	3
AV-017-1	2,5-4,0	4
AV-017-2	2,5-4,0	3
AV-017-3	4,0-7,0	4

A produção dos painéis AV-017 apresentaram alguns obstáculos, uma vez que para granulometrias elevadas, a encolagem deixa de ser tão eficiente, a resina não fica uniformemente dispersa pelas partículas, e uma quantidade significativa de material

fica colado às paredes do saco, devido ao seu tamanho. Além disso, após prensagem observa-se que os painéis não ficam uniformes (“lisos”), pois as partículas utilizadas possuem arestas mais pronunciadas (observável na *Figura 27*), o que resulta em sulcos na superfície da sanduiche. Consequentemente, ao produzir-se o laminado sobre o miolo de borracha, não se obtêm os resultados esperados, pois deixam de existir tantos pontos de contacto entre a superfície do kraft seco e a do kraft impregnado, resultando em espaços livres nesta interface, o que impacta negativamente o resultado final. Pelas razões já expostas optou-se por não se prensar o laminado nas faces do painel AV-017-3, daí este não ser mencionado nos resultados seguintes.



Figura 27 - Partículas de granulometria superior: 2,5-4,0 mm (esquerda) e 4,0-7,0 mm (direita).

Após a prensagem, realizaram-se novamente testes de água em ebulição, estando os resultados obtidos descritos de seguida.

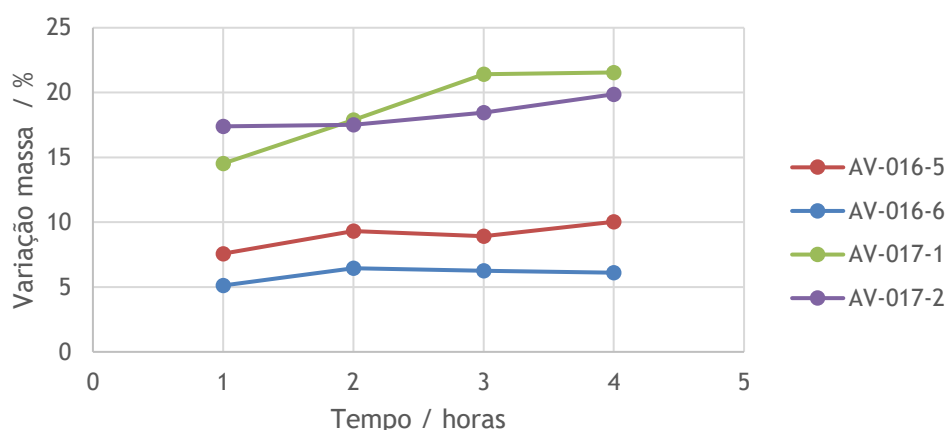


Figura 28 - Massa de água absorvida ao longo do tempo de imersão em água em ebulição, para provetes com diferentes granulometrias e teores de resina.

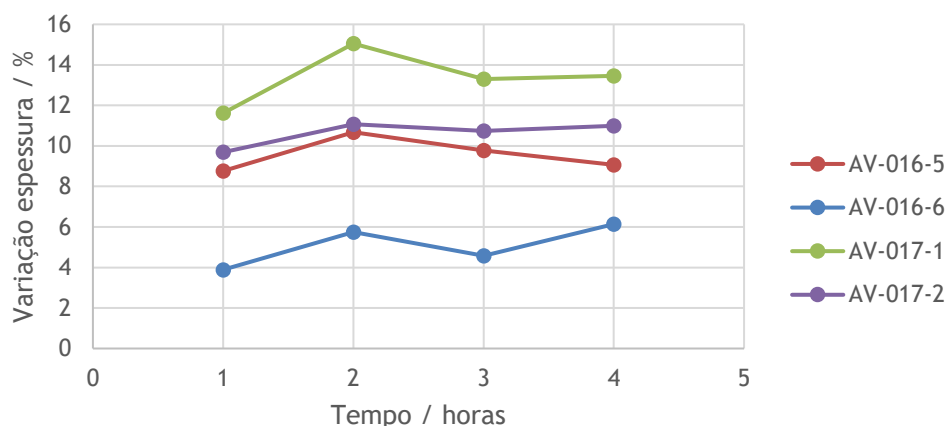


Figura 29 - Variação de espessura dos provetes ao longo do tempo de imersão em água em ebulição, para provetes com diferentes granulometrias e teores de resina.

De uma forma geral, as conclusões retiradas com o estudo deste parâmetro são em tudo semelhantes às obtidas através dos estudos anteriores: partículas de granulometria superior conduzem a poros maiores, já que possuem menos pontos de contacto entre elas, e a eficiência da compactação do painel é influenciada. Este aumento de porosidade leva a um aumento na absorção de água devido à existência de mais e maiores interstícios. Isto pode também resultar do facto de esta ter um acesso mais facilitado ao kraft seco, devido à porosidade do painel. A borracha em si é hidrofóbica, no entanto o kraft seco é bastante recetivo à absorção de água. Por fim, e em concordância com o estudo do parâmetro anterior, podemos observar que a diminuição de resina provoca um aumento de massa e espessura dos provetes, já que promove uma colagem ineficiente das partículas, contribuindo para o aumento de porosidade já mencionado.

Assim, através dos resultados obtidos, podemos aferir que tanto a granulometria de 0,0-0,8 mm como a de 0,8-2,5 mm seriam as mais indicadas para o projeto, uma vez que apresentam resultados bastante semelhantes. No entanto, optou-se por prosseguir com a granulometria mais pequena uma vez que para a entidade fornecedora, a Biosafe, esta apresenta uma disponibilidade muito superior do que a alternativa, que se trata de um produto mais procurado, estando por isso menos disponível. Adicionalmente, decidiu-se continuar a utilização de teores de resina de 3 e 4 %, por não terem sido ainda reunidos dados suficientes para decidir qual o teor de resina adequado.

4.1.4 Massa volúmica

O próximo parâmetro estudo foi a densidade dos painéis a produzir. O produto final idealmente deverá possuir a maior compactação possível sem que desta resulte o

fluxo da matéria do miolo ou a rutura do laminado. Caso a força exercida durante a prensagem seja excessiva, resultam painéis danificados como mostra a *Figura 30*.

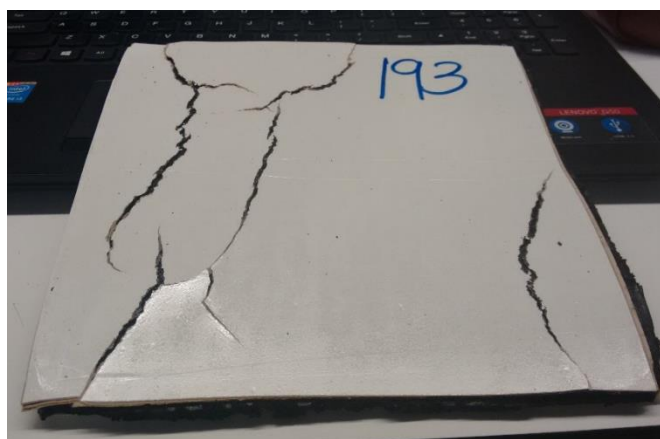


Figura 30 - Resultado de excesso de pressão durante a prensagem.

Para tal estudo realizaram-se os ensaios apresentados na *Tabela 8*. As variações na massa de borracha usada são referentes ao valor usado nos ensaios anteriores.

Tabela 8 - Ensaios para o estudo da densidade ótima.

ID Provete	Variação da massa de borracha / %	Teor de Resina / %
AV-018-1	-10	3
AV-018-2	-15	
AV-018-3	-20	
AV-018-4	-10	4
AV-018-5	-15	
AV-018-6	-20	
AV-021-1	+5	4
AV-021-2	+10	
AV-021-3	+15	
AV-021-4	+20	

De forma a tornar este estudo o mais fiável possível, relativamente ao processo industrial e às condições de armazenagem das folhas, os miolos de borracha de cada um dos ensaios foram prensados num dia, e apenas uma semana e meia depois se procedeu à prensagem dos laminados sobre a face da sanduiche.

Assim, obtiveram-se então painéis com as propriedades descritas na *Tabela 9*.

Tabela 9 - Propriedades médias dos provetes obtidos em cada ensaio realizado.

ID Proвете	$\bar{m}_{\text{Proвете}} / \text{g}$	$\bar{V} / \text{cm}^3$	$\bar{\rho} / \text{kg.m}^{-3}$
AV-018-1	20,0	18,9	1060
AV-018-2	18,3	18,0	1020
AV-018-3	16,4	16,8	978
AV-018-4	18,6	17,0	1100
AV-018-5	19,1	17,6	1080
AV-018-6	21,2	20,4	1030
AV-021-1	22,2	18,4	1210
AV-021-2	22,7	19,3	1180
AV-021-3	23,7	20,9	1130
AV-021-4	24,4	20,2	1210

Efetuararam-se testes de água em ebulição aos provetes obtidos, e após 4 horas de teste, os resultados observados são os presentes nas figuras seguintes. Apenas estão representados cinco dos provetes, aqueles com melhores resultados, pois com os dez provetes o gráfico tornava-se bastante complicado de entender. De qualquer das formas, encontram-se no Anexo 8 os gráficos completos (*Figuras 43 e 44*).

Observa-se na *Tabela 9* que os ensaios com 3 % de resina (AV-018-1 a 3) apresentam densidades menores do que os ensaios com 4 % (AV-018-4 a 6 e AV-021-1 a 4), sendo que estes últimos se comportaram melhor ao longo do teste de água em ebulição, com variações de massa menores e mais uniformes. Esta diferença de densidade deve-se ao facto de, no sistema resina-borracha, a primeira ser o componente mais denso. Assim, ao utilizarmos um teor de resina superior, estamos a aumentar a densidade do produto. Uma vez que o ideal é obter-se a maior densidade possível, já que esta se traduz num maior nível de compactação, estes resultados conduzem à conclusão de que o teor de resina a ser utilizado deverá ser de 4 %. Dentro dos ensaios com este valor de resina, podemos concluir que a maior compactação foi obtida para os ensaios AV-021-1 e AV-021-4, resultando em massas volúmicas superiores às restantes (1,21 g.cm⁻³ para ambos).

Na *Figura 31* observa-se a variação de massa para os provetes que melhor se comportaram durante o teste em questão, sendo que dentro destes o provete AV-021-1 trata-se do que apresenta menor variação. Assim, podemos retirar que o ideal será utilizar esta formulação (adição de 5 % mais borracha, relativamente ao volume da forma) no produto final, já que acima deste valor os painéis passam a apresentar

variações mais elevadas de massa, e no caso da variação da espessura (*Figura 44*), tornam-se nos provetes com pior comportamento face à água em ebulição. Os dados da *Figura 32*, relativos ao aumento de espessura dos provetes ao longo do teste, suportam a hipótese mencionada, já que o provete AV-021-1 continua a apresentar valores inferiores de variação, com resultados mais uniformes que os restantes. Tal hipótese pode ser justificada pelo facto de, ao mantermos o teor de resina, e aumentarmos a massa de borracha a encolar, estarmos a conduzir a uma encolagem pior, pois a quantidade de resina utilizada deixa de ser suficiente para eficazmente ligar todas as partículas de material. Consequentemente poderemos obter painéis menos resistentes e mais porosos, ou seja, mais suscetíveis à humidade.

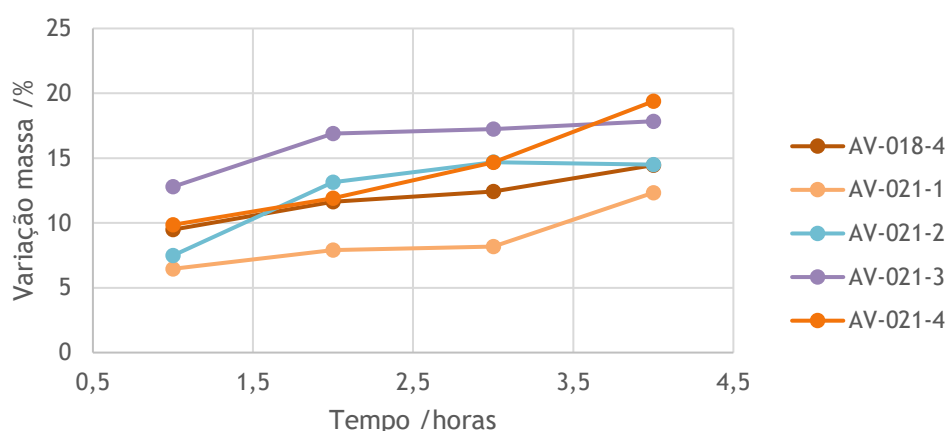


Figura 31 - Massa de água absorvida ao longo do tempo de imersão em água em ebulição, para provetes com diferentes densidades.

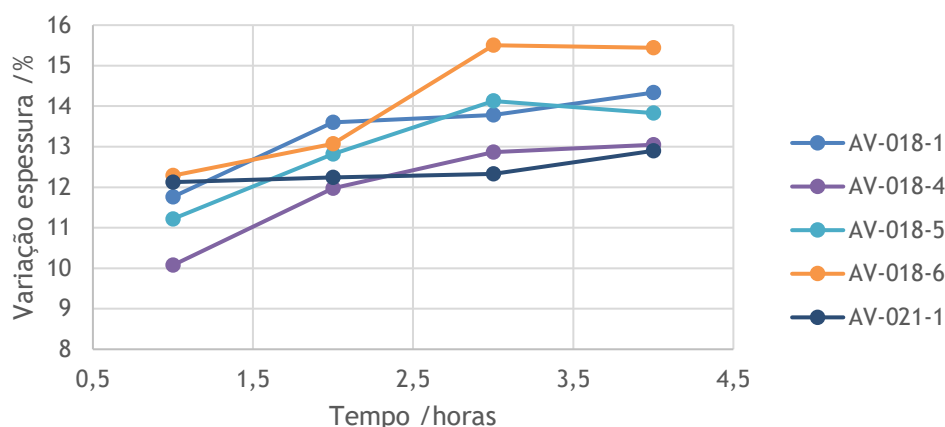


Figura 32 - Variação da espessura dos provetes ao longo do tempo de imersão em água em ebulição, para provetes com diferentes densidades.

De seguida, efetuaram-se testes de IB, estando os resultados obtidos representados na *Tabela 10*.

Tabela 10 - Resultados IB para os provetes AV-021.

ID Provete	MV / kg.m ⁻³	IB / N.mm ⁻²
AV-021-1	1205	0,29
AV-021-2	1160	0,21
AV-021-3	1209	0,21
AV-021-4	1243	0,32

O provete AV-021-4 é o que apresenta o valor de IB mais alto, mas este valor não se afasta muito do obtido para AV-021-1, pelo que, ao ter em conta os resultados do teste de água em ebulição já analisados, conclui-se que o método ideal será o utilizado para a produção de painéis com as propriedades obtidas no provete AV-021-1.

As hipóteses mencionadas são suportadas pela análise de SEM efetuada a uma porção do provete escolhido. Na *Figura 33* podemos observar a porosidade referida, sendo que em *a)* é visível uma massa mais homogénea e uma pequena interface (fenda) entre as partículas, o que indica uma zona em que a encolagem foi melhor, enquanto que em *b)* observa-se perfeitamente a separação entre partículas, que poderá advir de uma pior encolagem ou de uma quantidade insuficiente de resina, além de que as partículas observadas apresentam-se menores e mais angulosas, relativamente a *a)*.

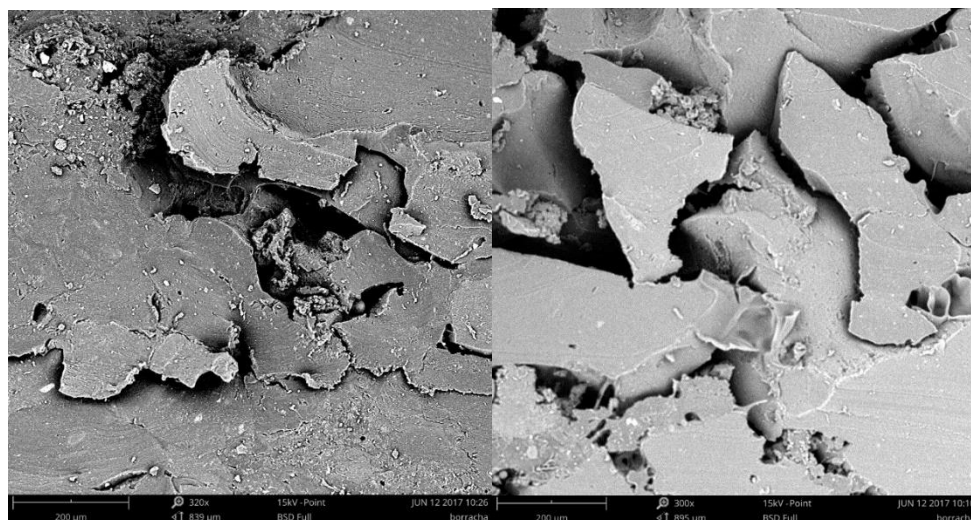


Figura 33 - Imagens de SEM para placas de borracha, a 300×, a) (esquerda), b) (direita).

Assim, opta-se por reproduzir as propriedades do painel AV-021-1, dando-se assim por terminada a otimização do core para a espessura de 5 mm. Na *Tabela 11* resumem-se os parâmetros estudados, as conclusões retiradas e as condições de operação associadas à produção do produto final.

Tabela 11 - Resumo dos parâmetros otimizados para a espessura de 5 mm.

Parâmetro		Conclusões
Espessura		5 mm
Nº folhas kraft seco		1 por face
Nº folhas kraft impregnado		4 por face
Teor de resina		4 %
Granulometria		0,0-0,8 mm
1ª prensagem	Pressão	20 bar
	Temperatura	140 °C
	Tempo	120 segundos
2ª prensagem	Pressão	25 bar
	Temperatura	140 °C
	Tempo	300 segundos
Massa Volúmica		1160 kg.m ⁻³

4.1.5 Espessura

Após otimização total do compacto para a espessura de 5 mm, optou-se por explorar, adicionalmente, outras espessuras possíveis, já que a espessura mais utilizada comercialmente é de 12,5 mm. Assim selecionaram-se as espessuras seguintes:

Tabela 12 - Espessuras estudadas.

ID Provete	Espessura / mm
AV-22	15
AV-23	10
AV-24	12,5
AV-25	7

Para espessuras até 10 mm (*Figura 34*), o processo de produção decorreu sem grandes percalços.



Figura 34- Provetes correspondentes às placas de espessura 7 mm (esquerda) e 10 mm (direita).

No caso dos painéis com espessuras de 12,5 e 15 mm, o processo de encolagem revelou-se dificultado pela grande quantidade de massa envolvida (mais de 500 g de borracha para a espessura de 12,5 mm, por exemplo). A resina acaba por não atingir todas as partículas de material, já que à medida que a encolagem se processa, esta vai sendo dispersa pelas partículas mais perto do topo do saco, e as que se encontrem no fundo deste não contactam com o ligante da mesma forma. Na *Figura 35* observam-se os painéis obtidos, que apesar de apresentarem algumas falhas na borracha, resultantes da má encolagem já referida, possuem elevada rigidez.



Figura 35 - Provete correspondente às placas de espessura 12,5 mm (esquerda) e 15 mm (direita).

Quando submetidos ao teste de água em ebulição observou-se que com o aumento de espessura ocorreu um aumento da absorção de água. Placas com espessuras mais baixas sofreram variações de massa menores (entre 5 e 10 %, *Figura 36*) enquanto que as placas mais grossas resultaram em variações de 10 a 15 %. Isto pode ser justificado pelo facto de que um maior número de partículas, aliado a uma má encolagem, pode ter resultado numa placa com elevada porosidade, o que leva a uma maior absorção de água durante os testes. Por outro lado, quando estudamos a representação gráfica da variação de espessura ao longo do teste (*Figura 37*), podemos notar que para as espessuras inferiores a variação aumenta consoante o aumento de espessura, mas que, para as espessuras superiores, obtiveram-se resultados que não seriam o esperado: o provete de 12,5 mm apresenta uma variação de espessura superior (em cerca de 2 %)

à do provete de 15 mm. Este resultado dispar pode ser justificado por erros na monitorização dos parâmetros de prensagem (pois devido a uma falha técnica, a prensagem na prensa do LEPABE ocorreu de forma manual, ou seja, com o auxílio de diferentes calços para obter as diferentes espessuras) ou por uma encolagem pior do que a obtida para os restantes painéis.

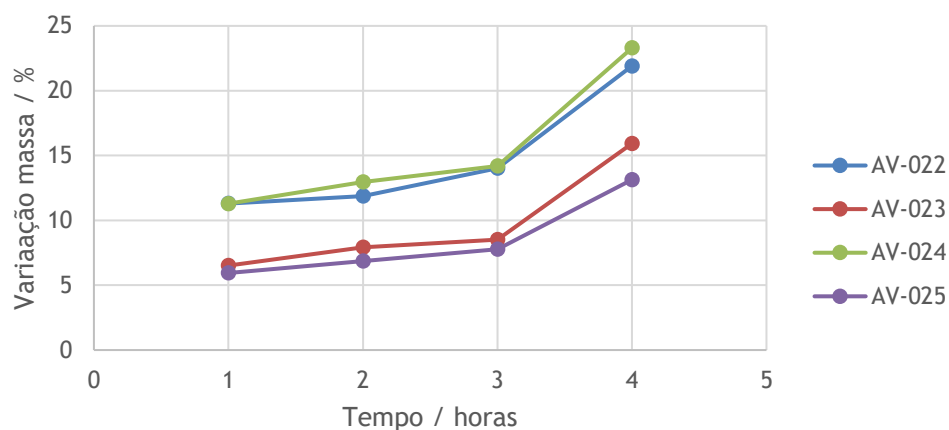


Figura 36 - Variação da massa de água absorvida ao longo do tempo de teste, para os provetes de diferentes espessuras.

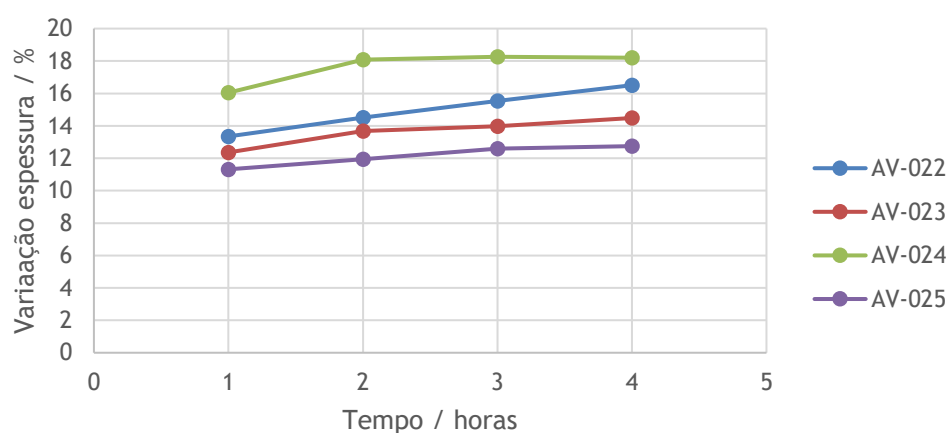


Figura 37 - Variação da espessura ao longo do tempo de teste, para os provetes de diferentes espessuras.

De seguida realizaram-se os testes de IB e cálculo de MV. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultados obtidos para os provetes referentes ao estudo da alteração da espessura.

ID Proвете	Espessura / mm	MV / kg.m ⁻³	IB / N.mm ⁻²
AV-022-1	15	1042	0,09
AV-023-1	10	1187	0,36

AV-024-1	12,5	1106	0,17
AV-025-1	7	1196	0,31

Podemos observar que uma alteração de espessura, como é o caso das placas AV-021-1 para AV-023-1, de 5 mm para 10 mm, induz uma diminuição dos valores de IB para cerca de metade. Repare-se também que para a espessura de 7 mm, AV-025-1, o IB apresenta-se também baixo, mais baixo ainda do que aquele obtido para 10 mm, o que não vai de encontro com as hipóteses apresentadas, podendo dever-se a má aderência entre o laminado e a sanduiche, uma vez que todos os provetes se separaram por esta interface. Assim, se a segunda prensagem não tiver sido efetuada com a pressão ótima desejada, esta interface encontrar-se-ia já fragilizada aquando do teste de resistência à tensão perpendicular, resultando em valores de IB muito mais baixos do que os que poderíamos obter caso a prensagem tivesse sido corretamente executada. Caso isto tivesse ocorrido, todos os provetes apresentariam valores de IB muito semelhantes. Assim, as discrepâncias observadas nesta tabela devem-se ao facto de não ter sido seleccionada uma pressão de prensagem adequada à espessura da placa, impossibilitando o fluxo da resina fenólica entre as camadas de papel kraft. Adicionalmente, podemos observar pela *Figura 38*, que na interface laminado-sanduiche, encontram-se partículas de borracha que podem ter impactado negativamente a adesão entre estas duas superfícies, pois impossibilitam um contacto total. Assim, durante este tipo de testes, estas partículas traduzem-se por pontos fracos que fragilizam o produto e têm como consequência a obtenção de resultados erróneos.

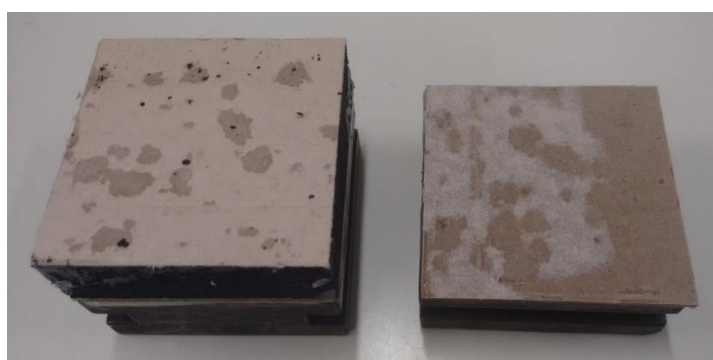


Figura 38 - Detalhe da interface laminado-sanduiche: presença de partículas de borracha.

Tendo em conta que a espessura mais comercializada pela SIR é a de 12,5 mm, optou-se por seleccionar este valor para se aprofundar o estudo de otimização do produto. Esta otimização passou pela tentativa de melhoria da encolagem e da prensagem e pela definição da pressão máxima que o compacto suportaria na prensa da SIR. Assim, produziram-se vários painéis (sanduiche) de espessura 12,5 mm na

prensa do LEPABE e de seguida procedeu-se à prensagem dos laminados na prensa da SIR, a diferentes pressões. Na *Tabela 14* encontram-se os diferentes ensaios efetuados.

Tabela 14 - Estudo da pressão de prensagem ótima.

ID Provete	Pressão de trabalho / kg.cm ⁻²
AV-026-1	25
AV-026-2	30
AV-026-3	35
AV-026-5	40
AV-026-6	45
AV-026-7	50
AV-026-8	52
AV-026-9	55

Na *Figura 39* pode observar-se que o ensaio AV-026-1 resultou em defeitos no laminado, após o corte, pois a pressão de prensagem não foi suficiente para eficazmente produzir o painel. Por esta razão estes provetes foram automaticamente descartados.



Figura 39 - Provete AV-026-1: defeitos no laminado.

Da mesma forma, apresenta-se nas *Figuras 40 e 41* os painéis AV-026-8 e AV-026-9, respetivamente, reparando-se que para as pressões utilizadas nestes ensaios, os painéis rasgam: maioritariamente pelo laminado no caso do primeiro painel, e no caso do segundo observam-se algumas quebras pelo miolo de borracha. Assim, podemos concluir que atingimos a pressão máxima que se pode exercer sobre os painéis.

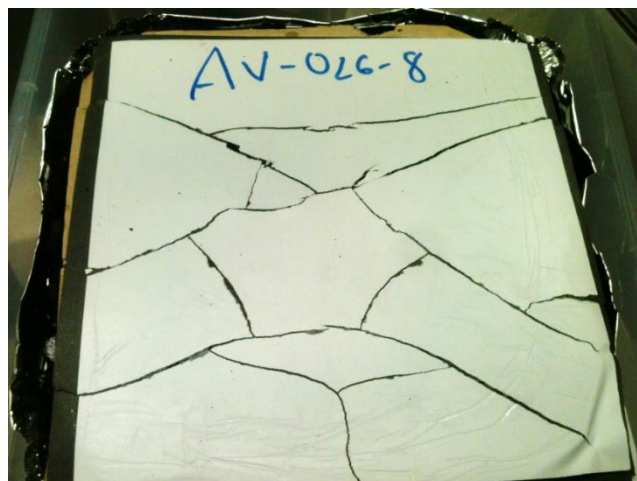


Figura 1 - Quebra do laminado no painel AV-026-8.



Figura 41 - Quebra do compacto AV-026-9.

Procederam-se aos testes habituais, de água em ebulição e IB, nos provetes provenientes dos painéis que foram bem produzidos (AV-026-2 a AV-026-7). Nas *Figuras 42 e 43* encontram-se os dados relativos ao primeiro teste, e na *Tabela 15* os resultados do segundo. De notar que alguns dos provetes não foram sujeitos às 4 horas de teste, mas sim a três, por falta de tempo.

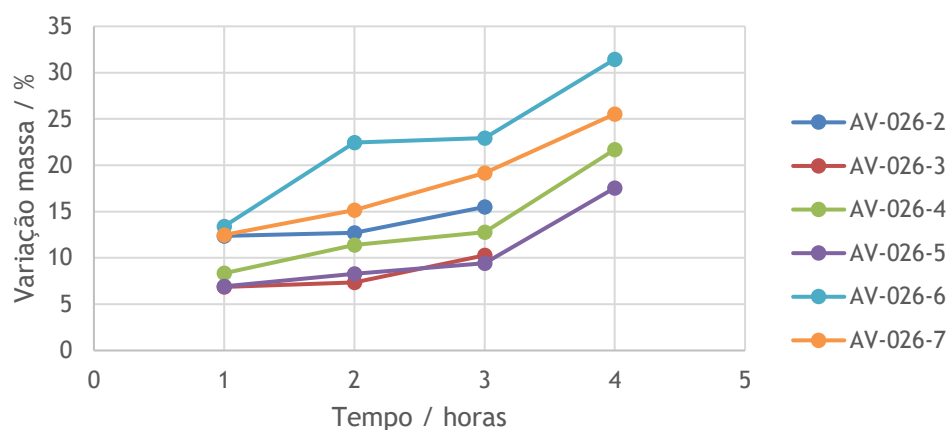


Figura 42 - Massa de água absorvida ao longo do tempo de imersão em água em ebulição, para provetes com diferentes espessuras.

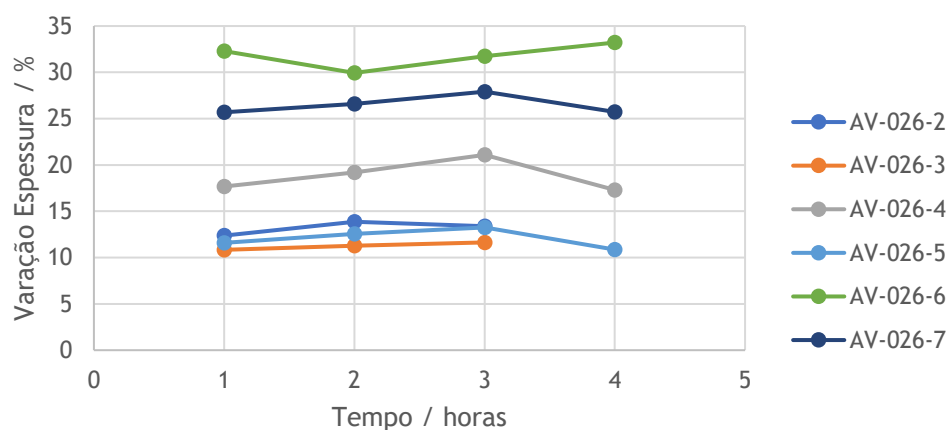


Figura 43 - Variação da espessura ao longo do tempo de teste, para os provetes de diferentes espessuras.

Tabela 15 - Resultados obtidos pelo teste de IB e do cálculo da MV para cada provete.

ID Provete	Pressão efetiva / bar	MV / kg.m ⁻³	IB / N.mm ⁻²
AV-026-2	25	1157	0,35
AV-026-3	30	1185	0,29
AV-026-4	35	1151	0,21
AV-026-5	40	1174	0,33
AV-026-6	45	1136	0,14
AV-026-7	50	1132	0,12
AV-026-8	52	Não testados	
AV-026-9	55		

Através dos resultados de IB, e contrariamente ao esperado, podemos observar que com o aumento da pressão efetiva utilizada, dá-se uma diminuição do valor de IB obtido, especialmente a partir do provete AV-026-6.



Esperar-se-ia que ao aumentar a pressão sobre o laminado, este sofresse uma melhor prensagem, conduzindo a uma melhoria da sua resistência à tração. Para os primeiros quatro provetes, AV-026-2 a AV-026-5, obtiveram-se valores de IB muito próximos. No entanto, os provetes AV-026-6 e AV-026-7 apresentam valores de IB de cerca de metade dos observados para os primeiros provetes. Esta diminuição drástica pode ser justificada com o facto de as pressões aplicadas serem demasiado elevadas, o que conduz a um elevado “*springback*” (recuperação elástica da borracha à forma inicial) da borracha, quando libertada, ao qual a resina já curada não resiste. Este fenómeno resulta em quebras ou pequenas fissuras no núcleo de borracha, comprometendo a sua resistência. Esta hipótese é suportada pelo facto da zona de rutura não se ter dado pela interface laminado-sanduiche, como tem vindo a ser habitual, mas sim pela borracha (*Figura 44*).

Além disto, após o teste de água em ebulição, observam-se fendas no núcleo destes provetes, devido às condições extremas impostas por este teste (*Figura 45*).

Figura 44 - Provete AV-026-6: detalhe da zona de rutura.



Figura 45 - Pormenor da quebra do core nos provetes AV-026-6 (direita) e AV-026-7 (esquerda).

Deste modo podemos concluir que, neste ponto do trabalho, a pressão máxima a ser aplicada é 40 kg.cm^{-2} , valor este bastante afastado do ideal para produção industrial (90 kg.cm^{-2}), já que a pressão das prensas industriais da SIR é um parâmetro

que não deve ser ajustado consoante o produto, mas deve sim manter-se fixo de forma a obter-se uma produção mais expedita.

4.2 Laminado

Relativamente às propriedades do laminado superficial, iniciou-se o projeto utilizando kraft impregnado castanho e manteve-se este componente no sistema até à produção dos painéis AV-024. A partir deste ponto, substituiu-se por kraft impregnado preto, de forma a melhorar a estética do produto final, pois como a borracha é preta, a produção de um produto integralmente preto seria mais adequada. Uma vez que não é possível utilizar-se papel kraft seco de cor preta (os pigmentos de cor preta são adicionados aquando da impregnação do papel), não foi possível excluir o papel seco castanho do produto final, pelo que uma fina linha castanha é discernível entre a borracha e o laminado.

5 Conclusões

No decorrer deste projeto de dissertação procedeu-se ao desenvolvimento e otimização de um compacto não-estrutural contendo um miolo totalmente composto por borracha reciclada, cujas superfícies são constituídas por papel kraft e papel decorativo, de forma a aumentar a sua rigidez. Para tal utilizou-se uma resina pré-polímero de poliuretano, devido à sua grande resistência à água e versatilidade. O produto final, de um modo geral, respeitou os critérios necessários para se classificar como comercialmente viável para a SIR.

Para este trabalho optou-se por explorar a influência de diferentes parâmetros no produto final. Estes parâmetros foram o número de folhas de kraft seco e impregnado, o teor de resina a aplicar, a granulometria da borracha e a massa volúmica do painel. Os dois primeiros advêm da necessidade de otimização do custo de produção de compactos, enquanto que os últimos três tratam-se de melhorias estéticas e estruturais passíveis de ser efetuadas.

A produção dos compactos foi realizada em duas etapas, com prensagens independentes de miolo de borracha e do laminado, uma vez que a unidade industrial da SIR não suporta prensagem de produtos que não estejam já na forma de folhas ou placas. Assim, decidiu-se que este seria o método mais vantajoso, pois iria reproduzir o método industrial de uma forma mais fiel.

De um modo geral, este trabalho focou-se na produção de painéis com espessuras de 5 mm. Posteriormente optou-se por estudar outros valores de espessura, mais de acordo com as espessuras comercializadas pela SIR em compactos tradicionais.

Relativamente ao papel kraft, após testes com várias quantidades de folhas de papel kraft impregnado, e dos respetivos testes aos provetes produzidos, concluiu-se que devem ser utilizadas duas folhas de kraft seco, uma em cada face, de forma a criar pontos de ancoragem para o laminado na segunda prensagem, e um mínimo de quatro folhas de kraft impregnado no laminado a prensar. Este é tido como o número de folhas ideal, que irá conferir uma estrutura rígida ao laminado, e, ao mesmo tempo, irá conduzir a um fluxo de resina suficiente para impregnar a folha de kraft seco, melhorando a resistência à água.

O parâmetro seguinte a otimizar foi o do teor de resina, pelo que vários valores foram estudados. Pelos testes efetuados pudemos observar que a absorção de água pela placa diminui à medida que se aumenta o teor de resina na encolagem. Por outro lado, a resistência interna da placa aumenta com este mesmo aumento. Assim, podemos concluir que quantidades superiores de resina irão conduzir a provetes mais resistentes, como era de esperar. No entanto, e como temos como objetivo secundário a diminuição do custo de produção, concluiu-se que deve ser utilizado um teor mínimo de 4 % de resina. A utilização da cola mencionada apresentou algumas dificuldades, devido à sua elevada viscosidade e baixo tempo aberto, o que, de um modo

geral, impediu que a encolagem fosse eficaz pois o intervalo de tempo disponível para a realizar era bastante diminuto, e, portanto, é possível que nem todas as partículas de borracha tenham contactado com a resina de igual forma. A utilização de outra cola, menos viscosa e com um tempo aberto superior, poderá ser um ponto a explorar.

Quanto à granulometria da borracha a utilizar, e dentro das possibilidades que nos foram apresentadas pelo fornecedor (0,0-0,8, 0,8-2,5, 2,5-4,0 e 4,0-7,0 mm), os melhores resultados foram obtidos para as granulometrias inferiores, 0,0-0,8 e 0,8-2,5 mm, uma vez que estas conduzem a porosidades inferiores da placa. No entanto, o fornecedor, Biosafe, possui maior disponibilidade de matéria para a granulometria 0,0-0,8 mm, o que nos levou a optar por prosseguir o projeto com esta. No caso das granulometrias superiores, acima de 2,5 mm, os painéis obtidos apresentavam-se com superfícies bastante irregulares devido às arestas pronunciadas destas partículas, pelo que deixou de existir uma superfície lisa na qual o laminado seria prensado, dificultando esse processo e resultando em papel kraft por curar.

Relativamente à massa volúmica dos painéis, o ideal seria que estes se encontrassem o mais compactados possível, o que se traduz por massas volúmicas elevadas. Assim, o painel com massa volúmica mais elevada e melhor comportamento face aos testes efetuados traduziu-se por uma massa volúmica de 1160 kg.m^{-3} .

Após estas otimizações, repetiu-se parte do processo para uma espessura comercialmente mais vantajosa para a SIR, 12,5 mm, explorando-se a pressão ideal de prensagem para cada uma das etapas. Este estudo não foi terminado uma vez que o ideal para a SIR seria conseguir-se prensar os compactos a 90 bar, por ser esta a pressão utilizada na prensa industrial.

Pudemos concluir que a presença da borracha, comparativamente ao papel kraft que normalmente dá estrutura aos compactos produzidos, confere propriedades melhoradas no que toca à resistência à humidade e ao calor.

6 Avaliação do trabalho realizado

6.1 Objetivos Realizados

Os objetivos propostos no início deste projeto foram atingidos com sucesso, uma vez que foi aferida e confirmada a viabilidade do produto que foi proposto, através dos diversos parâmetros estudados e testes efetuados, e que o mesmo foi desenvolvido até um ponto suficiente, obtendo-se uma prova de conceito, o que confirma que a ideia e os métodos empregados são suscetíveis de ser explorados de forma útil para a SIR. Adicionalmente, observou-se que a diminuição dos custos de produção através deste método é possível de ser obtida, devido ao menor custo de matérias-primas (borracha reciclada face ao papel kraft, baixa quantidade de resina utilizada).

6.2 Limitações e Trabalho Futuro

A principal limitação no trabalho desenvolvido prendeu-se com a qualidade da encolagem realizada, uma vez que, ao ser manual, e ao utilizar-se uma resina bastante viscosa e com um tempo aberto diminuto, não foram possíveis encolagens o mais eficientes possível. Assim, esta é a razão primordial para alguns dos resultados menos favoráveis que foram obtidos. No entanto, é pouco provável que este problema tenha afetado as conclusões finais uma vez que todos os provetes produzidos sofreram do mesmo tipo de encolagem, pelo que todos os testes foram afetados de igual forma.

Outra limitação prendeu-se com o facto de este tema ser ainda bastante recente, podendo até afirmar-se que não existem conceitos semelhantes a ser estudados na literatura, o que dificultou o arranque inicial por falta de bases ou diretrizes a seguir, e por ter conduzido a alguma incerteza aquando da tomada de decisões ao longo do projeto. No entanto, este trabalho poderá representar uma base para estudos futuros, uma vez que abriu portas numa área ainda por explorar, a nível académico.

Por fim, um obstáculo menos significativo passou pelo curto intervalo de tempo previsto para a realização da dissertação, o que não permitiu o aprofundamento necessário de algumas questões, como a otimização do produto por forma a ser possível efetuar-se a sua prensagem sob 90 bar, como requerem as prensas utilizadas na SIR, bem como uma melhor perceção da influência de cada um dos parâmetros testados para produção deste mesmo produto.

É, por isso, importante existir uma continuidade neste estudo, por forma a repetir e validar alguns dos testes efetuados, por exemplo os testes mecânicos, de modo a garantir que as conclusões retiradas vão ao encontro com o que se verifica experimentalmente. É também

essencial efetuar-se uma otimização da superfície do compacto, uma vez que o papel decorativo utilizado não foi alterado ao longo do projeto. Um papel decorativo melhor, com características mais adequadas às aplicações a que este produto se destina, poderá fazer toda a diferença no que toca a propriedades da superfície.

É também essencial dar início a um estudo de implementação industrial, apurando-se necessidades, tanto a nível de equipamentos, espaço e mão-de-obra, mas também de reagentes, e alocando-se meios para tal implementação ser bem-sucedida. A utilização de um misturador mecânico estará prevista no desenvolvimento e implementação industrial, pelo que será um obstáculo que se ultrapassará aquando desta modificação.

Finalmente, e como perspetiva futura, aconselha-se o teste do protótipo criado, junto de potenciais clientes, por forma a licenciar ou até mesmo patentear os métodos empregues.

6.3 Apreciação Final

De uma forma geral, considera-se todo o trabalho desenvolvido bastante positivo, tanto a nível profissional como pessoal, uma vez que permitiu não só um primeiro contacto com a indústria e o ambiente empresarial, mas também um ganho de autonomia e responsabilidade que só este tipo de projetos pode fornecer. Apesar das dificuldades por vezes encontradas, esteve sempre disponível uma rede alargada de apoio que demonstrou a importância do trabalho de equipa e da motivação para fazer sempre mais e melhor.

Referências

- 319, NP EN. “Aglomerado de Partículas de Madeira e Aglomerado de Fibras de Madeira.” Norma, s.d.
- Adams, Sara. *Kraft Paper Review*. 2012. http://www.happyfolding.com/paper-review_kraft (acedido em 21 de Fevereiro de 2017).
- Ayrilmis, Nadir, Umit Buyuksari, e Erkan Avci. “Utilization of waste tire rubber in manufacture of oriented strandboard.” *Waste Management*, 2009: 2553-2557.
- C., Berry Richard, e Greenman Norman L. Rubberized fibrous sheet and method of making the same. US Patente US2698788 A. 4 de Jan de 1955.
- Campos, C. L., e F. A. R. Lahr. “Estudo Comparativo dos Resultados de Ensaio de Tração Perpendicular para MDF produzido em Laboratório com Fibras de Pinus e de Eucalipto Utilizando Ureia-Formaldeído.” *Matéria* vol. 9, 2004: 32-42.
- Cavdar, Ayfer Donmez, Hulya Kalaycioglu, e Salim Hiziroglu. “Some of the properties of oriented strandboard manufactured using Kraft lignin phenolic resin.” *Journal of Materials Processing Technology* 202, n° Kraft lignin; OSB (2008): 559-563.
- Chen, Zheng, Ning Yan, James Deng, e Greg Smith. “Flexural creep behavior of sandwich panels containing kraft paper honeycomb core and wood composite skins.” *Materials Science and Engineering*, 23 de March de 2011: 5621/5626.
- Clara, M. Natália da, Clara Santos, e João C. Bordado. “Polímeros/Indústria Química - O que são os poliuretanos.” *Sociedade Portuguesa de Química*. s.d. <http://www.spq.pt/magazines/BSPQ/548/article/3000292/pdf> (acedido em 23 de Fevereiro de 2017).
- Collin, Gerd, et al. “Resins, Synthetic.” Em *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 495-517. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2012.
- Coutras, Alexandre, e Ivor H. Updegraff. Alkyl carbamate plasticized melaminealdehyde resin composition. USA Patente US2937966 A. 15 de Novembro de 1960.
- Deco Proteste. *Reciclar Pneus*. 1 de Setembro de 2015. <http://www.planetazul.pt/edicoes1/planetazul/desenvArtigo.aspx?c=2383&a=18632&r=37> (acedido em 21 de Fevereiro de 2017).
- Ehrenstein, Gottfried W., e Josef Kabelka. “Reinforced Plastics.” Em *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 453-469. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2012.
- EN 438-2. “EN 438-2: High-pressure decorative laminates - Sheets based on thermosetting resins - Part 2: Determination of properties.” 2005.
- Erichsen. *Resistência à abrasão e ao atrito*. s.d. <https://www.erichsen.de/ensaio-de-superficies/resistencia-a-abrasao-e-ao-atrito> (acedido em 15 de Março de 2017).
- Ernst, Eger. Construction board and method of making same. US Patente US2550143 A. 24 de Abr de 1951.

- “Flexible Polyurethane Foam.” *MDI: Basics*. 26 de Julho de 2006. <http://pu-foam.blogspot.pt/2006/07/mdi-basics.html> (acedido em 23 de Fevereiro de 2017).
- Global Industrial Analysts, Inc. *Laminate Flooring Market Trends*. Março de 2015. http://www.strategyr.com/MarketResearch/Laminate_Flooring_Market_Trends.asp (acedido em 29 de Abril de 2017).
- ISO Org. “ISO 472:2013.” *ISO.ORG*. Fevereiro de 2013. http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=44102 (acedido em 20 de Fevereiro de 2017).
- J. Pinto Leitão. “Termolaminados, Compactos Fenólicos.” *J. Pinto Leitão - Wodd Tech*. Junho de 2013. <http://www.jpleitao.pt/index.php/pt/noticias/noticias-2/297-produto-em-destaque-junho> (acedido em 20 de Março de 2017).
- Jacob, Maya, Bejoy Francis, K. T. Varughese, e Sabu Thomas. “The effect of silane coupling agents on the viscoelastic properties of rubber biocomposites.” *Macromolecular Materials and Engineering* 291, nº biofibers; composites; rubber; viscoelastic properties (2006): 1119-1126.
- Jun, Zhao, Wang Xiang-ming, Chang Jian-min, e Zheng Kai. “Optimization of processing variables in wood-rubber composite panel manufacturing technology.” *Bioresource Technology*, 2088: 2384-2391.
- Jun, Zhao, Wang Xiang-ming, Chang Jian-min, e Zheng Kai. “Optimization of processing variables in wood-rubber composite panel manufacturing technology.” *Bioresource Technology* 99, nº Wood-rubber composite; PMDI/UF resin (2008): 2384-2391.
- Kakroodi, Adel R., e Mohini Sain. “Lignin-Reinforced Rubber Composites.” *Ligning in Polymer Composites*, 2016: 195-204.
- Kakroodi, Adel R., e Mohini Sain. “Lignin-Reinforced Rubber Composites.” Em *Lignin in Polymer Composites*, 195-206. Elsevier Inc., 2016.
- Kasal, Bohumil, et al. “Wood-Based Material.” Em *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 2015.
- Lessig, Edward T., e Hal P. Headley. Method of adhering fibers to rubber. US Patente US2314998 A. 30 de Mar de 1943.
- Lucintel. *Growth Opportunities in the Global Wood and Laminate Flooring Market*. Report Buyer, Set 2016, 211.
- Lunardi, Maurizio. Method for making a surface reinforced foam rubber board and foam rubber board obtained with this method. Patente WO2010116252 A3. 9 de Abr de 2010.
- Marques, Pedro. ““Para além dos Pneus”.” *Jornadas de Engenharia de Materiais*. Universidade do Minho: BioSafe, 2005. 25.
- Mezynski, S. M., e M. B. Rodgers. “Heavy Duty Truck Tire Materials and Performance.” *Kautschuk Gummi Kunststoffe*, 1993: 718-726.
- Monteiro, Alcino João dos Santos Cunha. *Revestimento multicamada PVD com comportamento eletrocrómico*. Dissertação de Mestrado, U. Minho, 2005.

- Monteiro, Gonçalo Emanuel Batista. *Desenvolvimento de pr -polímero para espumas monocomponente de poliuretano*. Dissertação de Mestrado, Lisboa: Técnico Lisboa, 2014.
- Pinto, Paula Cristina Oliveira Rodrigues. *Influência da estrutura química dos componentes da madeira no seu desempenho nos processos de produção de pastas celulósicas. Estudo comparativo entre Eucalyptus globulus e outras folhosas*. Dissertação de Doutorado, Aveiro: Universidade de Aveiro - Departamento de Química, 2005.
- Poliuretanos. *Capítulo 1 - Reagentes e Fundamentos*. s.d. <http://www.poliuretanos.com.br/Cap1/11mercado.htm> (acedido em 23 de Fevereiro de 2017).
- Randall, D., e S. Lee. *The Polyurethanes Book*. New York: Wiley, 2003.
- Rodgers, Brendan, e Walter Waddell. "The Science of Rubber Compounding." Em *The Science and Technology of Rubber*, 417-471. Elsevier Inc., 2013.
- Silva, A. S., G. C. L. Nacif, T. H. Panzera, A. L. Christoforo, F. B. Batista, e V. Mano. "Incorporac o de resíduos de borracha em compósitos de matriz polimérica termorrígida." *Revista Matéria* 1417-7076, n  compósito polimérico; resíduo de borracha, an drido maléico (2012): 1158-1165.
- Silva, A. S., G. C. L. Nacif, T. H. Panzera, A. L. Christoforo, F. B. Batista, e V. Mano. "Incorporac o de resíduos de borracha em compósitos de matriz polimérica termorrígida." *Revista Matéria*, 2012: 1158-1165.
- Silva, Cl m nia. *PlanetaAzul*. 30 de Agosto de 2010. <http://www.planetazul.pt/edicoes1/planetazul/desenvArtigo.aspx?c=2383&a=18632&r=37> (acedido em 21 de Fevereiro de 2017).
- Silva, Rafael, Shirani K. Haraguchi, Edvani C. Muniz, e Adley F. Rubira. "Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos." *Química Nova* 32, n  lignocellulosic fibers; nanowhiskers; biocomposites (2009): 661-671.
- Sonae Industria, SGPS, S.A. "Produtos." *Sonae Industria*. 2007. <http://www.sonaeindustria.com/page.php?ctx=2,0,8> (acedido em 3 de Março de 2017).
- Tectonica-online. *Melamine and Phenolic Panels*. s.d. http://www.tectonica-online.com/products/1254/melamine_phenolic_panels_hpl_compact_polyrey_polyprey_panoprey/ (acedido em 22 de Fevereiro de 2017).

Anexo 1 Ficha Técnica da cola LORPUR 1728 R



LORCOL INDÚSTRIA DE COLAS E PRODUTOS QUÍMICOS, LDA.
Contribuinte: 501 512 624 – Capital Social: € 1.500.000,00 – Cons. Reg. Com. S. João da Madeira nº 661
Av. 1º de Maio, nº 378 (Z. I. nº 1) Caixa Postal 6010-3701-907 S. João da Madeira – Portugal
Telef.: + 351 256 830 990 Fax: + 351 256 830 991
Email: lorcol@lorcol.com www.lorcol.com

LORPUR 1728 R

Ficha Técnica

Nº Edição: 1
Nº Revisão: 1
Data: Setembro/11

Aplicações:

Cola poliuretano, resistente à água, muito versátil e de elevada aderência. Indicada para colagens de madeiras, fórmica, MDF, como cimento, betão, cerâmicas, estuque, espumas rígidas, etc., e também rodapés, portas, janelas e todo o tipo de cofragens. Reage com a humidade dos substratos, endurecendo. Esta cola é adequada para uso em trabalhos exteriores e pelas suas características técnicas permite atingir elevados valores de resistência à água (D4, de acordo com a norma EN 204).

Características Técnicas:

Tipo de produto:	Pré-polímero PUR
Cor:	Amarelado
Densidade:	Ca. 1,10 g/cm ³
Viscosidade:	Ca. 5000 mPa.s (Brookfield RVT, sp 4, 20 rpm)
Tempo Aberto:	Aprox. 7 minutos
Período de armazenagem:	9 meses, devidamente armazenada

Modo de Emprego:

1. As superfícies a colar devem estar limpas e isentas de pó e gordura.
2. Aplicar uniformemente uma pequena camada sobre uma das superfícies a unir e pressionar.
3. Não manusear as peças coladas antes de decorridas cerca de 2 horas.

Limpeza de ferramentas:

Limpar as ferramentas de trabalho com acetona ou tolueno e enquanto a cola estiver fresca.

Precauções:

Este produto é sensível à humidade, devendo ser sempre armazenado em embalagem bem fechada.

Para outras informações, recomendamos a consulta da Ficha de Segurança do produto.



Anexo 2 Ficha Técnica da borracha BioRG 0,0-0,8 mm



BioRG 0,0-0,8 mm

01

1. DESCRIÇÃO DO PRODUTO

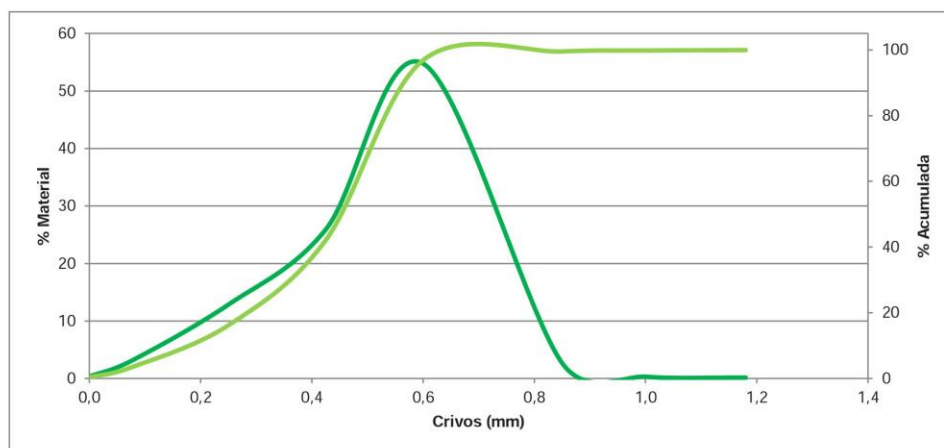
Os Granulados de Borracha BioRG são produtos obtidos por trituração mecânica ambiental a partir de pneus em fim de vida.

2. PROPRIEDADES TÉCNICAS

2.1. PROPRIEDADES FÍSICAS

PARÂMETROS	MÉTODO DE ENSAIO	RESULTADO
Cor	Visual	Preto
Densidade Aparente (Granel)	ISO 60	0,35 ± 0,02
Densidade Absoluta	Picnômetro de Hélio	1,15 ± 0,06
Humidade (% em peso)	Interno	< 1,0
Partículas de Aço (% em peso)	CEN TS 14243	< 0,1
Partículas de Fibra Têxtil (% em peso)	CEN TS 14243	< 0,1
Inertes (% em peso)	CEN TS 14243	< 1,0
Área Superficial (cm ² /g)	ASTM B922-02 Teoria de Brunauer, Emmett e Teller (B.E.T.)	620 ± 40
Dimensões (mm)	CEN TS 14243	0,0 a 0,8

Curva Granulométrica (CEN TS 14243)



2.2. PROPRIEDADES QUÍMICAS

Polímeros - 40% a 55%

(incluindo **NR** – Borracha natural; **SBR** – Borracha de estireno-butadieno; **IR** – Borracha de isopreno; **IIR** – Borracha de isobutileno-isopreno; **IIR modified** – Borracha de halogéneo isobutileno-isopreno; **BR** – Borracha de polibutadieno; **NBR** – Borracha de Acrilonitrilo-butadieno)

Negro de fumo (CAS# 1333-86-4; EC# 215-609-9) – 20% a 25%

Outros aditivos – Balanço

Fonte: Convenção de Basileia, 1999

FT.03.01.02 BioRG 000.008

FT.03.01.02

Anexo 3 Ficha Técnica da borracha BioRG 0,8-2,5 mm



Biosafe

FICHA TÉCNICA DO PRODUTO

01

BioRG 0,8-2,5 mm

1. DESCRIÇÃO DO PRODUTO

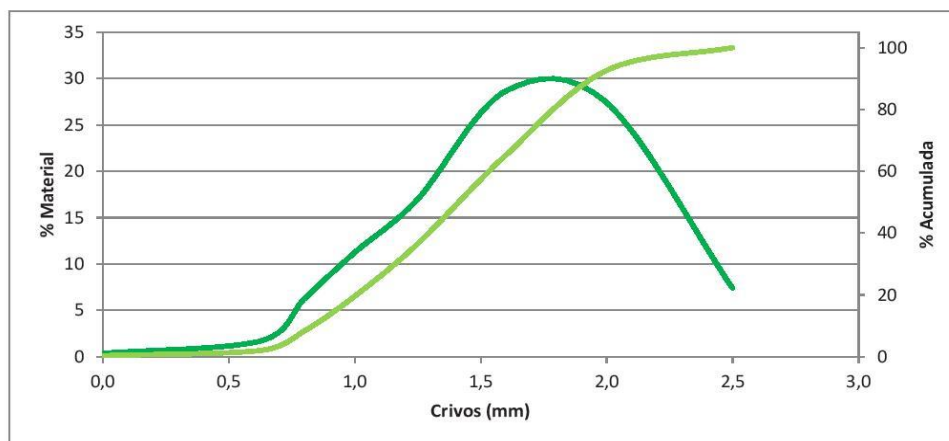
Os Granulados de Borracha BioRG são produtos obtidos por trituração mecânica ambiental a partir de pneus em fim de vida.

2. PROPRIEDADES TÉCNICAS

2.1. PROPRIEDADES FÍSICAS

PARÂMETROS	MÉTODO DE ENSAIO	RESULTADO
Cor	Visual	Preto
Densidade Aparente (Granel)	ISO 60	0,39 ± 0,02
Densidade Absoluta	Picnômetro de Hélio	1,18 ± 0,06
Humidade (% em peso)	Interno	< 1,0
Partículas de Aço (% em peso)	CEN TS 14243	< 0,05
Partículas de Fibra Têxtil (% em peso)	CEN TS 14243	< 0,1
Inertes (% em peso)	CEN TS 14243	< 0,1
Área Superficial (cm ² /g)	ASTM B922-02 Teoria de Brunauer, Emmett e Teller (B.E.T.)	205 ± 5
Dimensões (mm)	CEN TS 14243	0,8 a 2,5

Curva Granulométrica (CEN TS 14243)



2.2. PROPRIEDADES QUÍMICAS

Polímeros - 40% a 55%

(incluindo NR – Borracha natural; SBR – Borracha de estireno-butadieno; IR – Borracha de isopreno; IIR – Borracha de isobutileno-isopreno; IIR modified – Borracha de halogênio isobutileno-isopreno; BR – Borracha de polibutadieno; NBR – Borracha de Acrilonitrilo-butadieno)

Negro de fumo (CAS# 1333-86-4; EC# 215-609-9) – 20% a 25%

Outros aditivos – Balanço

Fonte: Convenção de Basileia, 1999

FT.03.02.02 BioRG 008.025

FT.03.02.02

Anexo 4 Ficha Técnica da borracha BioRG 2,5-4,0 mm



Biosafe

FICHA TÉCNICA DO PRODUTO

BioRG 2,5-4,0 mm

01

1. DESCRIÇÃO DO PRODUTO

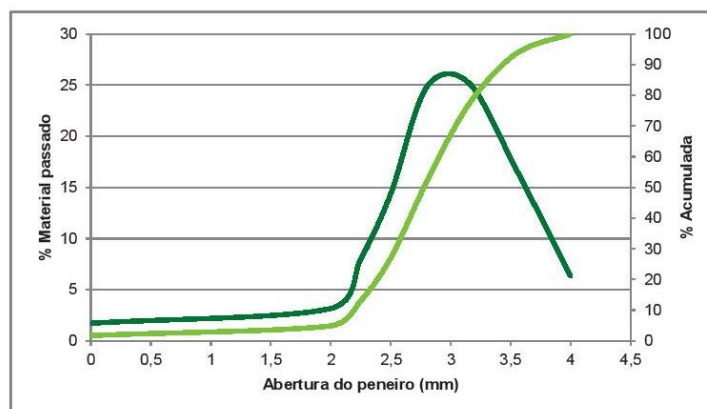
Os Granulados de Borracha BioRG são produtos obtidos por trituração mecânica ambiental a partir de pneus em fim de vida.

2. PROPRIEDADES TÉCNICAS

2.1. PROPRIEDADES FÍSICAS

PARÂMETROS	MÉTODO DE ENSAIO	RESULTADO
Cor	Visual	Preto
Densidade Aparente (Granel)	ISO 60	$0,43 \pm 0,02$
Densidade Absoluta	Picnômetro de Hélio	$1,19 \pm 0,06$
Humidade (% em peso)	Interno	< 1,0
Partículas de Aço (% em peso)	CEN TS 14243	< 0,05
Partículas de Fibras Têxtil (% em peso)	CEN TS 14243	< 0,1
Inertes (% em peso)	CEN TS 14243	< 0,1
Dimensões (mm)	CEN TS 14243	2,5 a 4,0

Curva Granulométrica (CEN TS 14243)



2.2. PROPRIEDADES QUÍMICAS

Polímeros - 40% a 55%

(incluindo **NR** – Borracha natural; **SBR** – Borracha de estireno-butadieno; **IR** – Borracha de isopreno; **IIR** – Borracha de isobutileno-isopreno; **IIR modified** – Borracha de halogéneo isobutileno-isopreno; **BR** – Borracha de polibutadieno; **NBR** – Borracha de Acrilonitrilo-butadieno)

Negro de fumo (CAS# 1333-86-4; EC# 215-609-9) – 20% a 25%

Outros aditivos – Balanço

Fonte: Convenção de Basileia, 1999

Anexo 5 Ficha Técnica da borracha BioRG 4,0-7,0 mm



FICHA TÉCNICA DO PRODUTO

01

BioRG 4,0-7,0 mm

1. DESCRIÇÃO DO PRODUTO

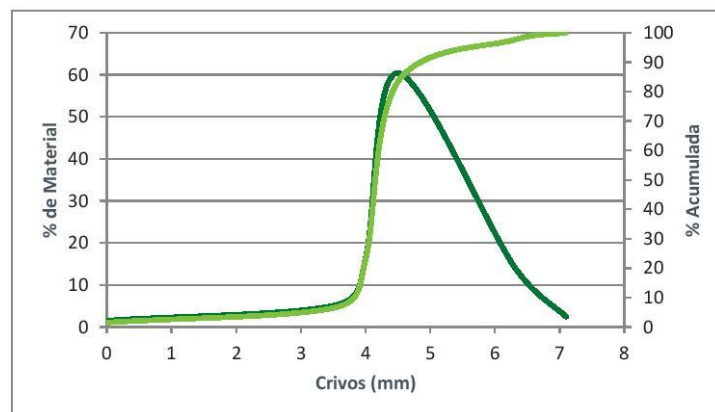
Os Granulados de Borracha BioRG são produtos obtidos por trituração mecânica ambiental a partir de pneus em fim de vida.

2. PROPRIEDADES TÉCNICAS

2.1. PROPRIEDADES FÍSICAS

PARÂMETROS	MÉTODO DE ENSAIO	RESULTADO
Cor	Visual	Preto
Densidade Aparente (Granel)	ISO 60	0,51 ± 0,03
Densidade Absoluta	-	-
Humidade (% em peso)	Interno	< 1,0
Partículas de Aço (% em peso)	CEN TS 14243	< 0,05
Partículas de Fibra Têxtil (% em peso)	CEN TS 14243	< 0,1
Inertes (% em peso)	CEN TS 14243	< 0,1
Dimensões (mm)	CEN TS 14243	4,0 a 7,0

Curva Granulométrica (CEN TS 14243)



2.2. PROPRIEDADES QUÍMICAS

Polímeros - 40% a 55%

(incluindo **NR** – Borracha natural; **SBR** – Borracha de estireno-butadieno; **IR** – Borracha de isopreno; **IIR** – Borracha de isobutileno-isopreno; **IIR modified** – Borracha de halogênio isobutileno-isopreno; **BR** – Borracha de polibutadieno; **NBR** – Borracha de Acrilonitrilo-butadieno)

Negro de fumo (CAS# 1333-86-4; EC# 215-609-9) – 20% a 25%

Outros aditivos – Balanço

Fonte: Convenção de Basileia, 1999

Anexo 6 Exemplo de cálculo

- Para o caso de um painel com uma espessura de 5 mm, e utilizando as formas disponíveis, com dimensões de 10,7 cm de largura e 8,5 cm de comprimento:

$$V_{forma} = comprimento \times largura \times altura = 10,7 \times 8,2 \times 0,5 = 43,87 \text{ cm}^3$$

- Sabendo a densidade absoluta da borracha, através das fichas técnicas, $\rho = \frac{m}{V} = 1,15 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, retiramos uma massa de borracha de 50,5 g;
- Estabelecendo o teor de resina, por exemplo, em 5 %, temos então a massa de resina a utilizar, 2,53 g.

Anexo 7 Representação gráfica dos resultados dos testes de água em ebulição para os provetes AV-016 (granulometria 0,8-2,5 mm)

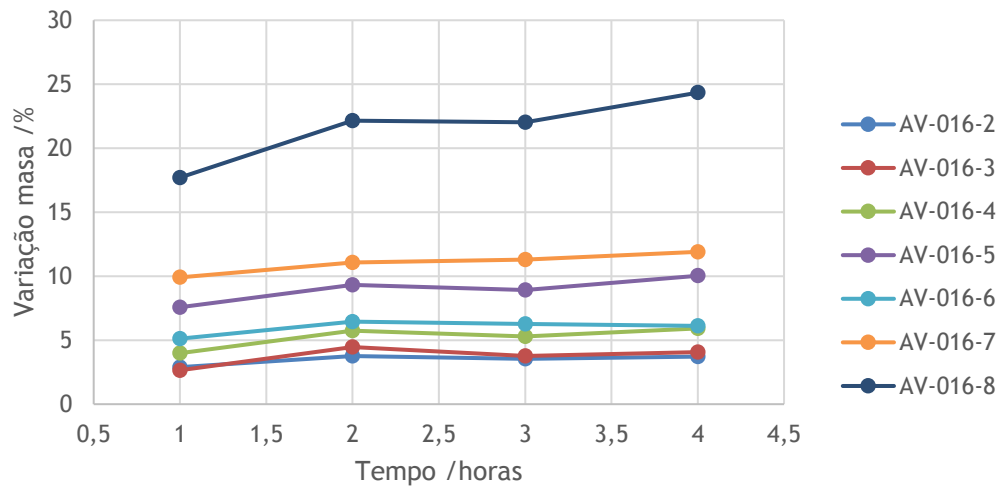


Figura 46 - Massa de água absorvida ao longo do tempo de teste de água em ebulição, para os provetes de diferentes teores de resina e granulometria 0,8-2,5 mm.

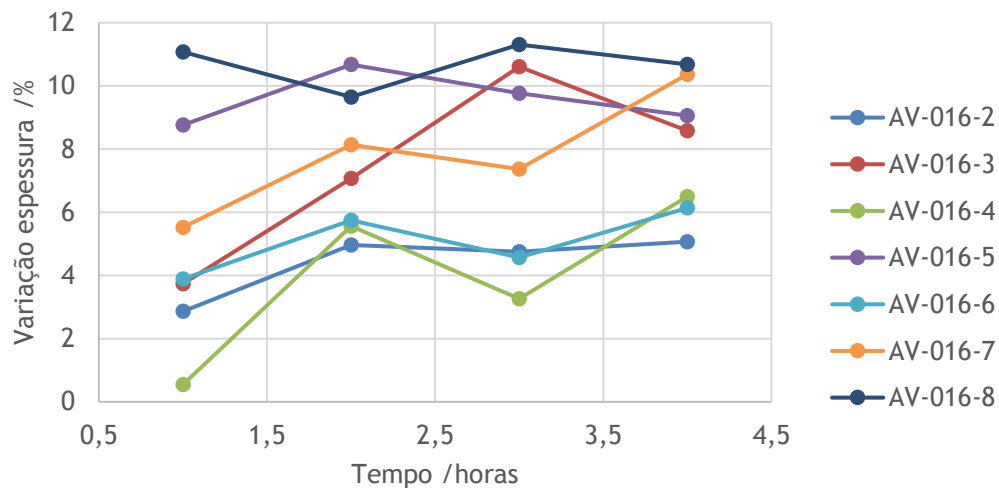


Figura 47 - Variação da espessura dos provetes ao longo do tempo de teste de água em ebulição, para os provetes de diferentes teores de resina e granulometria 0,8-2,5 mm.

Anexo 8 Representação gráfica dos resultados dos testes de água em ebulição para os provetes AV-018 e AV-021

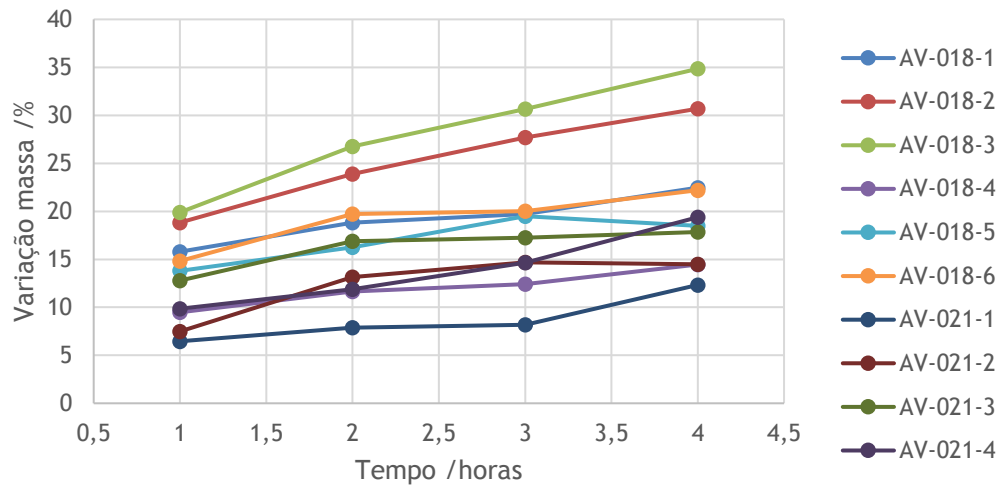


Figura 48 - Massa de água absorvida ao longo do tempo de teste de água em ebulição, para os provetes com diferentes densidades e teores de resina.

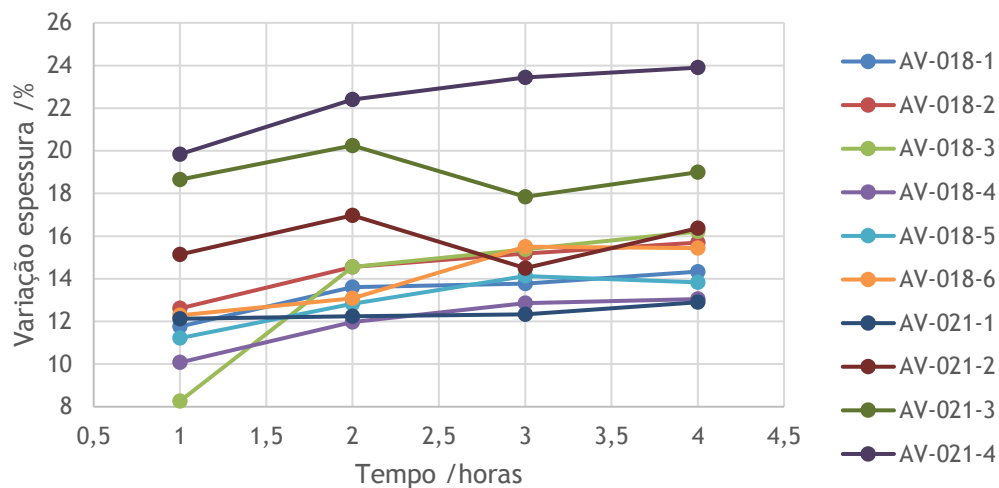


Figura 49 - Variação da espessura dos provetes ao longo do tempo de teste em água em ebulição, para os provetes com diferentes densidades e teores de resina.

Anexo 9 Resultados finais para o compacto de borracha com espessura 12,5 mm, prensado a 40 kg.cm⁻²

Tabela 1 - Resultados para vários testes efetuados ao compacto de borracha.

Referência /Produto	Ensaio	Teor de água / %	Massa Volúmica / kg.m ⁻³	Arranque do parafuso nas faces / N.mm ⁻²	Inchamento Espessura 24 h / %	Resistência Interna	Modo de rotura
						N.mm ⁻²	
Compacto "borracha"	CB-01	1,3	1057	6,10	3,6	0,25	Laminado
	CB-02	1,7	966	6,69	3,8	0,33	Laminado
	CB-03	2,3	966	5,58	3,9	0,28	Laminado
	CB-04	2,2	1068	5,98	2,8	0,31	Laminado

Tabela 2 - Resultados para o teste de arranque da camada superficial.

Referência /Produto	Ensaio	Resistência Arranque Camada Superficial	
		N.mm ⁻²	Modo de rotura
Compacto "borracha"	CB-01 (1 ^a face)	0,25	Laminado
	CB-02 (1 ^o face)	0,15	Laminado
	CB-03 (1 ^a face)	0,18	Laminado
	CB-04 (2 ^a face)	0,17	Laminado
	CB-05 (2 ^o face)	0,04	Laminado
	CB-06 (2 ^a face)	0,10	Laminado

Tabela 3 - Resultados para o teste da resistência à flexão.

Referência /Produto	Ensaio	Resistência à Flexão / N.mm ⁻²
Compacto "borracha"	CB-01	18,55
	CB-02	18,62

Tabela 4 - Resultados obtidos para a resistência à humidade através de ensaios cíclicos.

Referência /Produto	Ensaio	Resistência Interna após teste cíclico / N.mm^{-2}	Inchamento Espessura 24 h após teste cíclico / %	Rotura
Compacto "borracha"	CB-01	0,16	4,0	Laminado
	CB-02	0,25	3,6	Laminado
	CB-03	0,15	3,1	Laminado
	CB-04	0,18	3,3	Laminado

Tabela 5 - Determinação do teor de formaldeído pelo método de análise de gás.

Referência / N° de câmara de ensaio	Emissão Formaldeído / $\text{mg.m}^{-2} \text{ h}$	Classificação
Compacto "borracha" Amostra CB-01 (Câmara 1)	32,6	E3
Amostra CB-02 (Câmara 2)	46,9	E3

Tabela 6 - Determinação do teor de formaldeído pelo método do perfurador.

Referência/ Produto	Teor de água / %	Teor Formaldeído / mg.100g	
		Sem correção de Teor água	Com correção de Teor água
Compacto "borracha"	1,9	1,9	3,1

Tabela 7 - Resultados dos testes efetuados segundo a norma EN-438-2.

Parâmetro	Resultado	Unidade
Espessura	14,3	mm
Brilho ($< 60^\circ$)	6,2	%
Resistência ao vapor de água	3	grau
Comportamento em água em ebulição ($100^\circ \text{C}/2\text{h}$)		
Aspeto	4	grau
Aumento massa	0,97	%
Aumento espessura	3,75	%
Resistência ao risco	1,5	N
Resistência à abrasão		
Ponto Inicial	300	rotações
50% desgaste	425	rotações
Resistência térmica (180°C)	2	grau
Resistência ao calor húmido (100°C)	3	grau

Resistência ao impacto (bola pequena)	23	N
Resistência ao impacto (bola grande)	0,6	m
Estabilidade dimensional longitudinal	-0,12	%
Estabilidade dimensional transversal	-0,05	%