

Margarida Sofia Marques Lopes de Almeida

Avaliação da cura das resinas dos papéis impregnados
de segunda geração



Margarida Sofia Marques Lopes de Almeida

Avaliação da cura das resinas dos papéis impregnados
de segunda geração

Tese de Mestrado

Mestrado em Engenharia de Madeiras

Professora Doutora Luísa Hora Carvalho

Professor Jorge Manuel Martins

Doutor Pedro Carteador Mena



RESUMO

A produção de laminados de alta pressão (HPL) tem aumentado largamente devido à sua versatilidade de utilização, elevada resistência e baixo custo.

Os laminados podem ser utilizados em diversas aplicações verticais e horizontais, tais como decoração de interior, pavimentos e em diversos tipos de mobiliário.

Devido ao grande interesse neste tipo de produtos, a preocupação com a cura das resinas dos papéis que os constituem é constante. Este projecto tem como objectivo a avaliação da cura das resinas dos papéis constituintes de um painel de laminados de alta pressão.

Recorrendo a um equipamento de avaliação automática de colagem (ABES – Automated Bonding Evaluation System) foi realizado um estudo sobre o desempenho da ligação de papéis impregnados resultante da cura da resina. Foram estudados diferentes tipos de papéis – dois tipos de papel Kraft; quatro diferentes tipos de papel Decorativo; e quatro diferentes papéis Overlay.

Foram testadas diversas configurações de formação dos provetes de ensaio, para garantir uma maior fidelidade à formação de um painel de laminado em condições industriais.

Realizaram-se ainda estudos da rugosidade dos papéis para verificar, se a distribuição da resina utilizada na impregnação destes iria influenciar a consolidação do laminado de alta pressão.

Palavra-Chave:

Laminado de Alta Pressão; ABES; Resinas Melamina-Formaldeído (MF); Fenol-Formaldeído (PF); Papel Kraft; Papel Decorativo; Papel Overlay

ABSTRACT

High pressure decorative laminate (HPL) production has increase in the last years largely due to its wide range of application, strength and low cost.

The laminate can be in a large number of applications, both in vertical and horizontal, such as interior decoration, flooring and several types of furniture.

Due to the high demand on these products there is a major concern with the cure of the resins that impregnate the buildup papers. This project has as objective the evaluation of the cure of the resins that impregnate the high pressure decorative laminate buildup papers.

Study on the performance of impregnated paper bonds due to resin cure was carried out using the equipment ABES – Automated Bonding Evaluation System. Different types of impregnated paper were studied – two types of Kraft paper; four different types of Decorative paper; and four different Overlay papers.

Several test samples buildups were tried in order to ensure a better affinity with the HPL industrial buildup.

Impregnated papers roughness was also evaluated in order to verify if the resin distribution has an impact on the high pressure decorative laminate consolidation.

Key Words:

High Pressure Decorative Laminate; ABES; Melamine-Formaldehyde Resin (MF); Phenol-Formaldehyde Resin (PF); Kraft Paper; Decorative Paper; Overlay Paper

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas e entidades que de forma directa ou indirecta contribuíram para a realização deste trabalho.

Em primeiro lugar aos meus orientadores, Professora Doutora Luísa Carvalho, Professor Jorge Martins e Doutor Pedro Mena por todo o apoio, disponibilidade e ajuda que tanto contribuiu para o desenvolvimento deste projecto.

À empresa SIR – Sonae Indústria de Revestimentos S.A., pela possibilidade de realizar esta tese em colaboração com a indústria.

À Professora Doutora Cristina Coelho e ao Engenheiro João Pereira que não estiveram directamente ligados a este projecto, mas que mostraram disponibilidade na prestação dos seus conhecimentos e incentivo durante a realização deste trabalho.

Aos meus colegas de metrado, um muito obrigada pela vossa amizade, companheirismo e ajuda, factores muito importantes na realização desta Tese, que permitiram que cada dia fosse encarado com particular motivação. Também uma referência especial ao Paulo Sá, pela enorme amizade que criámos ao longo destes 6 anos. Agradeço-lhe a partilha de bons momentos, a ajuda e o encorajamento nas alturas de desânimo.

A todos os meus amigos que contribuíram positivamente durante esta etapa.

À minha família, em especial aos meus pais e irmãos, por todo o apoio, motivação e compreensão porque sem eles nada disto seria possível.

ÍNDICE GERAL

Índice Geral	vii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xi
Abreviaturas e Siglas	xiii
Notação	xv
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto	1
1.2 Organização da Tese	4
2. Estado da Arte	5
2.1 Laminados	5
2.2 Constituição do Laminado	8
2.2.1 Papéis	8
2.2.2 Resinas	10
2.3 Sistema de Avaliação Automática de Colagem (ABES)	11
2.4 Determinação do tempo de cura (Método de Werzalit)	13
3. Descrição Técnica	15
3.1 ABES	15
3.1.1 Determinação da pressão dos pratos de prensagem	17
3.2 Preparação dos suportes/ folhas	19
3.3 Estudo preliminar das condições de ensaio	19
3.3.1 Determinação do número de folhas de papel Kraft	19
3.3.2 Estudo preliminar para o papel Kraft	22
3.3.3 Estudo preliminar para o papel Melamínico Verde	22
3.3.4 Estudo preliminar para o papel Melamínico Vermelho	24
3.3.5 Estudo preliminar para o papel Overlay	25
3.4 Avaliação do estudo da superfície - Rugosidade	26
4. Resultados e Discussão	29
4.1 Papéis Impregnados	29
4.1.1 Papel Kraft	29

4.1.2	Papel Decorativo.....	30
4.1.2.1	Papel Decorativo Azul.....	31
4.1.2.2	Papel Decorativo Branco	31
4.1.2.3	Papel Decorativo Amarelo.....	32
4.1.2.4	Papel Decorativo Impresso - Cinzento	33
4.2	Papéis Overlay.....	35
4.2.1	Overlay OL1	36
4.2.2	Overlay OL2	37
4.2.3	Overlay OL3	38
4.2.4	Overlay OL4	38
4.3	Comparação entre métodos (ABES e Werzalit).....	40
4.4	Rugosidade dos papéis impregnados.....	41
5.	Conclusões.....	47
6.	Avaliação do trabalho realizado	49
6.1	Objectivos Realizados	49
6.2	Limitações e trabalhos futuros	49
6.3	Apreciação final	50
	Referências	51
	Apêndice 1 – Especificações dos pistões do ABES	55
	Anexo 1 – Ensaio Preliminares	57
	Anexo 2 – Ensaio Realizados.....	63
	Anexo 3 – Medição da Rugosidade	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Esquema de fabrico de laminados de alta pressão	3
Figura 2.1 – Configuração básica de HPL.....	6
Figura 2.2 – Esquematização do processo de impregnação	7
Figura 2.3 – Configuração básica de LPL	8
Figura 2.4 – Equipamento ABES	11
Figura 2.5 – Representação da análise do gráfico no Werzalit	13
Figura 3.1 – Folhas fixadas nas extremidades pelos mordentes da máquina	16
Figura 3.2 – Princípio de funcionamento do equipamento ABES	16
Figura 3.3 – Pratos e cilindros do equipamento ABES	17
Figura 3.4 – Diagrama do sistema de compressão do ABES	18
Figura 3.5 – Exemplo de provete final	19
Figura 3.6 – Configuração dos provetes variando o número de folhas de papel Kraft - a) 1+1; b) 2+2; c) 3+3; d) 4+4	20
Figura 3.7 – Configuração para a ligação papel Kraft - papel Kraft	21
Figura 3.8 – Variação da tensão de rotura em função do tempo para o papel Kraft a três temperaturas usando o ABES	22
Figura 3.9 – Configuração para a ligação papel Melamínico Verde - papel Melamínico Verde	23
Figura 3.10 – Variação da tensão de rotura em função do tempo para o papel Melamínico Verde a três temperaturas usando o ABES	23
Figura 3.11 – Configuração para a ligação papel Kraft - papel Melamínico Vermelho	24
Figura 3.12 – Variação da tensão de rotura em função do tempo para o papel Melamínico Vermelho a três temperaturas usando o ABES	24
Figura 3.13 – Configuração para os papéis Overlay	25
Figura 3.14 – Rugosímetro Surfrest SJ-400, a) medição da rugosidade; b) pormenor dos resultados	26
Figura 3.15 – Medição da rugosidade no sentido longitudinal (L) e transversal (T)	27

Figura 4.1 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para os papéis Kraft1 e Kraft2 e o modelo de ajuste dos dados experimentais	30
Figura 4.2 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Decorativo Azul e o modelo de ajuste dos dados experimentais	31
Figura 4.3 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Decorativo Branco e o modelo de ajuste dos dados experimentais.....	32
Figura 4.4 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Decorativo Amarelo e o modelo de ajuste dos dados experimentais	33
Figura 4.5 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Decorativo Cinzento e o modelo de ajuste dos dados experimentais.....	34
Figura 4.6 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para todos os papéis Decorativos e o modelo de ajuste dos dados experimentais	35
Figura 4.7 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Overlay OL1 e o modelo de ajuste dos dados experimentais.....	36
Figura 4.8 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Overlay OL2 e o modelo de ajuste dos dados experimentais.....	37
Figura 4.9 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Overlay OL3 e o modelo de ajuste dos dados experimentais.....	38
Figura 4.10 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Overlay OL4 e o modelo de ajuste dos dados experimentais.....	39
Figura 4.11 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para todos os papéis Overlay e o modelo de ajuste dos dados experimentais.....	39
Figura 4.12 – t_0 (gel time) em função do tempo de cura (Werzalit).....	40
Figura 4.13 – Parâmetros de rugosidade Ra - a) e Rz - b) médios para todos os tipos de papéis impregnados, medidos na direcção longitudinal.....	42
Figura 4.14 – Parâmetros de rugosidade Ra - a) e Rz - b) médios para todos os tipos de papéis impregnados, medidos na direcção transversal.....	44

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Valores da tensão de rotura para diferentes combinações variando o número de folhas de papel Kraft.....	21
Tabela 4.1 – Parâmetros de rugosidade medidos na direcção Longitudinal	41
Tabela 4.2 – Parâmetros de rugosidade medidos na direcção Transversal	43
Tabela A1.1 – Ensaio preliminares no ABES a três temperaturas para o papel Kraft.....	57
Tabela A1.2.1 – Ensaio preliminares no ABES a três temperaturas para o papel Melamínico Verde	58
Tabela A1.2.2 – Ensaio preliminares no ABES a três temperaturas para o papel Melamínico Verde	59
Tabela A1.3.1 – Ensaio preliminares no ABES a três temperaturas para o papel Melamínico Vermelho.....	60
Tabela A1.3.2 – Ensaio preliminares no ABES a três temperaturas para o papel Melamínico Vermelho.....	61
Tabela A2.1 – Ensaio da evolução da tensão de rotura no ABES para o papel Kraft.....	63
Tabela A2.2 – Ensaio da evolução da tensão de rotura no ABES para o papel Decorativo Azul.....	63
Tabela A2.3 – Ensaio da evolução da tensão de rotura no ABES para o papel Decorativo Branco.....	64
Tabela A2.4 – Ensaio da evolução da tensão de rotura no ABES para o papel Decorativo Amarelo	64
Tabela A2.5 – Ensaio da evolução da tensão de rotura no ABES para o papel Decorativo Impresso – Cinzento	65
Tabela A2.6 – Ensaio da evolução da tensão de rotura no ABES para o papel Overlay OL1	66
Tabela A2.7 – Ensaio da evolução da tensão de rotura no ABES para o papel Overlay OL2.....	67
Tabela A2.8 – Ensaio da evolução da tensão de rotura no ABES para o papel Overlay OL3.....	68

Tabela A2.9 – Ensaio da evolução da tensão de rotura no ABES para o papel Overlay OL4.....	69
Tabela A3.1 – Valores experimentais de Ra e Rz na direcção Longitudinal	71
Tabela A3.2 – Valores experimentais de Ra e Rz na direcção Transversal	72

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Automated Bonding Evaluation System
HLP	High Pressure Laminate
IPATES	Integrated Pressing And Testing System
KDO	Kraft-Decorativo-Overlay
LPL	Low Pressure Laminate
MDF	Medium Density Fiberboard
MF	Melamina-Formaldeído
MUF	Melamina-Ureia-Formaldeído
PF	Phenol-Formaldehyde
SIR	Sonae Indústria de Revestimentos
UF	Ureia-Formaldeído
WD	Wood-Decorativo
WDO	Wood-Decorativo-Overlay
WK	Wood-Kraft
WKD	Wood-Kraft-Decorativo
WKDO	Wood-Kraft-Decorativo-Overlay

NOTAÇÃO

A_j	Área da junta	mm^2
A_p	Área do pistão	mm^2
k	Pseudo-constante de reacção	s
p_{ar}	Pressão do ar	bar
t	Tempo	s
t_0 (gel time)	Tempo em que a reacção da cura da resina atinge a velocidade máxima	s
\tanh	Tangente hiperbólica	
σ	Tensão efectiva	bar
σ_a	Tensão	MPa
σ_{max}	Tensão de rotura máxima	MPa

1. Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto

Este projecto foi realizado no âmbito da cadeira de dissertação, do 2º ano do Mestrado de Engenharia de Madeiras e foi desenvolvido em colaboração com a empresa Sonae Indústria de Revestimentos, S.A. (SIR).

Os papéis impregnados são utilizados, no que respeita à indústria do mobiliário, como elementos constituintes dos laminados. Os laminados classificam-se em termolaminados de alta pressão (High Pressure Laminates - HPL) e em termolaminados de baixa pressão (Low Pressure Laminates – LPL).

Os laminados decorativos de alta pressão (HPL) apresentam uma grande variedade de aplicações ao nível de revestimentos de superfícies quer para uso comercial, quer para uso doméstico. Devido a serem resistentes à abrasão, a diferentes produtos químicos e à humidade, os HPL podem ser utilizados em aplicações que exijam elevados desempenhos físicos, químicos e mecânicos. Entre as suas principais aplicações destacam-se tampos de mesas e secretárias, pavimentos, balcões de cozinha, revestimento de portas e mobiliário. Para além das diversas texturas e oportunidades de design, os laminados oferecem durabilidade, fácil manutenção e baixo custo quando comparados com outros materiais, sendo no entanto bastante resistentes a riscos, manchas e à degradação pela radiação solar. Por estes motivos, o mercado de pavimentos laminados tem vindo a crescer muito rapidamente durante os últimos

15 anos, principalmente devido ao aparecimento de novos padrões e texturas e ao elevado nível de resistência ao desgaste que têm vindo a adquirir, transformando-os numa alternativa de alta qualidade e baixo custo relativamente aos pavimentos de madeira maciça (parquet, soalho).

A evolução destes produtos é contínua surgindo no mercado papéis impregnados com características diferenciadas, vocacionados para novas aplicações e novos mercados.

Os HPL são compostos por várias camadas de folhas de papel impregnadas com diferentes resinas que se unem quando são sujeitas a altas pressões e temperaturas, num processo de prensagem.

O núcleo do termolaminado é formado com folhas de papel kraft impregnadas com uma resina fenólica sobre o qual é sobreposta uma folha de papel decorativo, sendo este normalmente um papel de celulose impregnado com resina melamínica, pigmentado apresentando um desenho, padrão ou cor sólida. Por vezes é ainda utilizada uma folha de alfa-celulose transparente impregnada com resina melamínica, denominada de overlay, que serve de protecção ao papel decorativo. Pode-se ainda recorrer a um papel barreira, que se coloca entre o papel kraft e o papel decorativo, cuja função é conferir maior opacidade ao laminado.

Na produção de HPL, as folhas são empilhadas e colocadas entre chapas de acabamento que lhes confere o acabamento pretendido, como textura, brilho, etc. São depois prensados numa prensa de pratos quentes, a alta pressão e temperatura durante um determinado período de tempo.

O laminado resultante passa por uma etapa de corte e lixagem para obtenção das dimensões desejadas pelo cliente. É feito ainda um controlo visual da superfície do laminado e retiradas amostras para controlo das suas propriedades físicas e mecânicas em laboratório.

A etapa final destina-se ao armazenamento e acondicionamento dos laminados (Figura 1.1).

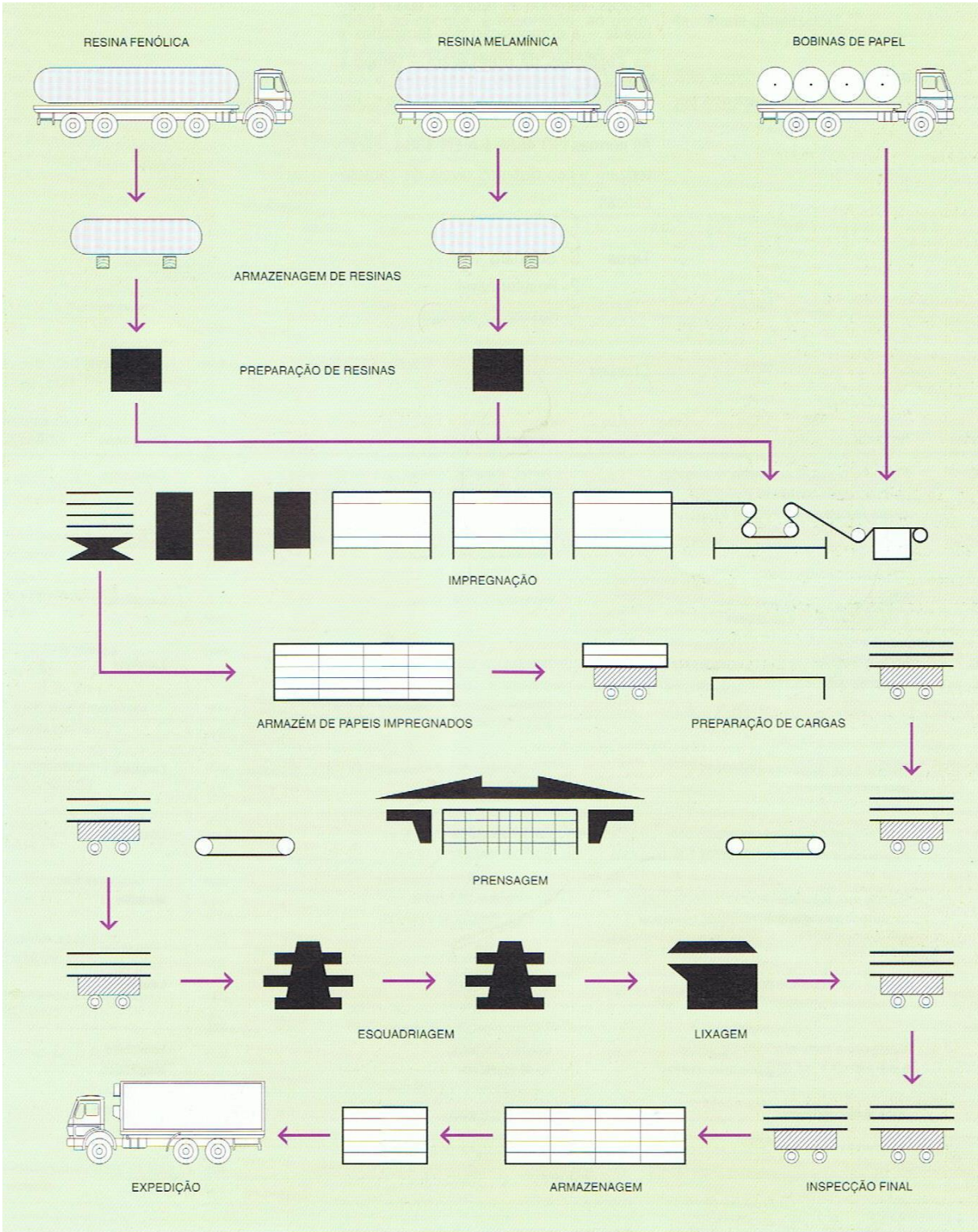


Figura 1.1 – Esquema de fabrico de laminados de alta pressão (adaptado de Sonae Indústria, 1995)

O objectivo deste projecto é a avaliação da cura de papéis impregnados de segunda geração. Para isso foram realizados alguns ensaios mecânicos, para testar a reactividade das resinas de todos os papéis utilizados na formação de um HPL usando o equipamento de Sistema de Avaliação Automático de Colagem (ABES), que permite efectuar a colagem de amostras de madeira, por prensagem a quente a uma dada temperatura e determinar a resistência da junta adesiva.

1.2 Organização da Tese

O presente documento encontra-se estruturado em 6 capítulos.

O primeiro capítulo corresponde a uma introdução onde é feita uma apresentação e o enquadramento do projecto desenvolvido e a sua estrutura.

No capítulo dois é feito um enquadramento teórico do projecto em que se refere o Estado da Arte, ou seja, é apresentado o desenvolvimento efectuado nos papéis de segunda geração.

No capítulo três, são descritas as técnicas experimentais utilizadas e testes feitos no início do projecto.

O quarto capítulo é referente à discussão e resultados, onde são apresentados os resultados obtidos em cada ensaio da cura das resinas dos papéis kraft, decorativos e overlay utilizados no fabrico de um laminado de alta pressão.

No quinto capítulo, encontram-se as conclusões retiradas da realização deste trabalho.

Por último, o sexto capítulo é referente a uma análise e avaliação de todo o trabalho realizado e apresentam-se propostas para um trabalho futuro.

Nos apêndices e anexos, encontram-se as fichas técnicas e resultados experimentais.

2. Estado da Arte

2.1 Laminados

Laminados de Alta Pressão (HPL)

Os laminados de alta pressão (HPL) são amplamente utilizados em móveis, pavimentos, bancadas de trabalho, sendo aplicados em superfícies horizontais e verticais que requerem alta resistência ao desgaste, abrasão e a manchas. Os laminados oferecem um grande efeito decorativo, apresentando superfícies com diferentes texturas, padrões, cores e desenhos, sem descuidar a durabilidade, a fácil manutenção e baixo custo em comparação com outros materiais, (Figueiredo et al., 2011).

Dado o maior interesse neste tipo de produto, a preocupação com o desenvolvimento de novos produtos com características melhoradas torna-se cada vez mais emergente num mercado tão competitivo como este. Dada a sua grande aplicabilidade, a procura de melhorias a nível das propriedades físicas e mecânicas tem-se intensificado, verificando-se grandes desenvolvimentos ao longo do tempo e um aumento do interesse por parte dos clientes em produtos com melhor desempenho e inovadores, (Cunha, 2010).

As placas de HPL são obtidas através de prensagem a quente de folhas de papel impregnadas com resinas termoendurecíveis. As características do produto final dependem de 3 variáveis: temperatura, pressão e tempo de ciclo, (Melo, 2011).

A definição de laminado de alta pressão segundo a norma EN 438-2:2005, consiste numa placa(s) constituída(s) por camadas de material fibroso celulósico (normalmente papel) impregnadas com resinas termoendurecíveis e unidas por um processo de alta pressão descrito a seguir.

O processo de alta pressão é definido como a aplicação simultânea de calor (temperatura ≥ 120 °C) e pressão elevada específica (≥ 5 MPa), que vai permitir o escoamento e a cura subsequente das resinas termoendurecíveis para se obter um material não poroso, homogêneo, e elevada massa volúmica (≥ 1.35 g/cm³), e com o acabamento da superfície requerido.

Segundo Marshall e Parent (1998), os dois principais tipos de papel usados no fabrico de HPL são o papel decorativo e kraft. Há muitas variações de HPL, incluindo o standard, *post-forming*, retardador de fogo, resistente a químicos e condutor. Os materiais usados para produzir cada tipo podem ser ligeiramente diferentes, mas o processo é essencialmente o mesmo.

Os laminados finos de alta pressão, têm uma espessura que varia entre 0,6 e 1,5 mm. Eles são obtidos pela sobreposição de várias camadas de papel kraft impregnado com resina fenólica, um papel decorativo e uma folha de revestimento (overlay) muito fina, ambos fortemente impregnados com resina de melamina-formaldeído, (Harrison, 2006).

Na Figura 2.1, estão representadas duas formas possíveis de configuração de um laminado de alta pressão.

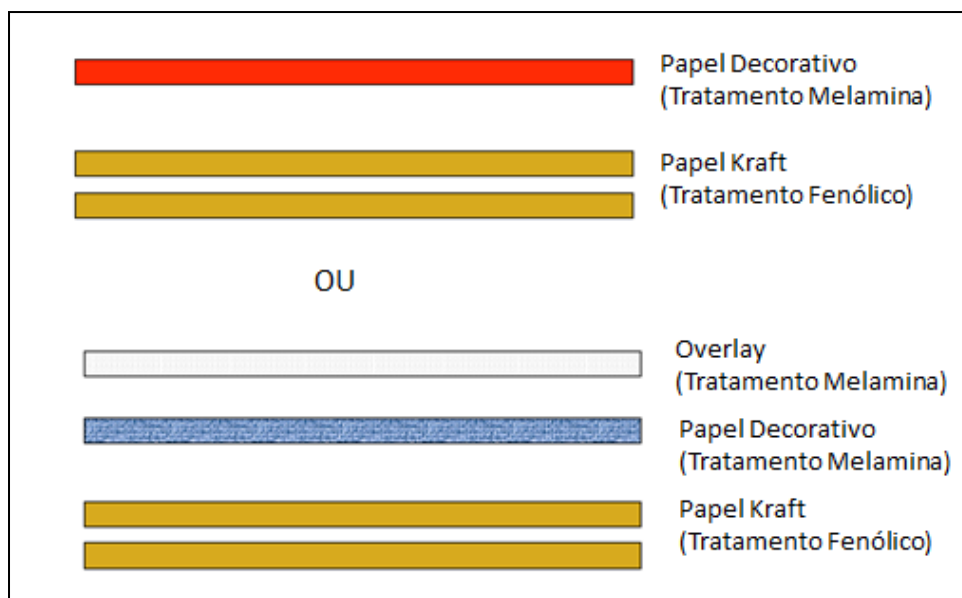


Figura 2.1 – Configuração básica de HPL (adaptado de Marshall e Parent, 2011)

Segundo Figueiredo et al. (2011), a resina de melamina, confere ao papel decorativo uma aparência atraente e à folha de revestimento proporciona uma resistência adicional à abrasão, à absorção de água e à humidade. Além disso, um papel barreira pode ser introduzido entre o papel kraft e as folhas decorativas para aumentar a opacidade do laminado.

O processo de impregnação é o primeiro passo para a produção de HPL quando os papéis brutos após desenrolamento estão imersos num banho com a resina correspondente promovendo, assim, uma mistura íntima de resina com a folha de papel, (Figueiredo et al., 2011).

Este processo é muito simples. É composto essencialmente por duas etapas: a impregnação propriamente dita e a secagem. Na Figura 2.2 está representado um esquema do processo de impregnação.

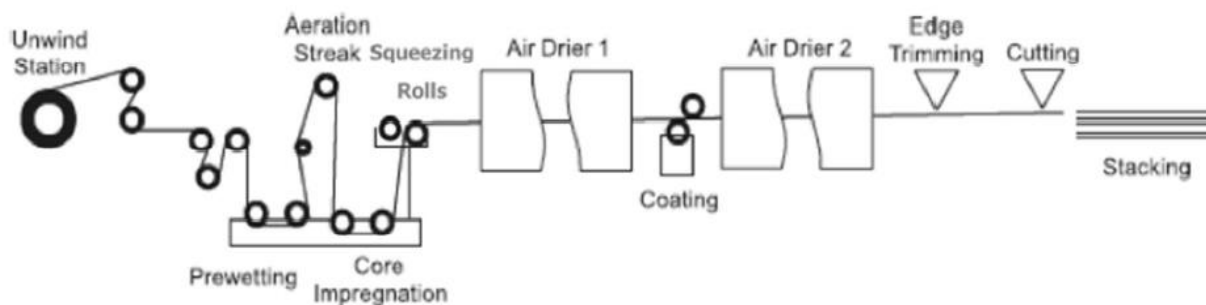


Figura 2.2 – Esquemática do processo de impregnação (adaptado de Figueiredo et al., 2011)

Laminados de Baixa Pressão (LPL)

Os laminados de baixa pressão ou Low Pressure Laminates (LPL), são laminados com espessura inferior aos laminados de alta pressão. Também chamado de papel decorativo ou papel saturado, este tipo de revestimento pode ter um aspecto liso ou com padrões (impressos), (Harrisson, 2006).

O mercado dos laminados de baixa pressão é, há já alguns anos, um mercado em franco crescimento. Nos últimos anos, uma boa parte do seu crescimento resulta da redução da quota de mercado dos HPL em consequência da diminuição das diferenças no desempenho e no preço destes dois produtos, LPL e HPL. É enorme o número de consumidores que cada vez mais estão a encontrar aplicações para os LPL que têm sido tradicionalmente considerados do domínio dos HPL, (Marshall e Parent, 1998).

O desempenho destes produtos, nomeadamente, a resistência ao impacto e a resistência à abrasão dos LPL são inferiores aos obtidos com os HPL. As propriedades físicas variam de acordo com a percentagem de resina usada, a qualidade do papel e as condições de laminação, (Harrisson, 2006).

Os custos de produção são 30-50 % mais baixos do que aqueles associados com o fabrico de laminados de alta pressão, (Marshall e Parent, 1998).

Na Figura 2.3, está representada a construção básica de um laminado de baixa pressão.

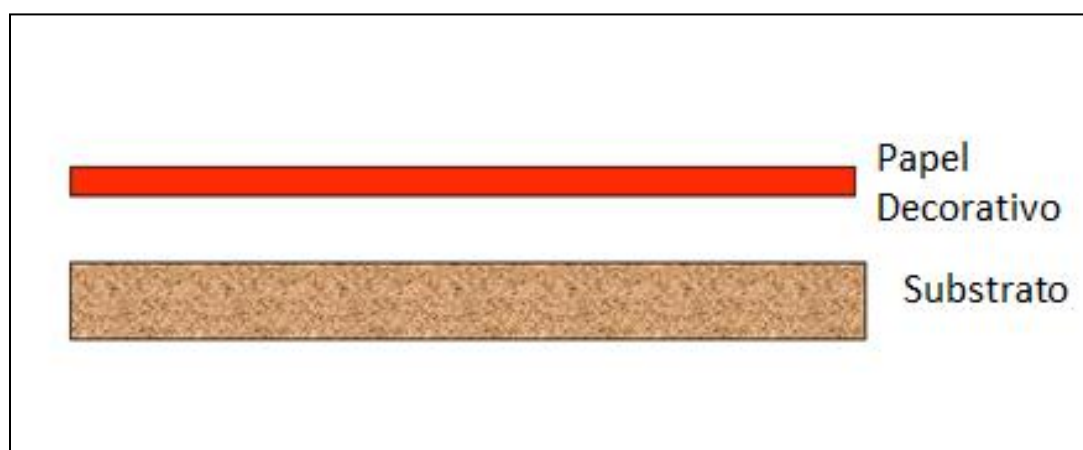


Figura 2.3 – Configuração básica de LPL (adaptado de Marshall e Parent, 2011)

2.2 Constituição do Laminado

2.2.1 Papéis

Papel Kraft

A espessura do laminado de alta pressão depende do número de folhas de papel kraft utilizados e da sua gramagem, o que normalmente se situa entre 130 e 300 g/m².

Este papel é constituído principalmente por fibras de madeira e é saturado com resina fenólica. A cor e a composição química desse tipo de papel não são factores críticos para o uso pretendido. Pelo contrário, a saturação e a estrutura do papel são parâmetros muito importantes, (Harrisson, 2006).

Após a impregnação, o papel é enviado para um conjunto de secadores para evaporar os componentes voláteis presentes na resina numa gama de 6-8 %.

Consoante o tipo de papel e de resina em uso, a folha também pode ser submetida a um segundo banho, designado como revestimento (coating), para assegurar uma boa impregnação. O papel é, em seguida arrefecido por um conjunto de rolos com circulação interna de água fria e cortado no tamanho desejado, ou rebobinado, (Figura 2.2), (Figueiredo et al., 2011).

Figueiredo et al. (2011), estudaram a influência da estrutura dos papéis kraft na sua impregnação com resina de fenol-formaldeído (PF). Concluíram que os resultados deste trabalho forneceram uma prova de que a origem do papel kraft, usado no corpo de laminados decorativos, afecta o seu desempenho de impregnação com resina PF.

Papel Barreira

É um papel branco cuja função é garantir a uniformidade de cor à superfície decorativa do laminado, (Sonae Indústria, 1995).

Papel Decorativo

Os papéis decorativos são de dois tipos, unicolores e impressos (imitações de madeiras, de pedras, fantasia, etc.). Estes papéis são impregnados com resina melamina-formaldeído (MF). Os papéis decorativos conferem ao laminado o aspecto desejado.

Existem também folhas decorativas de alumínio que oferecem ao laminado um aspecto superficial metálico, (Melo, 2011).

Folha Overlay

A folha de revestimento, de desgaste ou folha de cobertura (overlay) são os diferentes termos utilizados para descrever a película de papel impregnado com resina de melamina que é utilizada para cobrir o papel decorativo. Esta folha torna-se clara e/ou transparente, durante a prensagem, (Harrisson, 2006).

As folhas finas geralmente contêm mais resina melamínica do que as folhas impressas, proporcionando resistência à abrasão, bem como resistência à queimadura de cigarro, à água quente e a solventes domésticos comuns, (Rowell, 1999).

Para laminados de alta resistência à abrasão, o seu desempenho pode ser melhorado pela adição de cargas minerais ao papel, (Sonae Indústria, 1995).

2.2.2 Resinas

Resina Melamina-Formaldeído

As resinas de melamina-formaldeído (MF) são usadas como polímeros para a impregnação de papel para revestimentos de painéis de derivados de madeira (sobretudo aglomerado de partículas e MDF) assim como laminados decorativos. Estas resinas são também utilizadas como adesivos para a produção de aglomerados, MDF e contraplacado, quando a resistência à humidade é uma propriedade desejada.

As resinas de melamina-formaldeído são também usadas em sistemas de resinas especialmente formuladas (isto é alquilado, metilado, butilado, ou isobutilado) para produzir revestimentos de superfície altamente resistentes. O revestimento pode ser à base de água ou à base de solvente. Durante o processo de revestimento, estas resinas formam sistemas de reticulados eficientes, por reacção com resinas de poliéster, acrílico e epóxi. Os benefícios dos revestimentos à base de melamina reticulada traduzem-se numa melhor retenção de cor, resistência ao desgaste e resistência ao risco, (Carvalho et al., 2012).

Resina Fenólica

Em 1909, Leo Bakeland inventou a primeira resina termoendurecível, uma resina PF, vendida comercialmente como Bakelite. Embora tenham encontrado diversas aplicações no passado, o seu uso actual é mais restrito, principalmente devido ao elevado custo. A elevada estabilidade térmica e propriedades de resistência ao fogo destas resinas permitem um largo espectro de utilizações, nomeadamente na indústria automóvel e na construção. A principal utilização é no fabrico de fibra de vidro e isolamento de lã de rocha. Estas resinas são também utilizadas em derivados de madeira para aplicações estruturais e como aglutinante para fibras de vidro e isolamento de lã mineral.

Como já foi referido, outra importante utilização final das resinas PF são os laminados de alta pressão, quer para laminados decorativos ou industriais. Os laminados são geralmente colados a substratos, geralmente de aglomerado de partículas ou contraplacado, (Carvalho et al., 2012).

2.3 Sistema de Avaliação Automática de Colagem (ABES)

O equipamento ABES (Automated Bonding Evaluation System) (Figura 2.4), permite a caracterização de diferentes catalisadores, adesivos e a sua afinidade com a madeira, bem como as suas características de cura a diferentes temperaturas e tempos de prensagem e respectiva tensão de rotura. O ABES, desenvolvido por Philip Humphrey, foi concebido para permitir uma interpretação da dinâmica de cura e uma interpretação dos fenómenos que ocorrem durante a produção de painéis. Este equipamento, permite, de uma forma expedita, rápida e fiável avaliar a formação de ligações dos novos adesivos. Apesar das suas potencialidades, esta técnica tem sido pouco explorada na caracterização de adesivos, (Costa et al., 2011).

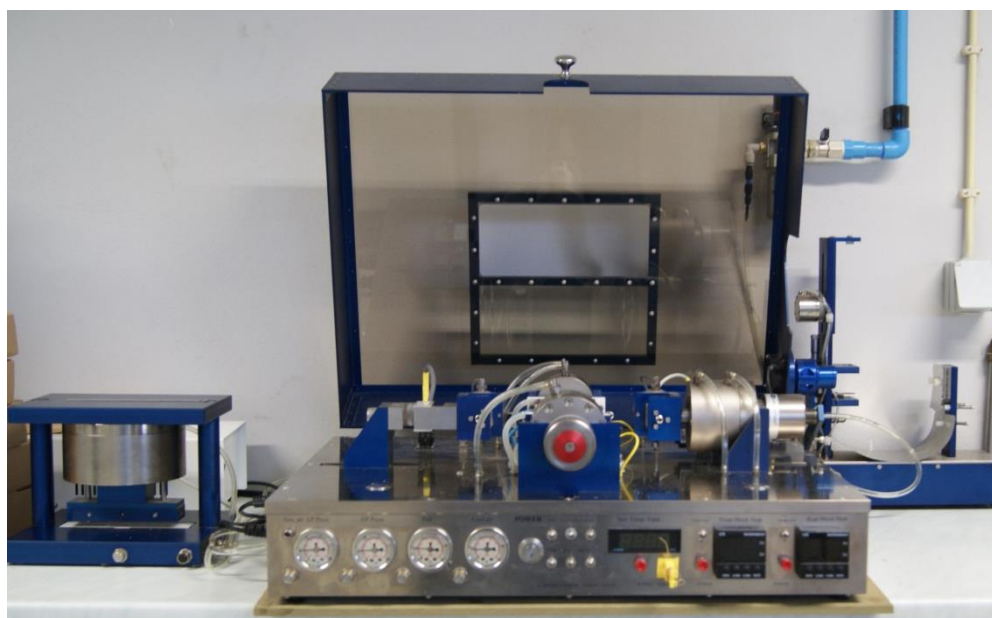


Figura 2.4 – Equipamento ABES

O equipamento ABES já demonstrou ser uma excelente ferramenta para avaliar o desempenho de colagem de adesivos ureia-formaldeído (UF). No entanto, Humphrey admite que esta técnica é mais adequada para identificar a sensibilidade de um sistema adesivo a diversas variáveis, do que para estimar a resistência de uma junta colada num dado processo industrial, (Martins et al., 2012).

Segundo Ferra et al. (2011), a avaliação do desenvolvimento da resistência da ligação adesiva durante a prensagem a quente usando o ABES mostrou que as quatro resinas UF sintetizadas usando condições diferentes terão diferente desempenho no processo de colagem de derivados de madeira.

Costa et al. (2012) estudaram o desempenho de catalisadores alternativos ao sulfato de amónio para curar resinas UF usando ABES. Concluíram que o ácido fosfórico é capaz de catalisar efectivamente a cura de resinas UF, apesar do sulfato de amónio apresentar um desenvolvimento da ligação adesiva mais rápido.

Ferra et al. (2009) estudaram a avaliação da cura de dois adesivos UF pelos métodos ABES e IPATES (Integrated Pressing And Testing System). Estes permitiram descrever o comportamento de cada sistema de adesivo para diferentes condições de funcionamento (temperatura de prensagem, tempo de prensagem e teor em sistema adesivo (apenas para IPATES)). Genericamente, os resultados obtidos pelo IPATES permitiram concluir que a resina produzida pelo processo alcalino-ácido apresenta um melhor desempenho, em comparação com a resina produzida pelo processo fortemente ácido. No entanto, os resultados do ABES mostraram-se pouco robustos já que as diferenças são ligeiras entre os dois sistemas adesivos, e dependem das condições de operação.

Martins et al. (2012) apresentaram novas aplicações para o ABES tendo estudado a reactividade de diferentes combinações adesivo-substrato (adesivo-cortiça, papel impregnado-madeira e laminado-madeira).

Cetin et al. (2002) estudaram a incorporação de lenhina obtida pelo processo organosolv na resina fenol-formaldeído para aglomerado de partículas. Concluíram que quanto mais elevado for o teor de lenhina incorporada na resina menor é a qualidade da colagem avaliada usando o ABES.

Costa et al. (2012) apresentaram um modelo matemático para a representação dinâmica da colagem de madeira com resinas ureia-formaldeído. Estes autores identificaram duas fases distintas no comportamento do referido fenómeno. Na primeira fase, identificada como a cura da resina, em que a tensão de rotura aumenta de acordo com o tempo de prensagem, sendo mais significativa para temperaturas mais elevadas. Na segunda fase, o valor da tensão de rotura estabiliza para valores próximos de 7 MPa, correspondendo este valor à tensão de rotura da folha de faia. Para tempos de cura superiores, verificaram um decréscimo da tensão máxima de rotura, podendo ser associado à degradação térmica da junta de cola e/ou degradação da própria madeira. O valor de tensão máxima é dependente da qualidade da madeira, o que pode justificar alguma variabilidade nos resultados dos diferentes ensaios.

Recorreram a um modelo matemático, representado por uma função de três variáveis apresentada na equação 2.1, que permite descrever os resultados experimentais.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max}}{2} \left(1 - \tanh \left(\frac{t - t_0}{k} \right) \right) \quad (2.1)$$

Os três parâmetros do modelo são: σ_{max} (tensão máxima de rotura da junta), t_0 (tempo de gel da resina) e k (constante dinâmica de cura). Estes parâmetros pretendem interpretar os fenómenos envolvidos durante a reacção de cura do adesivo. Este modelo matemático permite uma fácil linearização, facilitando assim o seu tratamento matemático (equação 2.2):

$$\operatorname{arctanh} \left(1 - 2 \frac{\sigma_a}{\sigma_{max}} \right) = \frac{t - t_0}{k} \quad (2.2)$$

2.4 Determinação do tempo de cura (Método de Werzalit)

Este teste é realizado no equipamento Werzalit da marca Julabo, num banho termostático, onde a amostra é imersa em óleo de silicone a 140 °C durante um determinado período de tempo. O tempo em que a amostra fica submersa irá depender do tipo de papel que está a ser analisado. Os papéis decorativos, normalmente, têm um tempo de cura entre 1-3 minutos. O tempo de cura corresponde ao tempo em que o endurecimento da amostra é 95 % da dureza máxima (Figura 2.5).

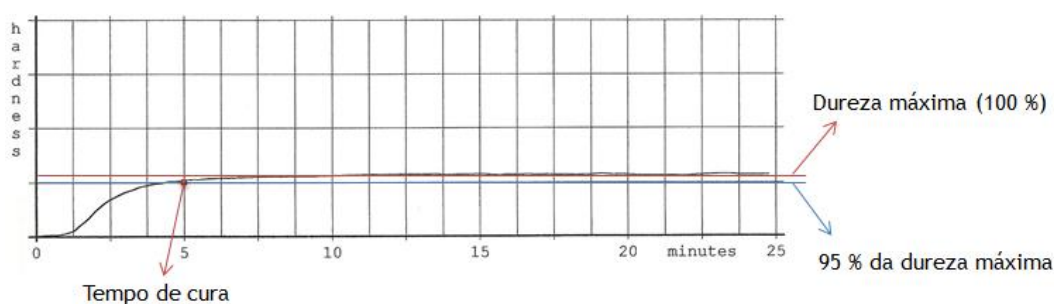


Figura 2.5 – Representação da análise do gráfico no Werzalit (adaptado de Sousa, 2011)

3. Descrição Técnica

3.1 ABES

O equipamento ABES, desenvolvido por Philip Humphrey, foi concebido para permitir uma interpretação da dinâmica de cura e uma interpretação dos fenómenos que ocorrem durante a produção de painéis, (Costa et al., 2011).

Este equipamento permite o controlo preciso da pressão de colagem, temperatura dos pratos, tempo de prensagem e alinhamento das amostras, (Costa et al., 2011).

É constituído por uma pequena prensa e uma máquina de ensaios, o que permite efectuar a colagem de amostras de madeira por prensagem a quente a uma dada temperatura (desde a temperatura ambiente até 200 °C) e determinar a resistência da junta adesiva.

Normalmente utilizam-se como substrato duas folhas de madeira, de características homogéneas como a faia, unidas por uma linha de cola (adesivo a estudar) que são fixadas nas extremidades por dois mordentes, que fazem parte da máquina de ensaios (Figura 3.1), (Humphrey, 2009).

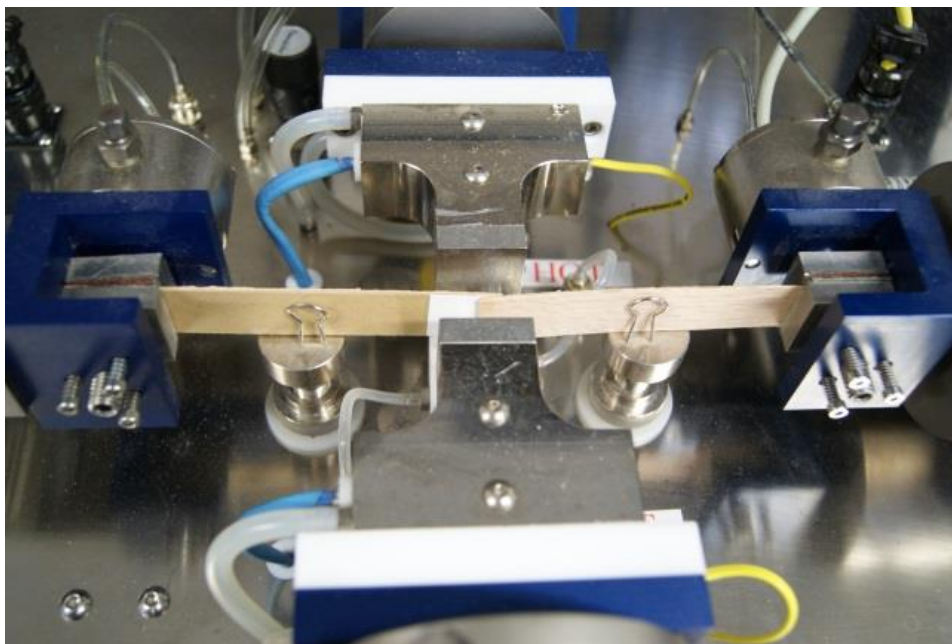


Figura 3.1 – Folhas fixadas nas extremidades pelos mordentes da máquina

A parte sobreposta das duas folhas é prensada a pressão e temperaturas definidas e durante um determinado tempo (Figura 3.2). No fim do tempo de prensagem estipulado, o conjunto é submetido a uma carga de tracção a uma determinada velocidade até à rotura, sendo no final determinada a tensão de rotura ou seja a resistência ao corte da junta de cola, (Humphrey, 2009).

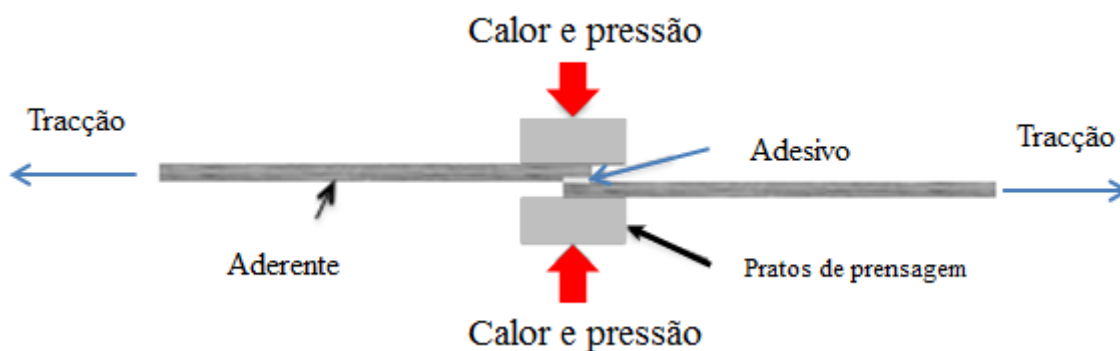


Figura 3.2 - Princípio de funcionamento do equipamento ABES

Neste projecto, e uma vez que o objectivo era o estudo da cura das resinas utilizadas na impregnação dos papéis, não foi utilizada qualquer tipo de resina como ligante. Apenas foram colocados os provetes de papel impregnado, sobrepostos um no outro, em que a área de contacto é de 100 mm².

Os dados experimentais obtidos (tensão de rotura para cada tempo de prensagem) foram processados de acordo com a metodologia apresentada por Costa et al. (2011). Foram construídos gráficos de tensão de rotura em função do tempo de prensagem. Posteriormente foi ajustado um modelo constituído por três parâmetros (tensão máxima, tempo de gel e pseudo-constante de reacção (equação 3.1)).

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max}}{2} * (1 - \tanh * \left(\frac{t - t_0}{k}\right)) \quad (3.1)$$

3.1.1 Determinação da pressão dos pratos de prensagem

Uma vez que a norma fornecida pelo fornecedor do ABES fixa as condições mais adequadas para a avaliação da cura de ligações adesivo-madeira, numa fase inicial do projecto, foi necessário realizar um estudo preliminar para determinar a pressão máxima a que se podiam ensaiar os papéis em estudo. Para tal, utilizou-se o catálogo de descrição dos componentes do fornecedor do equipamento ABES (Apêndice 1).

Através da consulta do catálogo do fornecedor foi possível determinar que os cilindros pneumáticos (responsáveis pela prensagem) (Figura 3.3) eram respectivamente o modelo 1 5/8 ” (221) Bore para o pistão secundário e o modelo 2 ” (321) para o pistão principal.

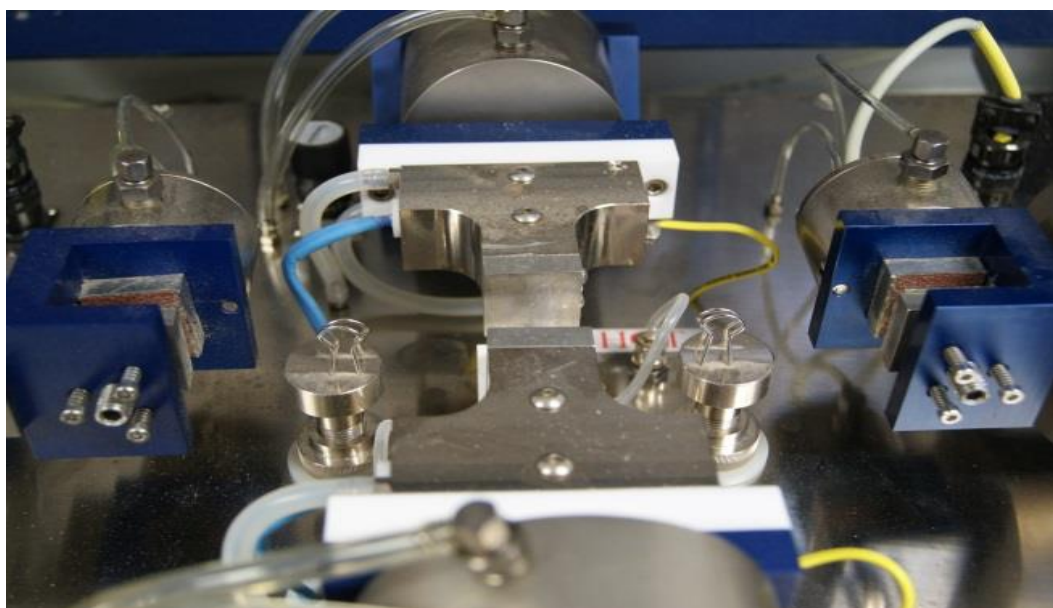


Figura 3.3 – Pratos e cilindros do equipamento ABES

A tensão efectiva (σ) na junta pode ser estimada a partir da pressão do ar no interior do pistão e as áreas internas do pistão ($A_p=1338 \text{ mm}^2$) e da junta ($A_j=100 \text{ mm}^2$) (Figura 3.4), através da equação 3.2:

$$\begin{aligned} \sigma &= P_{ar} * \frac{A_p}{A_j} \\ &= 5.6[\text{bar}] * \frac{1338[\text{mm}^2]}{100[\text{mm}^2]} \\ &= 75 \text{ bar} \end{aligned} \tag{3.2}$$

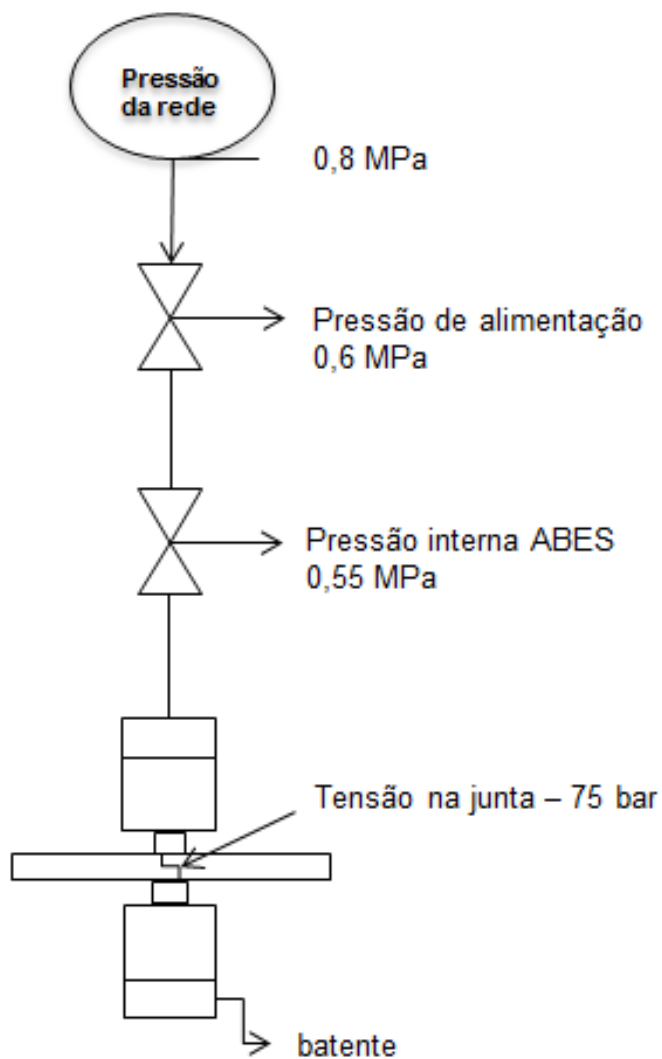


Figura 3.4 – Diagrama do sistema de compressão do ABES

3.2 Preparação dos suportes/ folhas

Para a realização deste projecto utilizaram-se vários tipos de folhas de papel impregnado, tais como: papel Kraft, papel Decorativo e papel Overlay.

Antes do início dos ensaios para a avaliação da cura das resinas destes papéis usando o ABES, realizaram-se vários ensaios de tracção numa máquina de ensaios. Para isso, fizeram-se vários provetes, com a ajuda do cortador de lamelas do equipamento ABES, com uma dimensão final de 120x20 mm (Figura 3.5). Esta dimensão final foi utilizada para os papéis kraft, folhas de madeira de faia e papel decorativo branco que serviu de suporte para a folha overlay (ver secção 3.3.5).



Figura 3.5 – Exemplo de provete final

3.3 Estudo preliminar das condições de ensaio

3.3.1 Determinação do número de folhas de papel Kraft

Fizeram-se ensaios para a determinação do número de folhas de papel Kraft necessárias para garantir uma boa amarração dos provetes, durante os ensaios de tracção.

Realizaram-se os ensaios a 110 °C e 140 °C de temperatura com uma variação de tempo de prensagem entre os 0 e 600 segundos, variando o número de folhas Kraft (1+1; 2+2; 3+3; 4+4) (Figura 3.6). Os valores destes ensaios encontram-se na Tabela 3.1.

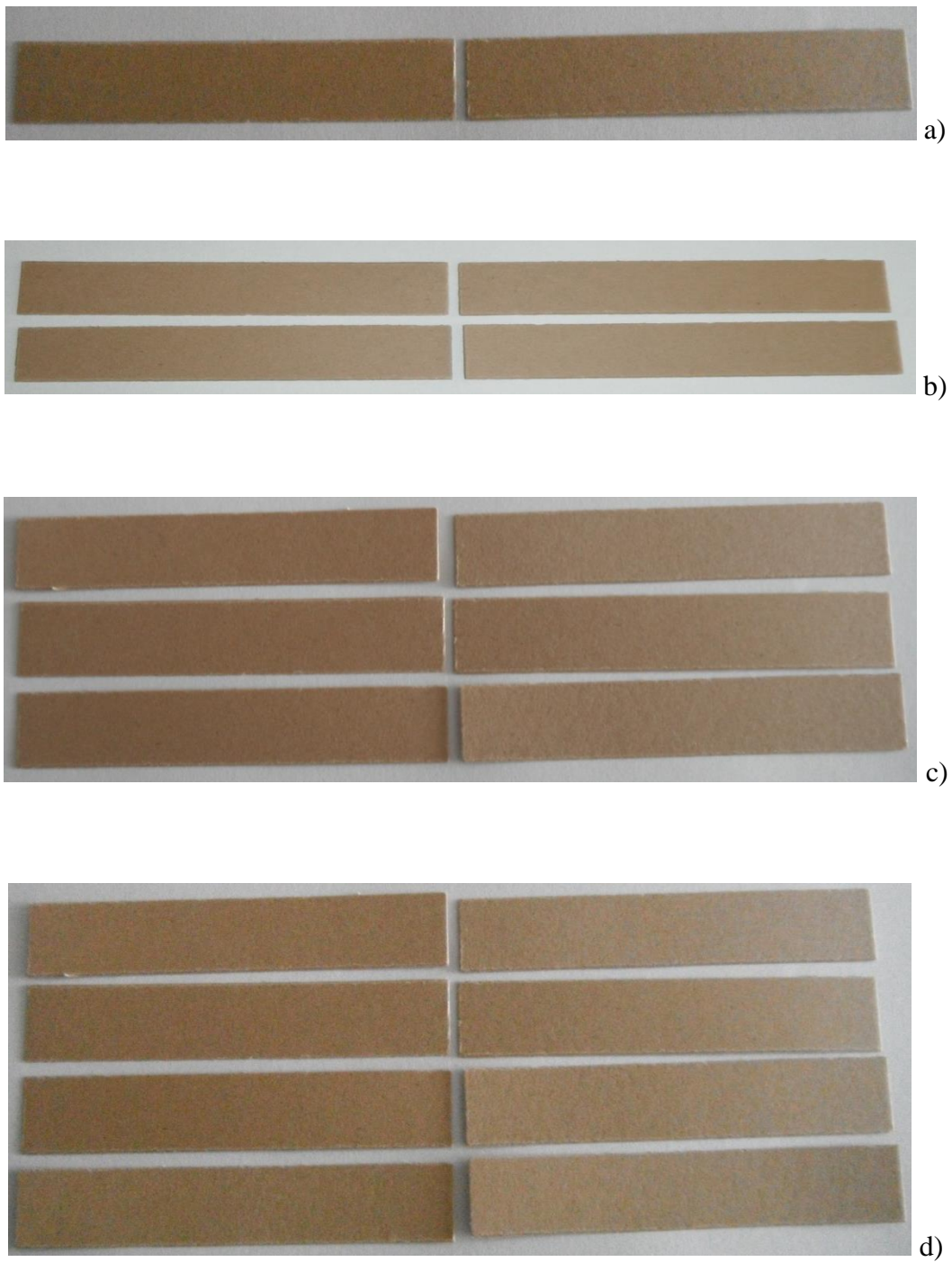


Figura 3.6 – Configuração dos provetes variando o número de folhas de papel Kraft

a) 1+1; b) 2+2; c) 3+3; d) 4+4

Tabela 3.1 – Valores da tensão de rotura para diferentes combinações variando o número de folhas de papel Kraft

Serie	Nº Folhas	Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Tensão (MPa)	Eliminado
1	1+1	1	140	600	270,48	
1	1+1	2	140	300	267,8	
2	1+1	3	110	300	119,97	
2	1+1	4	110	600	131,22	
2	1+1	5	110	150	106,05	
2	1+1	6	110	75	44,99	
3	2+2	7	140	300	359,39	
3	2+2	8	140	600	435,44	
4	3+3	9	140	300	330,47	1
4	3+3	10	140	600	645,4	
5	4+4	11	140	300	546,31	
5	4+4	12	140	600	645,4	
5	4+4	13	140	300	543,1	
4	3+3	14	140	300	502,39	
4	3+3	15	140	150	385,7	

Após este estudo, percebeu-se que ensaiar papel Kraft sem qualquer tipo de suporte (folha de madeira), não garantia uma boa amarração e conseqüentemente um bom ensaio de tracção. O papel Kraft partia pelos mordentes, e a temperaturas elevadas ficava colado aos pratos da prensa do ABES, o que não era o ideal para o estudo.

Concluiu-se, que para os restantes ensaios a realizar, os papéis Kraft teriam que ter um suporte atrás de cada provete. Ou seja, para além da folha Kraft a ensaiar, juntou-se um provete de madeira – WK+KW (Figura 3.7), mas apenas a ligação Kraft-Kraft foi considerada nos ensaios.

**Figura 3.7** – Configuração para a ligação papel Kraft - papel Kraft

3.3.2 Estudo preliminar para o papel Kraft

Para o estudo da ligação Kraft–Kraft, fizeram-se vários ensaios a temperaturas de 120 °C, 130 °C e 140 °C, com uma variação de tempo de prensagem entre os 0 e 600 segundos. Através da análise da Tabela A1.1 (Anexo 1) e das curvas de tensão de rotura em função do tempo (Figura 3.8), conclui-se que a melhor temperatura a utilizar para ensaiar este tipo de papel impregnado é a 140 °C, uma vez que a temperaturas inferiores, após 600 s a resina não atingiu um nível de cura adequado (tensão de rotura limite inferior a 7 MPa).

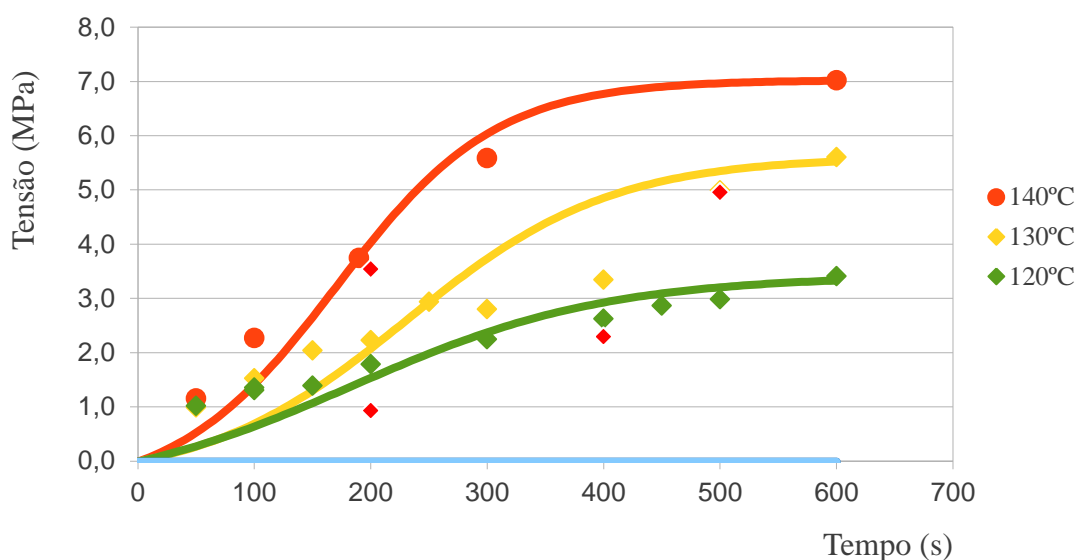


Figura 3.8 – Variação da tensão de rotura em função do tempo para o papel Kraft a três temperaturas usando o ABES

3.3.3 Estudo preliminar para o papel Melamínico Verde

Uma vez que o papel melamínico é muito frágil se fosse cortado num provete de 120x20 mm, seguro pelos mordentes e, assim prensado, iria acontecer que as folhas partiriam automaticamente pelos mordentes e com o calor dos pratos, iriam colar-se a estes.

Para evitar estes dois problemas, optou-se por cortar o papel melamínico em amostras de aproximadamente 20x20 mm que depois foram fixadas com fita-cola a provetes de 120x20 mm de folha de madeira de faia, visto que a madeira impede que o papel melamínico cole aos pratos de prensagem.

Uma vez que neste estudo se pretendia estudar a ligação melamínica-melamínica, então a configuração dos provetes foi a seguinte: WD+DW (Figura 3.9).

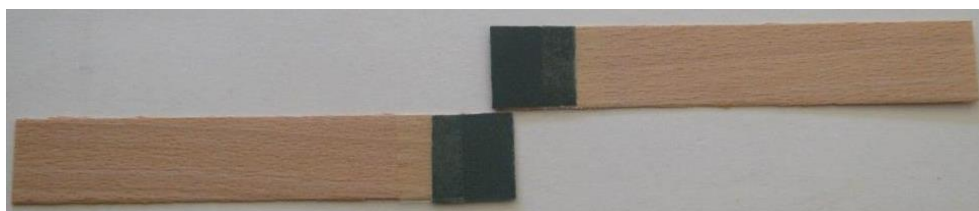


Figura 3.9 – Configuração para a ligação papel Melamínico Verde - papel Melamínico Verde

Os ensaios foram feitos a 120 °C, 130 °C e 140 °C, com uma variação de tempo de prensagem entre os 0 e os 600 segundos. Pelos valores obtidos na Tabela A1.2.1 e A1.2.2 (Anexo 1) e pelas três curvas de tensão de rotura (Figura 3.10), conclui-se que a melhor temperatura para ensaiar o papel melamínico verde é a 140 °C, uma vez que a temperaturas mais baixas a cura da resina ainda é insuficiente para garantir uma tensão de rotura do papel de 7 MPa.

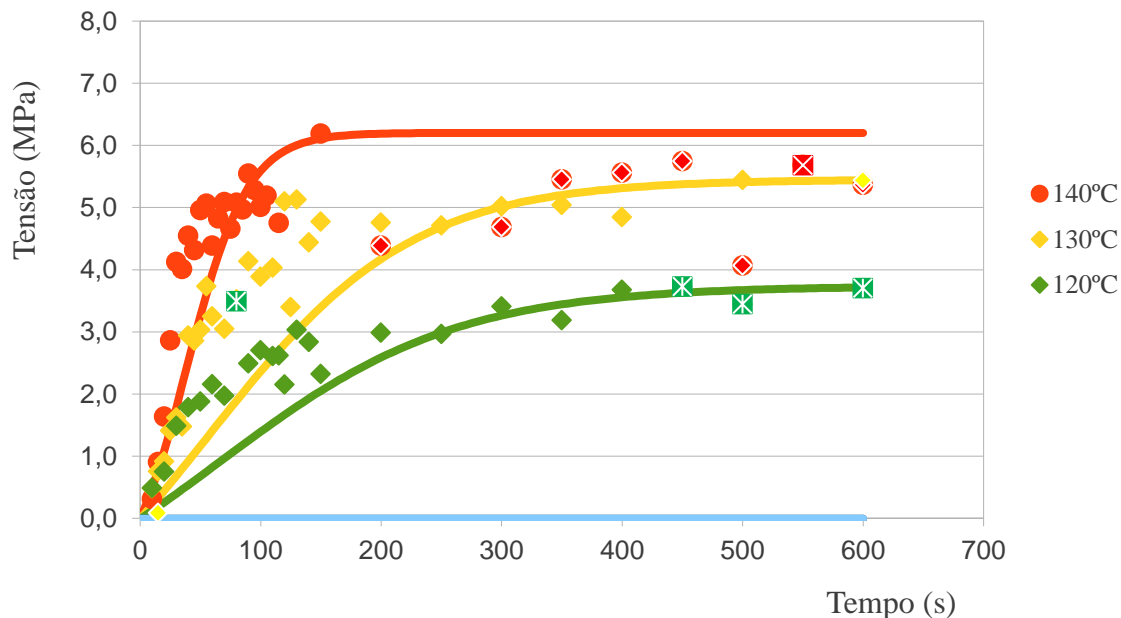


Figura 3.10 – Variação da tensão de rotura em função do tempo para o papel Melamínico Verde a três temperaturas usando o ABES

3.3.4 Estudo preliminar para o papel Melamínico Vermelho

Para este tipo de papel melamínico, pretendeu-se estudar a ligação melamínica-fenólica, ou seja, analisar uma ligação deste papel com papel Kraft. Através dos resultados obtidos anteriormente com os testes ao papel Kraft e ao papel melamínico e tendo em conta os problemas anteriormente mencionados, a configuração dos provetes para este tipo de ligação teve que ser a seguinte: WKD+KW (Figura 3.11).



Figura 3.11 – Configuração para a ligação papel Kraft - papel Melamínico Vermelho

Neste caso, em vez de o papel melamínico ficar colado com fita-cola a um provete de madeira, ficou colado a um provete de papel Kraft.

Os testes foram feitos a 120 °C, 130 °C e 140 °C, com uma variação de tempo de prensagem entre os 0 e os 600 segundos. Através da Tabela A1.3.1 e A1.3.2 (Anexo 1) e pelas três curvas de tensão de rotura (Figura 3.12), a melhor temperatura para ensaiar este tipo de ligação é a 140 °C.

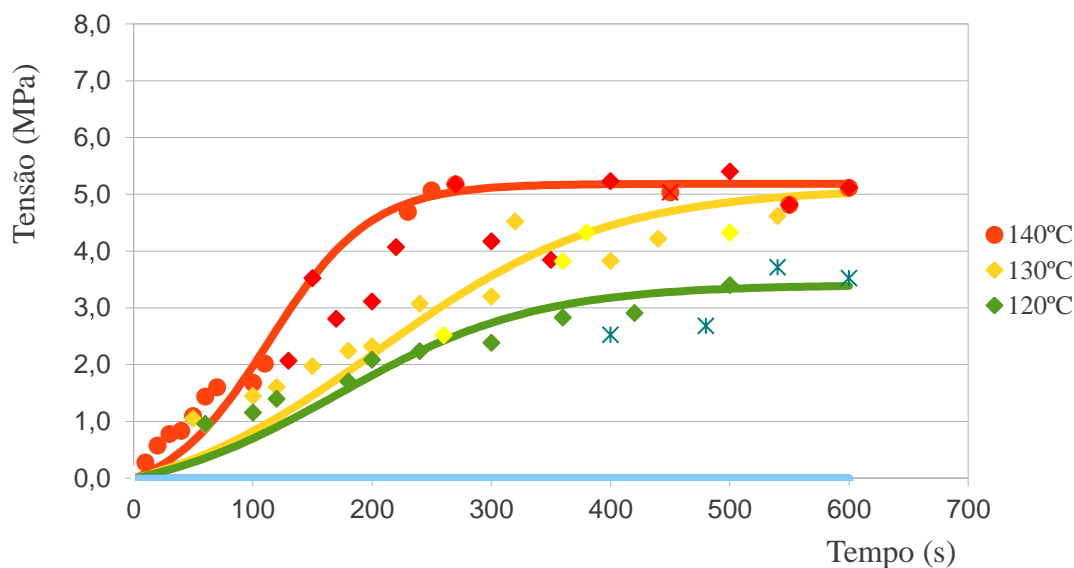


Figura 3.12 – Variação da tensão de rotura em função do tempo para o papel Melamínico Vermelho a três temperaturas usando o ABES

Concluídos os estudos preliminares das ligações kraft-kraft, melamínica-melamínica e kraft-melamínica, concluiu-se que para garantir uma boa tracção nos ensaios de avaliação da cura das resinas dos papéis Kraft e Decorativos, utilizados neste estudo, a configuração dos provetes deverá ser sempre WK+KW e WKD+KW, respectivamente.

3.3.5 Estudo preliminar para o papel Overlay

Sendo o papel Overlay, um papel fino e com uma quantidade elevada de resina melamínica, estava fora de questão, cortá-lo em provetes de 120x20 mm. Para além disso, e uma vez que se pretendia testar ligações papel Decorativo-Overlay fizeram-se apenas testes para a configuração dos provetes.

As opções de formação testadas foram:

1º - WKDO+DKW – concluiu-se que esta formação era a ideal, considerando que conferiu um bom suporte para os papéis Overlay, permitindo desta forma a avaliação que se pretendia para estes papéis – Decorativo-Overlay.

2º - WKDO+KW – esta formação não é ideal, visto que na construção de um laminado de alta pressão, o Overlay nunca é colocado em cima de papel Kraft, mas em cima de papel Decorativo.

3º - KDO+DK – verificou-se que esta formação era boa para temperaturas mais baixas, pois com o aumento de tempo à temperatura de 140 °C, o papel Kraft fica colado aos pratos da prensa do ABES.

Das três opções de formação dos provetes, ficou estabelecido que iria ser utilizada a primeira. Após dois ensaios verificou-se que esta montagem por ter demasiadas camadas tornava-se muito complexa de realizar, por essa razão foi ligeiramente modificada retirando uma das camadas de suporte (papel Kraft).

Assim, para a generalidade dos ensaios do papel Overlay a configuração dos provetes será WDO+DW (Figura 3.13).



Figura 3.13 – Configuração para os papéis Overlay

3.4 Avaliação do estudo da superfície - Rugosidade

Uma das técnicas mais comuns para a análise da microgeometria da superfície, é a medição da rugosidade, uma vez que é uma técnica simples e permite obter resultados rapidamente.

A rugosidade representa as irregularidades mais finas da textura da superfície, causadas por diversas situações.

O aparelho utilizado na medição desta técnica é o rugosímetro que pode operar de várias formas, conforme o princípio de funcionamento, seja por contacto (palpação) ou não-contacto (óptico com feixe laser), e que permite determinar vários parâmetros de acordo com várias normas.

O rugosímetro usado neste estudo foi o Surftest SJ – 400 da Mitutoyo, com capacidade para determinar 36 parâmetros de rugosidade diferentes, sendo constituído por uma unidade de controlo com uma impressora térmica integrada para a impressão dos resultados obtidos, um braço de deslocamento axial que percorre a superfície e um sensor (Figura 3.14).



a)

b)

Figura 3.14 – Rugosímetro Surftest SJ-400, a) medição da rugosidade; b) pormenor dos resultados

A determinação dos parâmetros de rugosidade, Ra (rugosidade média aritmética) e Rz (média das alturas no perfil de rugosidade) das superfícies, foi baseada nas especificações da norma ISO 4287-1997 (comprimento de avaliação 1.25mm - cut-off de 0.25mm).

Para cada tipo de papel impregnado, mediu-se a rugosidade em dois provetes, realizando em cada um quatro medições na face e na contra-face. Efectuou-se a medição no sentido

longitudinal e transversal (Figura 3.15), mas para os provetes do papel Kraft foi impossível na direcção transversal, face à reduzida largura do provete. Contudo, não era pertinente para este tipo de papel, uma vez que o objectivo era verificar através da medição da rugosidade a existência de erros de impregnação, o qual só faz sentido para os papéis Decorativos e Overlay, sendo que para o papel Kraft estes erros não afectam a qualidade da superfície final.



Figura 3.15 – Medição da rugosidade no sentido longitudinal (L) e transversal (T)

4. Resultados e Discussão

4.1 Papéis Impregnados

4.1.1 Papel Kraft

Para a avaliação da cura das resinas, para o papel Kraft impregnado, foram utilizados dois tipos diferentes de papel: Kraft1 com gramagem de 155 gsm e Kraft2 com gramagem de 155 gsm (c/R125). Utilizando a configuração testada nas secções 3.3.1 e 3.3.2, iniciaram-se os ensaios à tracção no equipamento ABES.

Os ensaios foram realizados a 140 °C, com uma variação de tempo de prensagem entre 0 e 600 segundos.

Na Figura 4.1 e Tabela A2.1 (Anexo 2), apresenta-se a evolução da tensão de rotura e do gel time (t_0), representado pelas rectas verticais, para os papéis Kraft1 e Kraft2. No gráfico os pontos com marcas brancas no interior, não foram considerados por não cumprirem os requisitos do modelo cinético.

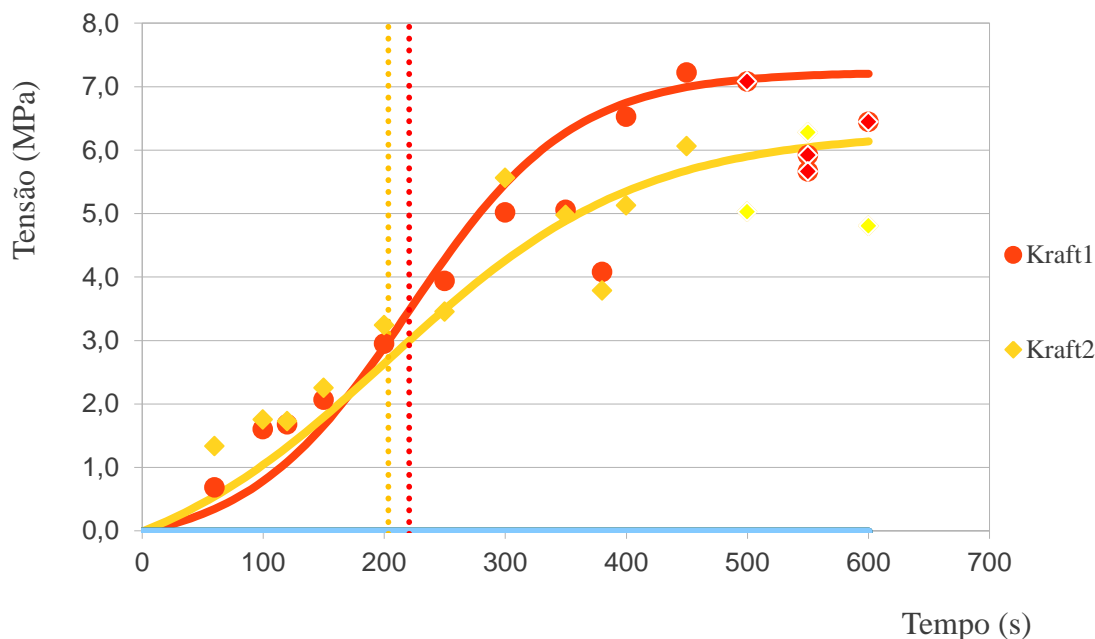


Figura 4.1 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para os papéis Kraft1 e Kraft2 e o modelo de ajuste dos dados experimentais

Verificou-se que o Kraft1 tem uma tensão máxima de 7,2 MPa e o Kraft2 de 6,3 MPa. O gel time (t_0) do Kraft2 é aproximadamente 203 s sendo o do Kraft1 de 221 s.

Assim, conclui-se que o papel Kraft1 atinge um grau de cura mais elevado que o papel Kraft2, apesar de este ter um gel time mais rápido, ou seja para baixos tempos a cura é mais rápida.

4.1.2 Papel Decorativo

Para a avaliação da cura das resinas, foram utilizados quatro diferentes tipos de papel Decorativo, sendo um deles impresso – Cinzento.

Em todos os papéis Decorativos foi utilizada, a configuração testada na secção 3.3.4. Os ensaios foram realizados a 140 °C, com uma variação de tempo de prensagem entre 0 e 600 segundos.

4.1.2.1 Papel Decorativo Azul

Apresenta-se na Figura 4.2 e Tabela A2.2 (Anexo 2), a evolução da tensão de rotura para o papel Decorativo Azul, com gramagem de 80 gsm, e do gel time (t_0), representado pela recta vertical. No gráfico os pontos com marcas brancas no interior, não foram considerados por não cumprirem os requisitos do modelo cinético.

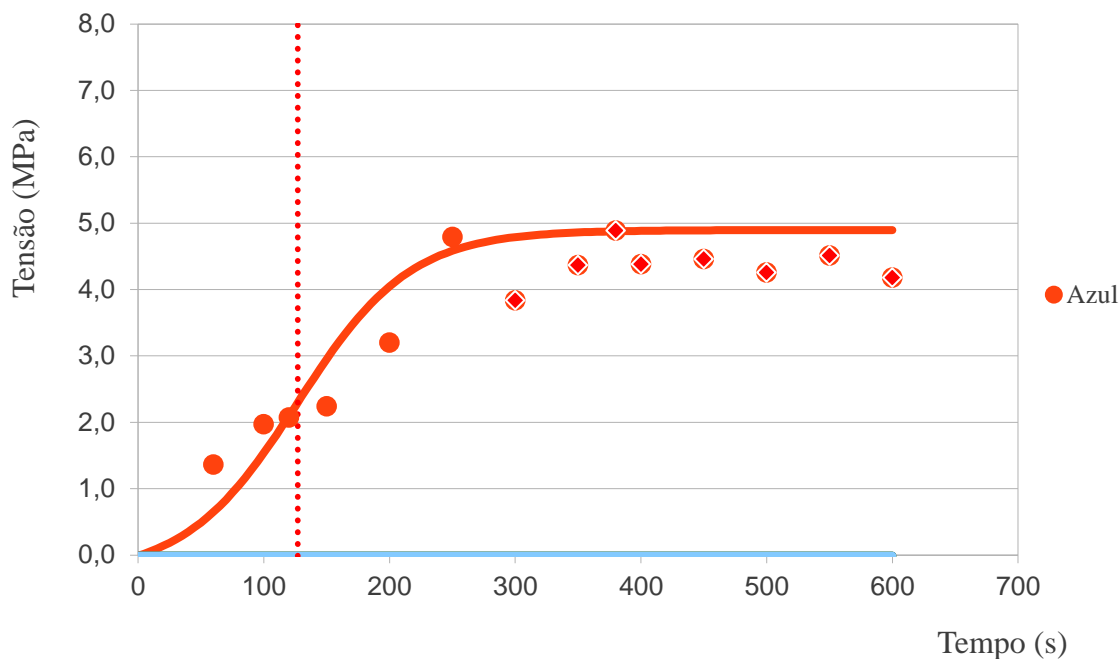


Figura 4.2 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Decorativo Azul e o modelo de ajuste dos dados experimentais

Para este tipo de papel obteve-se uma tensão máxima de 4,9 MPa e um t_0 de 127 s. Na Figura 4.2 pode observar-se que para este tipo de papel, o modelo não se ajusta convenientemente aos dados experimentais.

4.1.2.2 Papel Decorativo Branco

Na Figura 4.3 e Tabela A2.3 (Anexo 2), apresenta-se a evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Decorativo Branco, com uma gramagem de 155 gsm, e o gel time (t_0) é representado pela recta vertical. No gráfico os pontos com marcas brancas no interior, não foram considerados por não cumprirem os requisitos do modelo cinético.

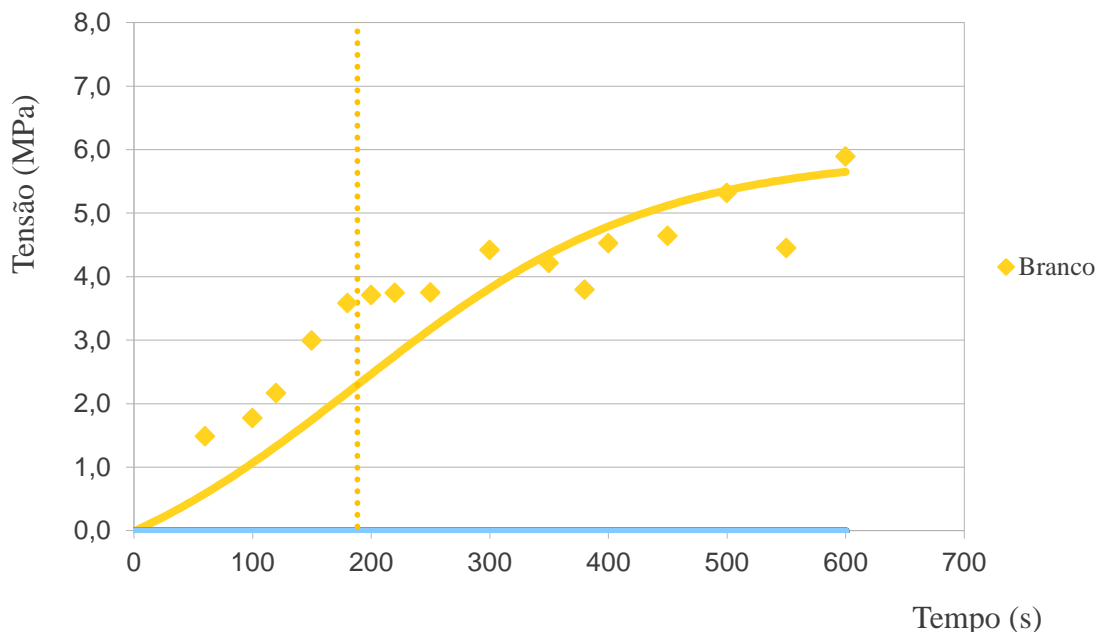


Figura 4.3 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Decorativo Branco e o modelo de ajuste dos dados experimentais

Para este tipo de papel verificou-se uma tensão máxima de 5,9 MPa e um t_0 de 188 s. Neste caso, observam-se dois comportamentos diferentes que não são convenientemente representados pelo modelo.

4.1.2.3 Papel Decorativo Amarelo

A evolução da tensão de rotura e do gel time (t_0), representado pela recta vertical, para o papel Amarelo, com gramagem de 105 gsm, apresentam-se na Figura 4.4 e Tabela A2.4 (Anexo 2). No gráfico os pontos com marcas brancas no interior, não foram considerados por não cumprirem os requisitos do modelo cinético.

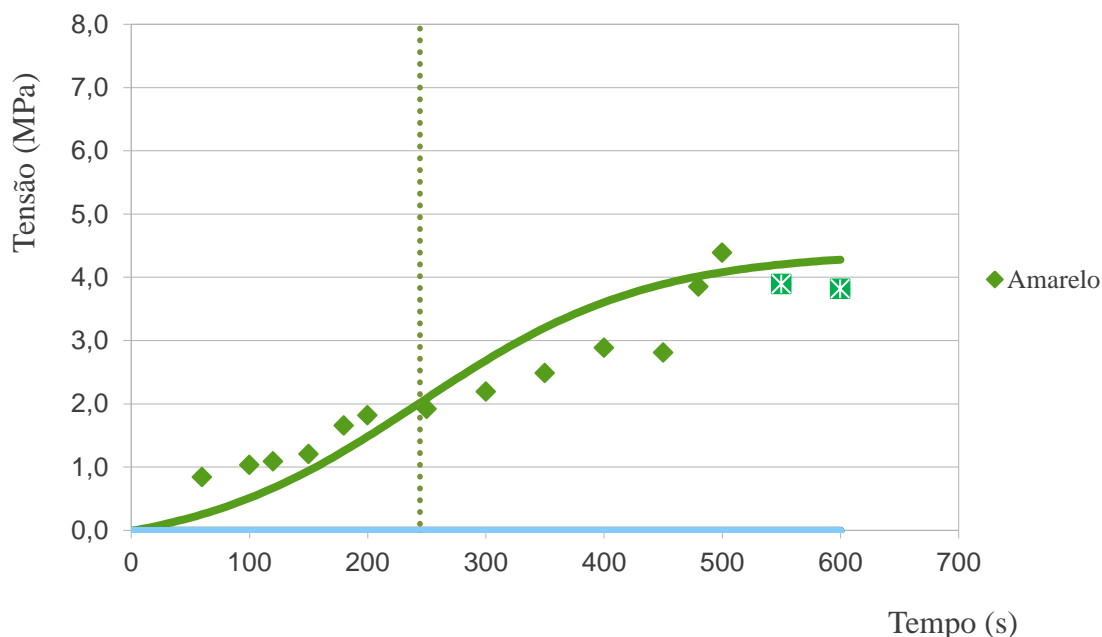


Figura 4.4 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Decorativo Amarelo e o modelo de ajuste dos dados experimentais

Para este tipo de papel, obteve-se uma tensão de rotura máxima de 4,4 MPa e um t_0 de 244 s. Para além disso, volta-se a observar dois fenómenos diferentes durante o endurecimento da resina, que podem ser justificados pela configuração dos provetes WKD+KD, para a qual existe a formação de dois tipos de ligações W-K (madeira-Kraft) e K-D (Kraft-Decorativo).

4.1.2.4 Papel Decorativo Impresso - Cinzento

Apresenta-se na Figura 4.5 e Tabela A2.5 (Anexo 2), a evolução da tensão de rotura para o papel Decorativo Cinzento, com gramagem de 70 gsm, e o gel time (t_0), representado pela recta vertical. No gráfico os pontos com marcas brancas no interior, não foram considerados por não cumprirem os requisitos do modelo cinético.

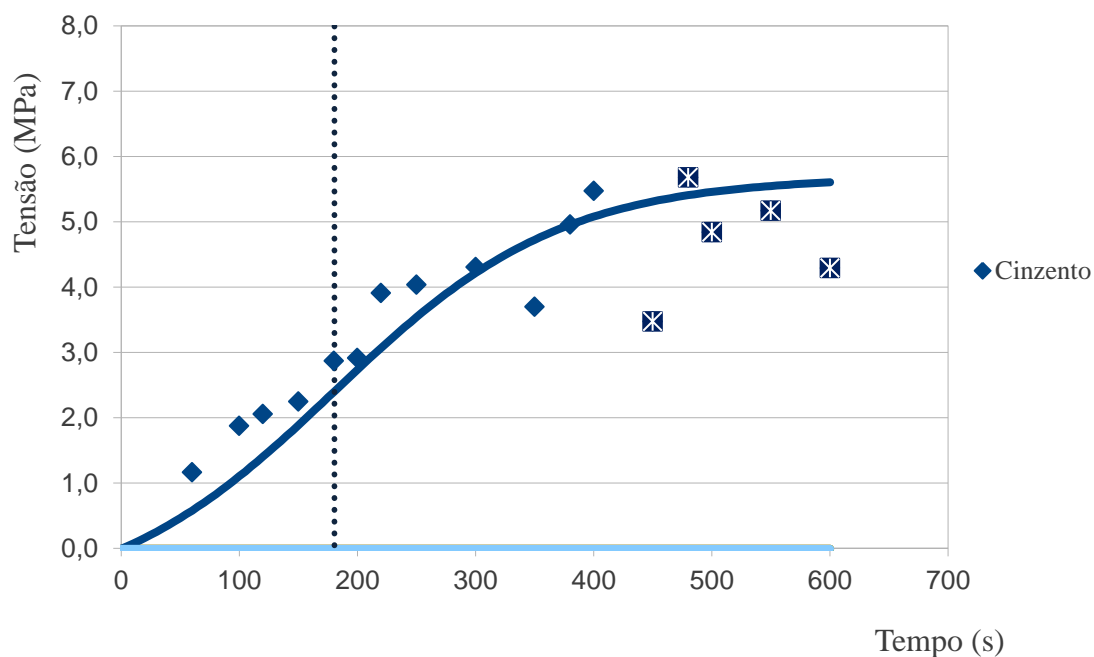


Figura 4.5 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Decorativo Cinzento e o modelo de ajuste dos dados experimentais

Para este tipo de papel, obtiveram-se uma tensão máxima de 5,7 MPa e um t_0 de 180 s. Nesse caso, volta-se a observar que para este tipo de papel, o modelo não se ajusta convenientemente aos dados experimentais.

Apresenta-se no gráfico abaixo (Figura 4.6), a evolução da tensão de rotura para todos os papéis Decorativos estudados. No gráfico os pontos com marcas brancas no interior, não foram considerados por não cumprirem os requisitos do modelo cinético.

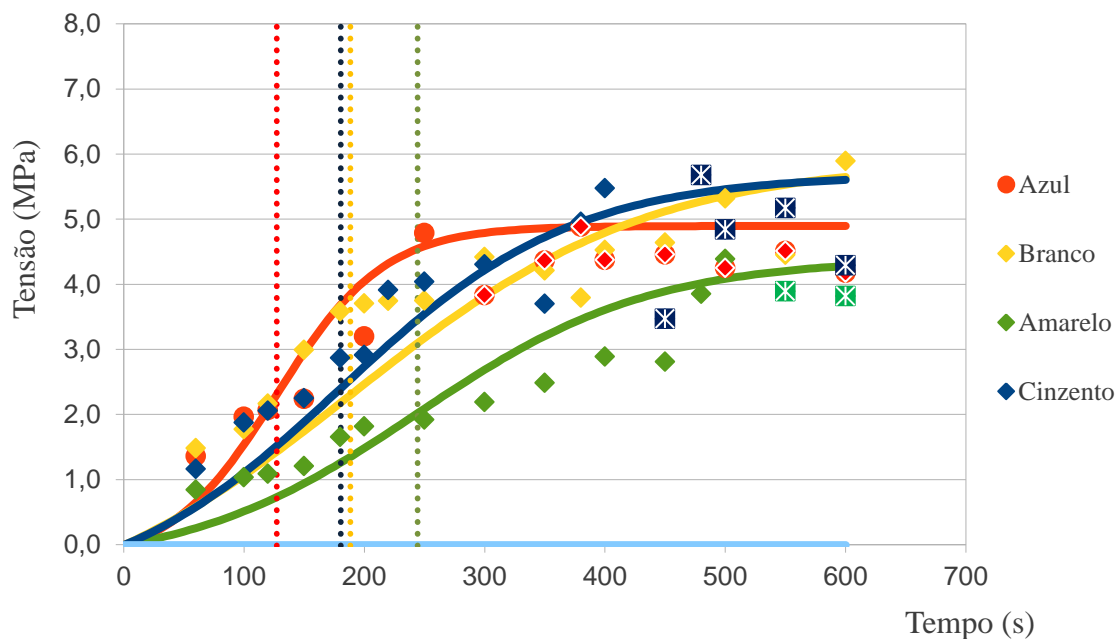


Figura 4.6 – Evolução da tensão de ruptura em função do tempo para todos os papéis Decorativos e o modelo de ajuste dos dados experimentais

Após a análise de todas as figuras, pode-se concluir que o modelo cinético de Costa et al. (2011) deverá ser modificado, já que não parece representar convenientemente a cinética da cura destes papéis. No entanto, observando os dados experimentais é possível observar que o papel Decorativo Azul é o que tem um melhor desempenho, mas não muito diferente dos papéis Branco e Cinzento. O papel Decorativo Amarelo é o mais lento.

4.2 Papéis Overlay

Para a avaliação da cura das resinas, foram utilizados quatro diferentes tipos de papel Overlay. Em todos os papéis Overlay, foi utilizada a configuração testada na secção 3.3.5. Os ensaios foram realizados a 140 °C, com uma variação de tempo de prensagem entre 0 e 600 segundos.

4.2.1 Overlay OL1

Apresenta-se na Figura 4.7 e Tabela A2.6 (Anexo 2), a evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Overlay OL1, com gramagem de 32 gsm, e o gel time (t_0), representado pela recta vertical.

Paralelamente apresentam-se também os ensaios preliminares realizados com a configuração WKDO+DKW.

No gráfico os pontos com marcas brancas no interior, não foram considerados por não cumprirem os requisitos do modelo cinético.

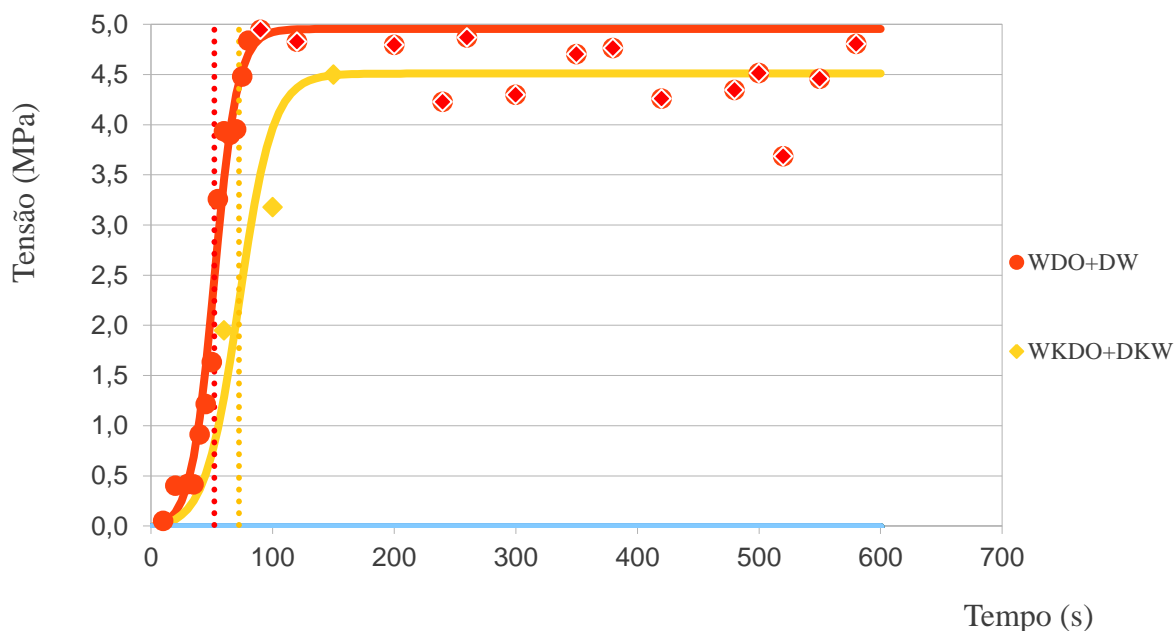


Figura 4.7 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Overlay OL1 e o modelo de ajuste dos dados experimentais

Para a configuração WDO+DW o papel tem uma tensão de rotura máxima de 4,96 MPa e um t_0 de 52 s. Para a configuração WKDO+DKW o papel tem uma tensão de rotura máxima de 4,52 MPa e um t_0 de 72 s.

4.2.2 Overlay OL2

A evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Overlay OL2, com gramagem de 45 gsm, e o respectivo gel time (t_0), representado pela recta vertical, estão representados na Figura 4.8 e Tabela A2.7 (Anexo 2).

Paralelamente apresentam-se também os ensaios preliminares realizados com a configuração WKDO+DKW.

No gráfico os pontos com marcas brancas no interior, não foram considerados por não cumprirem os requisitos do modelo cinético.

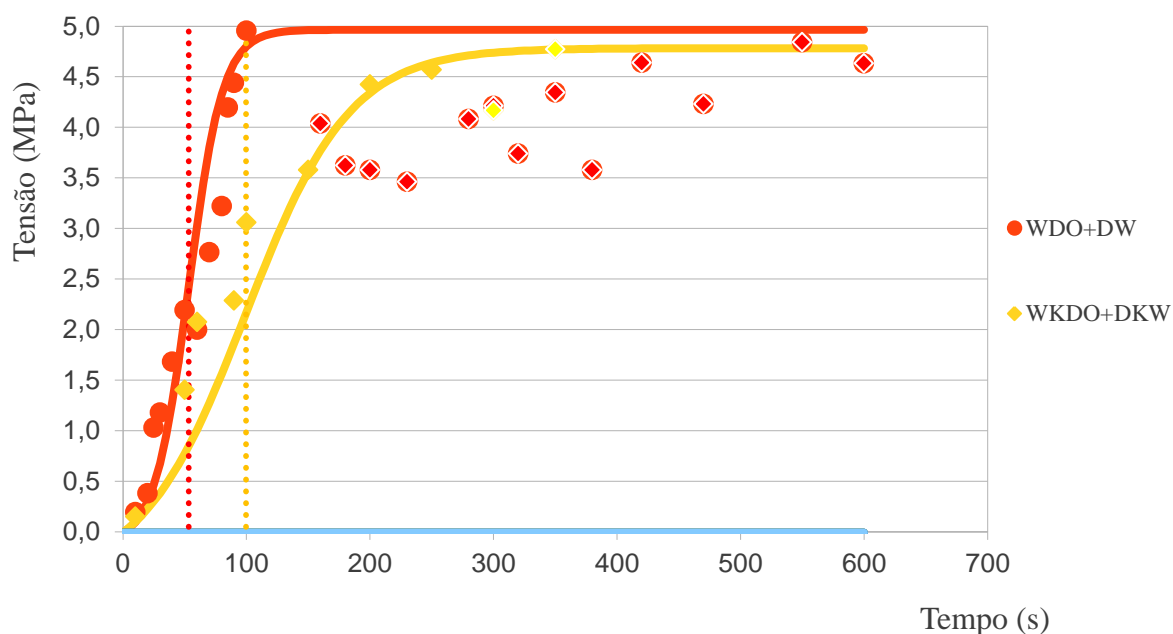


Figura 4.8 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Overlay OL2 e o modelo de ajuste dos dados experimentais

Para a configuração WDO+DW o papel tem uma tensão máxima de 4,98 MPa e um t_0 de 53 s. Para a configuração WKDO+DKW o papel tem uma tensão máxima de 4,79 MPa e um t_0 de 100 s.

4.2.3 Overlay OL3

A evolução da tensão de rotura e do gel time (t_0), representado pela recta vertical, para o papel Overlay OL3, com gramagem de 22 gsm, apresentam-se na Figura 4.9 e Tabela A2.8 (Anexo 2). No gráfico os pontos com marcas brancas no interior, não foram considerados por não cumprirem os requisitos do modelo cinético.

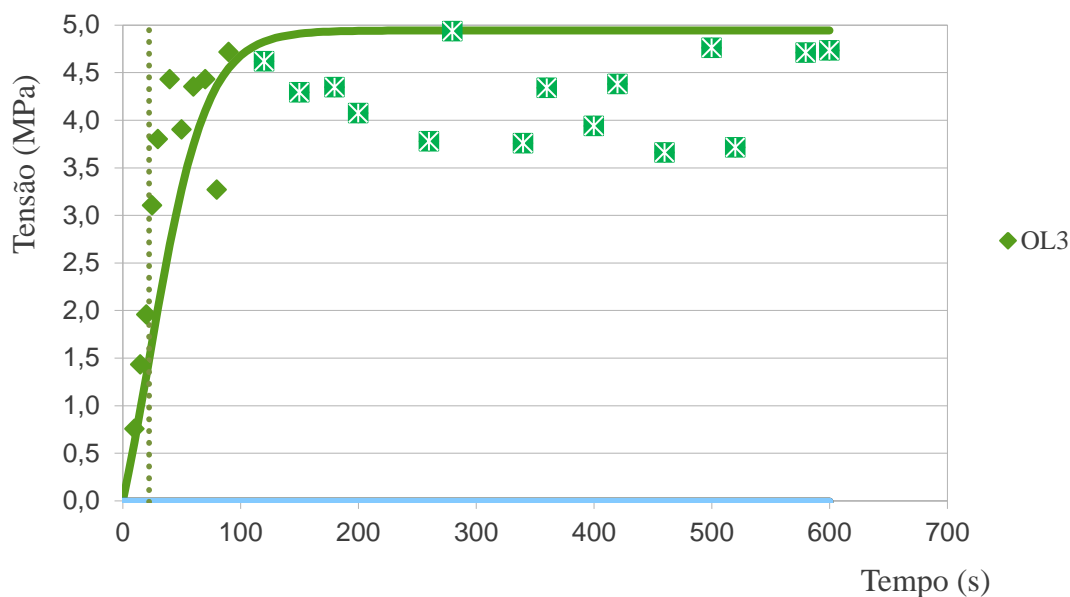


Figura 4.9 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Overlay OL3 e o modelo de ajuste dos dados experimentais

Para este tipo de papel os valores obtidos foram, uma tensão máxima de rotura de 4,95 MPa e um t_0 de 23 s. Este baixo valor de t_0 prende-se com o facto de este papel ser desenhado para aplicações de flooring de baixa pressão, cujos ciclos de prensagem são rápidos. Desta forma, é necessário ter uma formulação de impregnação com baixo gel time.

4.2.4 Overlay OL4

Na Figura 4.10 e Tabela A2.9 (Anexo 2), podemos observar a evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Overlay OL4, com gramagem de 66 gsm, e o gel time (t_0), representado pela recta vertical. No gráfico os pontos com marcas brancas no interior, não foram considerados por não cumprirem os requisitos do modelo cinético.

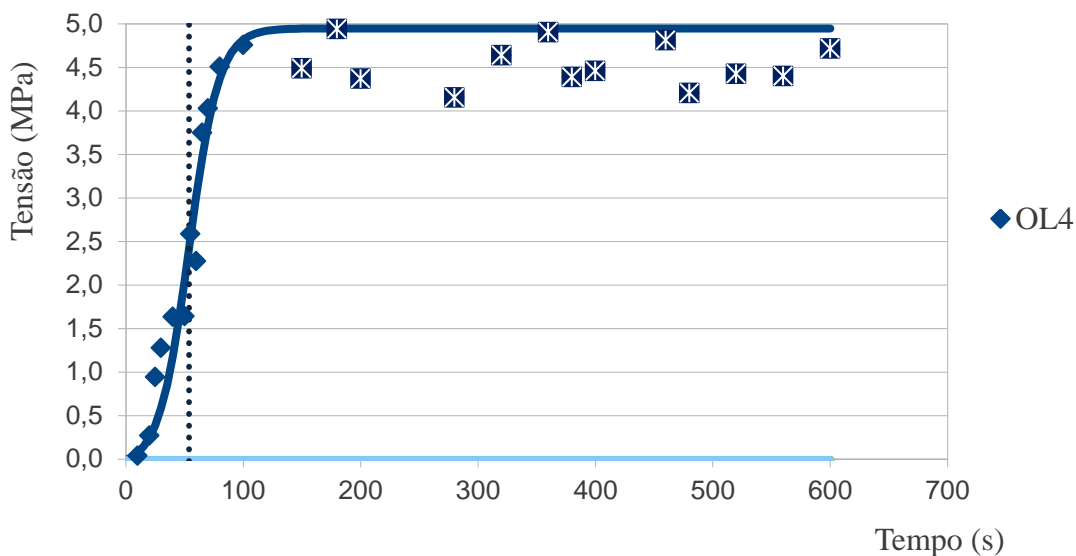


Figura 4.10 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para o papel Overlay OL4 e o modelo de ajuste dos dados experimentais

Para este tipo de papel, obteve-se uma tensão máxima de rotura de 4,96 MPa e um t_0 de 53 s.

Na Figura 4.11 apresenta-se, a evolução da tensão de rotura em função do tempo para todos os papéis Overlay estudados. No gráfico os pontos com marcas brancas no interior, não foram considerados por não cumprirem os requisitos do modelo cinético.

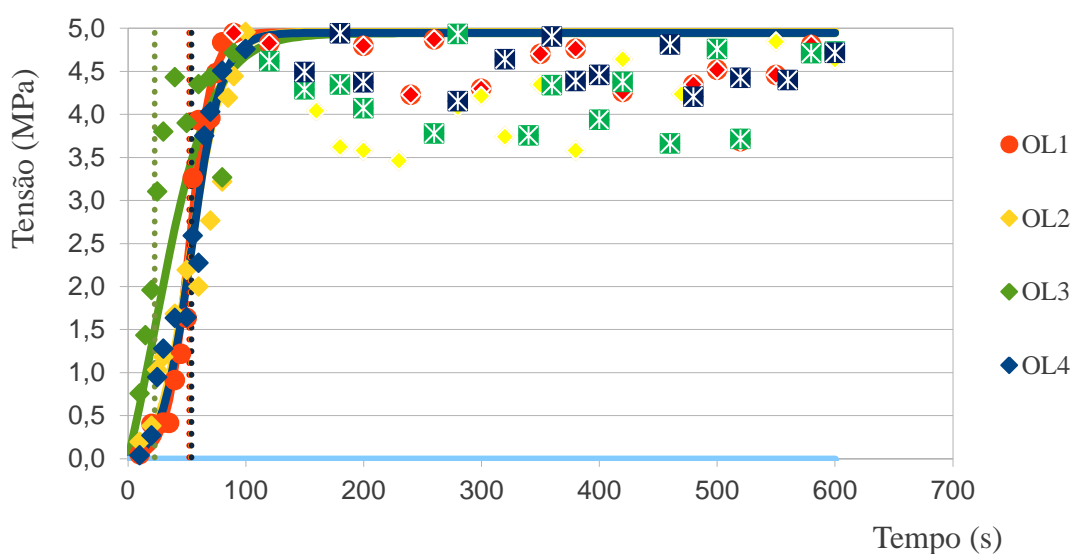


Figura 4.11 – Evolução da tensão de rotura em função do tempo para todos os papéis Overlay e o modelo de ajuste dos dados experimentais

Embora o modelo cinético de Costa et al (2011) não seja o mais indicado para representar os pontos experimentais obtidos usando o ABES, é possível observar que o papel Overlay OL3 tem o melhor desempenho (desenvolvimento da ligação adesiva mais rápida), enquanto que os outros três papéis têm um comportamento muito semelhante.

4.3 Comparação entre métodos (ABES e Werzalit)

De entre as características dos papéis utilizados podemos encontrar o chamado tempo de cura (determinado pelo método Werzalit). A comparação entre esta informação (característica de cada papel impregnado) com o tempo de gel (t_0) determinado neste trabalho, pode ser observado na Figura 4.12.

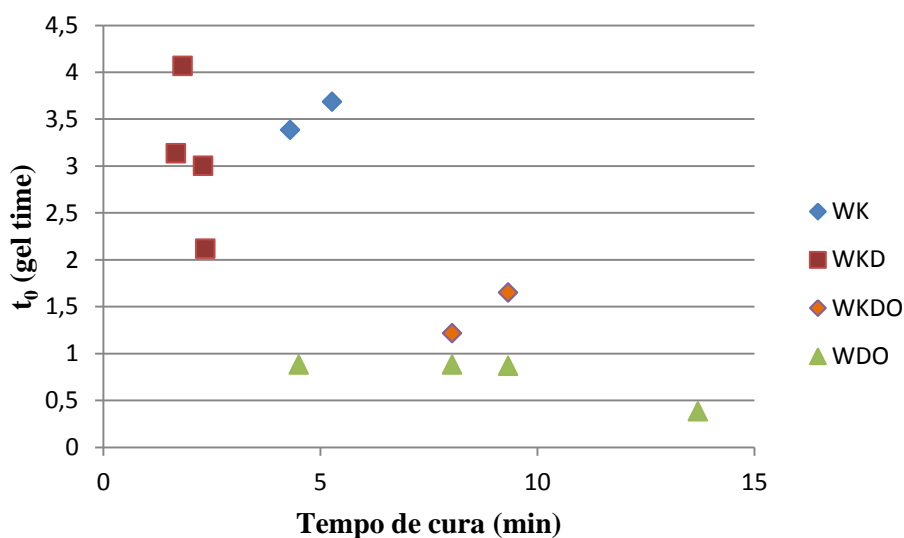


Figura 4.12 – t_0 (gel time) em função do tempo de cura (Werzalit)

Os resultados presentes na Figura 4.12 não foram os esperados, pois a evolução dos resultados de um método é inversa da evolução de outro, ou seja os valores mais elevados no ABES correspondem a valores mais baixos no Werzalit, o que permite concluir que os dois métodos não estarão a quantificar a mesma propriedade. O planeamento das experiências deste trabalho não foi concebido para responder a esta pergunta pelo que ela permanece em aberto.

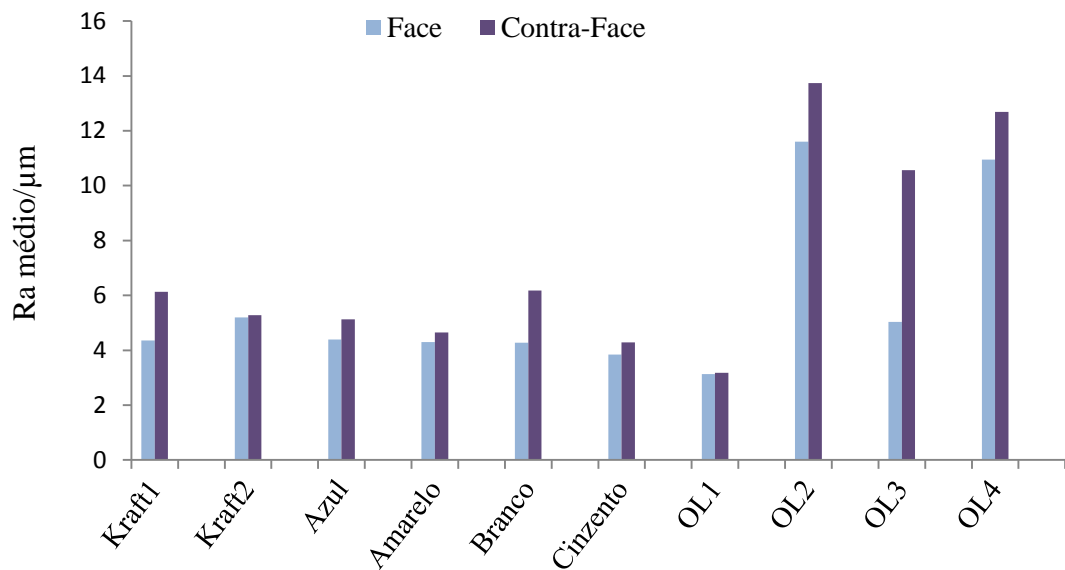
4.4 Rugosidade dos papéis impregnados

A avaliação quantitativa do estado da superfície dos papéis impregnados foi obtida através do rugosímetro anteriormente referido, que utiliza a técnica de palpação, que permitiu determinar os parâmetros de rugosidade Ra e Rz.

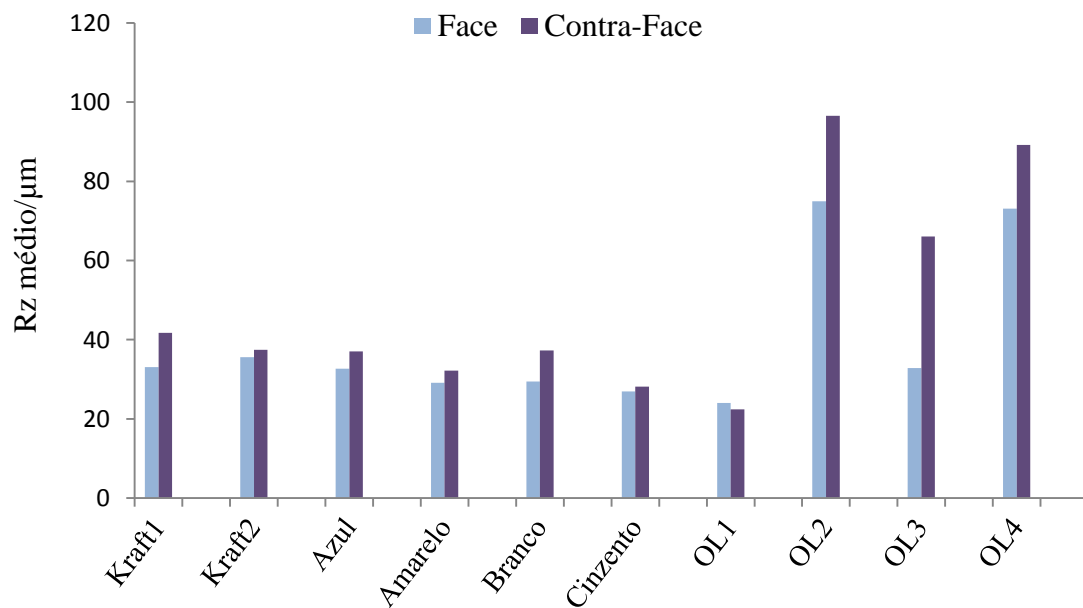
A seguir apresenta-se na Tabela 4.1 e 4.2 os valores médios de Ra e Rz e os respectivos valores do desvio padrão, para a direcção longitudinal e transversal de cada tipo de papel. As Figuras 4.13 e 4.14 evidenciam a variação média, para ambas as direcções, dos parâmetros Ra e Rz para os provetes dos diferentes papéis.

Tabela 4.1 – Parâmetros de rugosidade medidos na direcção Longitudinal

Direcção Longitudinal (μm)								
Papéis	Face				Contra-Face			
	Ra médio	Desvio padrão	Rz médio	Desvio padrão	Ra médio	Desvio padrão	Rz médio	Desvio padrão
Kraft1	4,36	0,40	33,10	3,33	6,14	0,92	41,73	3,89
Kraft2	5,20	0,41	35,55	4,20	5,28	0,73	37,45	4,91
Azul	4,40	0,32	32,68	2,67	5,13	0,18	37,00	0,64
Amarelo	4,30	0,26	29,13	1,49	4,65	0,37	32,15	2,14
Branco	4,28	0,29	29,43	2,96	6,18	0,37	37,30	4,52
Cinzento	3,85	0,18	26,90	1,50	4,29	0,25	28,15	0,53
OL1	3,13	0,41	24,03	3,87	3,18	0,37	22,40	2,75
OL2	11,61	0,74	74,95	6,51	13,74	1,08	96,53	9,68
OL3	5,03	0,44	32,83	4,06	10,57	1,09	66,03	8,62
OL4	10,95	1,03	73,13	1,07	12,69	1,00	89,18	5,75



a)

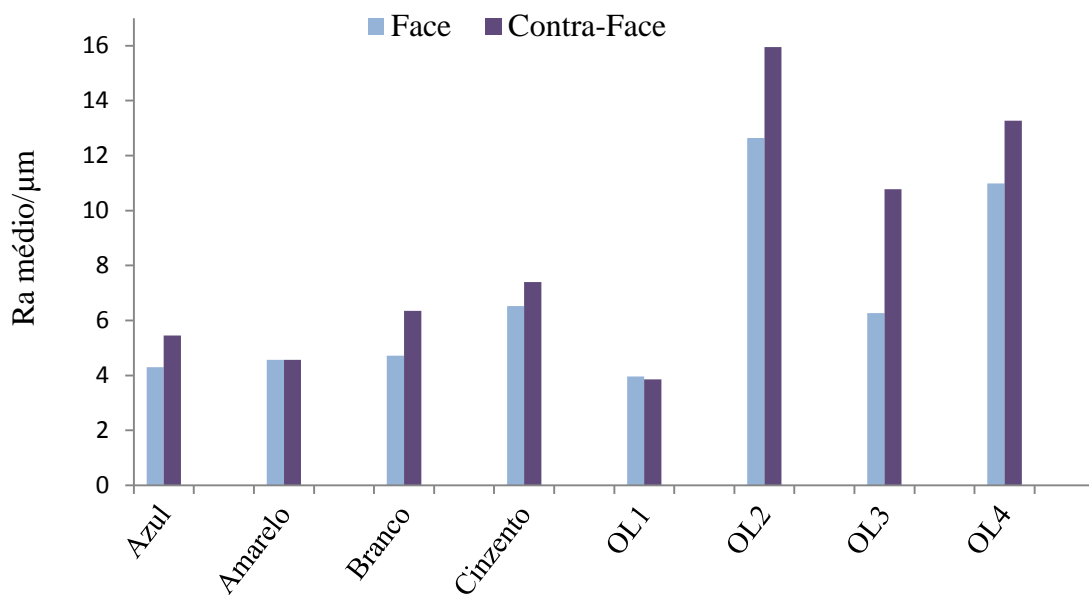


b)

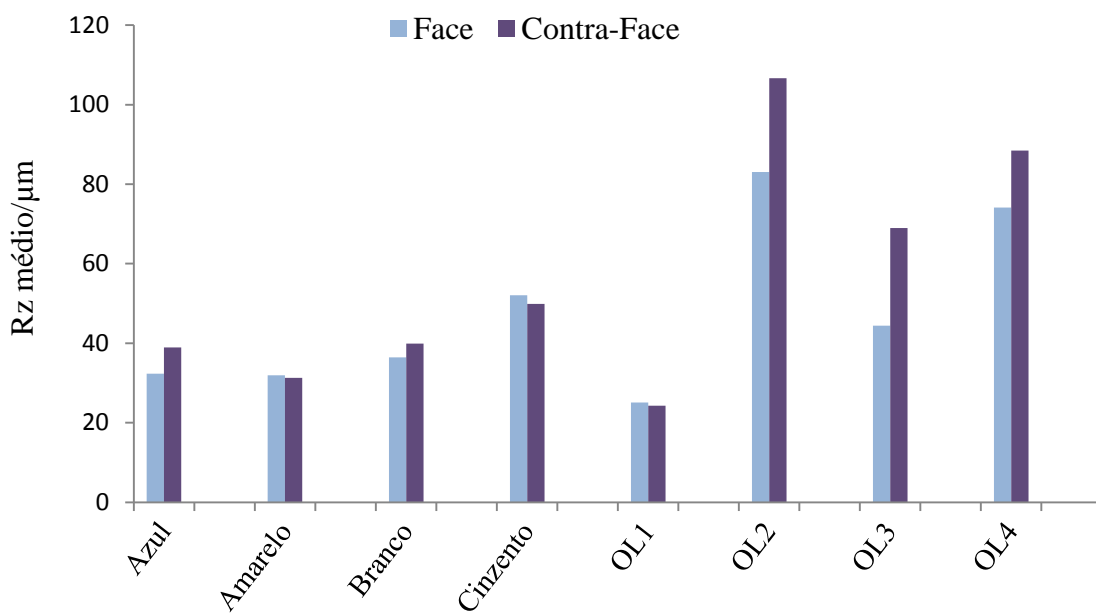
Figura 4.13 – Parâmetros de rugosidade Ra - a) e Rz - b) médios para todos os tipos de papéis impregnados, medidos na direcção longitudinal

Tabela 4.2 – Parâmetros de rugosidade medidos na direcção Transversal

Direcção Transversal (μm)								
Papéis	Face				Contra-Face			
	Ra médio	Desvio padrão	Rz médio	Desvio padrão	Ra médio	Desvio padrão	Rz médio	Desvio padrão
Azul	4,30	0,15	32,38	2,68	5,45	0,17	38,93	1,92
Amarelo	4,56	0,23	31,90	1,86	4,57	0,30	31,33	4,22
Branco	4,71	0,45	36,48	3,48	6,35	0,43	39,88	1,76
Cinzento	6,53	2,94	52,05	29,83	7,40	2,33	49,88	15,47
OL1	3,96	0,40	25,05	5,16	3,86	0,62	24,28	2,16
OL2	12,64	0,84	83,03	5,31	15,95	1,05	106,65	6,15
OL3	6,27	0,65	44,40	7,26	10,77	0,90	68,98	6,92
OL4	10,99	1,34	74,10	8,63	13,27	1,56	88,45	10,75



a)



b)

Figura 4.14 – Parâmetros de rugosidade Ra - a) e Rz - b) médios para todos os tipos de papéis impregnados, medidos na direção transversal

Nas figuras acima apresentadas, são perceptíveis as diferenças quantitativas do estado de superfície dos papéis impregnados em termos de parâmetros de rugosidade R_a e R_z , verificando-se que entre todos os papéis, os Overlay OL2, OL3 e OL4 são os que apresentam valores mais elevados, justificado pelo facto de na sua constituição, possuírem carga abrasiva, traduzindo-se assim numa maior rugosidade.

É ainda de realçar, que os valores dos parâmetros medidos são mais elevados na contra-face dos papéis do que na face, o que é mais evidenciado no papel Overlay OL3, nas medições no sentido longitudinal.

Conclui-se também, que nas medições no sentido transversal, os valores dos papéis Overlay são mais elevados do que no sentido longitudinal, o que estará relacionado com a orientação das fibras do papel. Como é referido em Figueiredo et al. (2011), a penetração da resina no papel depende de diversos factores nomeadamente a estrutura do papel, composição química (sobretudo os aditivos) e afinidade (molhabilidade) do papel pela resina. A anisotropia estrutural do papel (face e contra-face), assim como a penetração não homogénea da resina no papel vão afectar o desempenho da impregnação industrial do papel, justificando as diferenças de rugosidade observadas.

5. Conclusões

Perante o grande crescimento na utilização de termolaminados na indústria do mobiliário a preocupação com a cura das resinas dos papéis que os constituem é constante. Este trabalho surge como resposta a essa preocupação, tendo como principal objectivo a avaliação da cura dos papéis impregnados.

Após vários ensaios a dois tipos de papéis de Kraft conclui-se que o Kraft1 tem uma melhor cura que o Kraft2, apesar de este ter um gel time mais rápido.

Conclui-se também que, embora o modelo cinético de Costa et al (2011) não seja o mais indicado para este estudo, é possível observar que o papel Decorativo Azul tem um melhor desempenho, acompanhado de perto pelos papéis Decorativos Branco e Cinzento, e o papel Decorativo Amarelo é o mais lento. Observa-se ainda que o papel Overlay OL3 tem o melhor desempenho de todos os papéis Overlay ensaiados.

Percebeu-se que fazer a comparação entre o método do Werzalit e o método do ABES não é o mais indicado, pois, tendo por base os resultados deste estudo, concluiu-se que estes dois métodos não estão a quantificar a mesma propriedade. O planeamento das experiências deste trabalho não foi concebido para responder a esta pergunta pelo que esta permanece em aberto.

No que diz respeito à rugosidade podemos concluir que os Overlay OL2, OL3 e OL4 são os que apresentam valores mais elevados de rugosidade entre todos os papéis avaliados. Concluimos também, que os valores da rugosidade são mais elevados na contra-face dos papéis do que na face, mais evidenciado no papel Overlay OL3, nas medições segundo a direcção longitudinal. Isto deve-se ao facto do papel só ter carga abrasiva na contra-face.

6. Avaliação do trabalho realizado

6.1 Objectivos Realizados

O objectivo definido para este projecto era avaliar a cura dos papéis impregnados de segunda geração recorrendo ao ABES, através do estabelecimento de um protocolo experimental que permitisse avaliar de forma reprodutível e expedita a evolução da cura das resinas nos diferentes tipos de papéis impregnados (papel Kraft, papel Decorativo e papel Overlay). No seguimento deste objectivo, pretendeu-se também comparar o método desenvolvido com o método utilizado na fábrica (ABES vs. Werzalit).

6.2 Limitações e trabalhos futuros

A maior limitação encontrada, foi a falta de literatura e de testes normalizados sobre esta metodologia, dificultando assim o início dos ensaios. Outro tipo de limitações teve a ver com o facto do modelo cinético aplicado neste projecto, desenvolvido para a cura das resinas UF e MUF, não ser o ideal. Por esse motivo, não é seguro dizer que as configurações dos papéis impregnados utilizadas ao longo do estudo são as mais viáveis para este tipo de ensaios.

Como trabalho futuro é necessário tentar encontrar um novo modelo matemático cinético que represente melhor o que se passa na cura das resinas dos papéis impregnados.

6.3 Apreciação final

O trabalho desenvolvido decorreu como previsto, tendo permitido uma melhor compreensão da cura das resinas dos papéis impregnados e contribuído para a aprendizagem de vários conceitos sobre termolaminados de alta pressão.

Podemos dizer que foi desenvolvido um novo sistema de configurações para o método ABES, que permite a caracterização de papéis impregnados.

A realização deste projecto foi um estímulo e desafio constante, contribuindo para aumentar o interesse pela área da investigação.

REFERÊNCIAS

Carvalho, L., Magalhães, F., Ferra, J., 2012. *Formaldehyde Emissions from Wood-based Panels-Testing Methods and Industrial Perspectives*. In Chemistry Applications and Role in Polymerization, edited by Chan Bao Cheng and Feng Hu Ln, Nova Science Publisher, In., Hauppauge, NY (ISBN 978-1-62257-228-1).

Cetin, N.S.; Özmen, N., 2002. *Use of organosolv lignin in phenol-formaldehyde resins for particleboard production. II. Particleboard production and properties*. International Journal of Adhesion & Adhesives 22, 481-486.

Costa, N., Henriques, A., Pereira, J., Paiva, N., Cruz, P., Ferra, J., Magalhães, F., Martins, J., Mendes, A., Carvalho, L., 2011. *Modelos Cinéticos para a Análise da Cura e Resistência da Ligação Adesiva de Resinas UF de Baixa Emissão de Formaldeído*. CLME'2011 6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, complete paper published in CD, Simp46, 29Agosto – 2 Setembro, Maputo, Moçambique. (ISBN: 978-972-8826-24-6).

Costa, N., Pereira, J., Martins, J., Ferra, J., Cruz, P., Magalhães, F., Mendes, A., Carvalho, L., 2012. *Alternative to latent catalysts for curing UF resins used in the production of low formaldehyde emission wood-based panels*. International Journal of Adhesion & Adhesives, Volume 33, 56-60.

Cunha, Brígida Sofia Torres, 2010. *Incorporação de agentes modificadores de superfície para conferir características inovadoras*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. FEUP.

EN 438-2: 2005. *High Pressure Decorative Laminates (HPL) – Sheets based on thermosetting resins (usually called laminates) – Part 2: Determination of properties*.

Ferra, J.M.M.; Ohlmeyer, M.; Mendes, A.M.; Costa, M.R.N.; Carvalho, L.H.; Magalhães, F.D., 2009. *Evaluation of adhesive cure by ABES and IPATES for two UF resins*. International Panel Products Symposium, 267-276.

REFERÊNCIAS

Ferra, J.M.M.; Ohlmeyer, M.; Mendes, A.M.; Costa, M.R.N.; Carvalho, L.H.; Magalhães, F.D., 2011. *Evaluation of urea-formaldehyde adhesives performance by recently developed mechanical tests*. International Journal of Adhesion & Adhesives, 31: 127-134.

Figueiredo, A., Evtuguin, D., Monteiro, J., Cardoso, E., Mena, P., Cruz, P., 2011. *Structure-Surface Property Relationships of Kraft Papers: Implication on Impregnation with Phenol-Formaldehyde Resin*. Industrial & Engineering Chemistry Research 50, 2883-2890.

Harrisson, Lise, 2006. *Caractérisation des papiers de finition et des panneaux de fibres de bois de haute densité (HDF) utilisés dans la production de plancher flottant*. Dissertação de Mestrado, Faculté de Floresterie et de Géomatique Université Laval, Québec.

Humphrey, P.E., 2009. *Outline Standard for Adhesion Dynamics Evaluation Employing the ABES (Automated Bonding Evaluation System) Technique*. International Conference on Wood Adhesives Proceedings. Lake Tahoe Nevada, USA.

ISO 4287: 1997, *Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface Texture. Profile Method. Terms, definitions and surface texture parameters*.

Marshall, P., Parent, B., 1998. *What is a laminate? How decorative foils, low pressure laminates and high pressure laminates are produced*. TAPPI Plastic Laminates Symposium Proceedings.

Martins, J., Pereira, J., Coelho, C., Ferra, J., Mena, P., Magalhães, F., Carvalho, L., 2012. *Adhesive bond strength development evaluation using ABES in different lignocellulosic materials*. CLBA 2012 – Conferência Luso-Brasileira de Adesão e Adesivos, Rio de Janeiro, 8-9 November, abstract CLBA2012PT015, published in CD.

Melo, Nuno Miguel Gonçalves de, 2011. *Manual de Operação e Processo para a Produção de Laminados na Sonae Indústria de Revestimentos*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. FEUP.

Paiva, N.T.; Costa, N.; Henriques, A.; Pereira, J.; Ferra, J.; Cruz, P.; Martins, J.; Carvalho, L.; Magalhães, F., 2012. *Study of the cure of melamine-urea-formaldehyde resins with very low formaldehyde emissions*. Final Program, Proceedings and Abstracts Book of 2012 IUFRO Conference Division 5-Forest Products, pp.74 (OP25), Estoril, Lisbon, Portugal, 8-13 July.

Rowell, R. M., 1999. Specially Treatments. In Wood Handbook – Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 463p.

Sonae Indústria, 1995. *Livro Técnico Termolaminado Decorativo*.

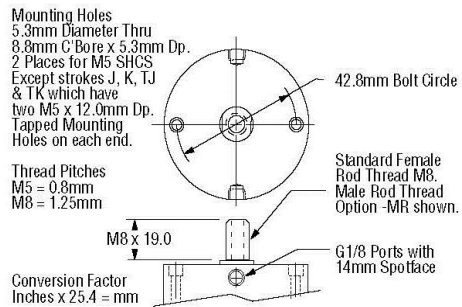
Sousa, Cátia Vanessa, 2011. *Incorporação de agentes modificadores para superfícies decorativas multifuncionais*. Dissertação de Mestrado Integrado, Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. FEUP.

APÊNDICE 1 – ESPECIFICAÇÕES DOS PISTÕES DO ABES

Pancake® Cylinders 1-1/8" (121) Bore Also See Pg. 1.33 *Option Specifications*

Prefix Option -M Metric Cylinder & Rod Thread, 50.8mm Bore
Available on Original Series with Actions: -XDR, -XDRK, -ODR
Also see *Option Information* on page 1.7.

Stroke mm	3.2	4.8	6.4	12.7	19.1	25.4	31.8	38.1	44.5	50.8	76.2	101.6
Stroke Letter	A	B	C	D	X	E	F	G	H	I	J	K



1

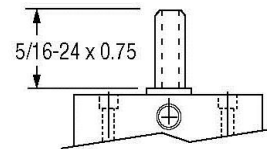
The **Suffix Options** charted on the right are available on Original Series with the Actions indicated (✓). They require no dimensional changes from the Standard Specifications on page 1.33. – Also see *Option Information* on pages 1.7 thru 1.15.

	T	V	Q	H	N	C1-C7	LF	LR	LFR	BF	BR	BFR	13	16
-XDR	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
-XDRK	NA	✓	✓	NA	✓	✓	NA	NA	NA	NA	✓	✓	✓	✓
-ODR	NA	✓	✓	✓	✓	NA	NA	✓	NA	NA	✓	NA	✓	✓

Suffix Options -MR, -MR1, -MR2 Male Rod Thread

Available on Original Series with Actions -XDR, -XDRK, -ODR.

- For Rod End only use –MR
- For Cap End only use –MR1
- For Both Ends use –MR2



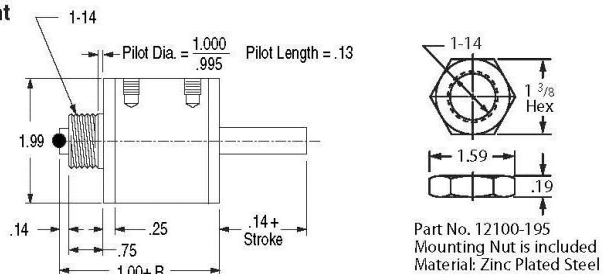
Also see Option Information on Page 1.8.

Suffix Options -F, -F1, -F2 Threaded Nose Mount

Available on Original Series with Actions -XDR, -XDRK, -ODR.

- For Rod End only use –F
- For Cap End only use –F1
- For Both Ends use –F2

Also see *Option Information* page 1.13.



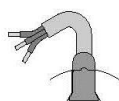
Suffix Option -E Specifies Magnetic Piston and Dovetail Mounting Slot(s)

Strokes are NOT affected by magnetic piston.

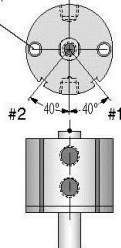
– Sensors Must Be Ordered Separately
See Sensor Models Available page 1.14

1 1/8" (121) Bore

Note:
Alloy steel mounting bolts may effect sensing. Stainless steel or other non-magnetic bolts are recommended.



Sensors available for "D" strokes and longer. Stroke D is ported on opposite sides.



Quick Reference to Standard Strokes

Use the appropriate Stroke Letter in the Model Number

Available on Original Series

Stroke	Action	
	XDR	XDRK
1/2	----- D	----- Not Available
3/4	----- X	----- X
1	----- E	----- E
1 1/4	----- F	----- F
1 1/2	----- G	----- G
1 3/4	----- H	----- H
2	----- I	----- I
3	----- J	----- J
4	----- K	----- K

Pancake® Cylinders 1 5/8" (221) Bore Model Number

1

Prefix Options Stroke Bore Action Suffix Options

- **D** - **221** - **X** - **MR**

Model Number Code

Metric **M**
See pages 1.7, 1.37 & 1.40

Leave blank if none desired

Bore Code

1 5/8" 221
41.3mm 221

Standard Strokes			
Original Series			
Action	X XK XDR XDRK	O ODR	OP
Stroke	AA	AA	AA
1/8	A*	A	A
1/4	B	B	B
3/4	C	C	C
1	D	D	D
1 1/2	E	E	-
2	F	-	-
3	G	-	-
4	H	-	-

"T" Series Includes PTFE piston bearing			
Action	X XK	O	OP
Stroke	TB	TB	TB
1/4	TC	TC	TC
3/4	TD	TD	TD
1 1/4	TE	TE	-
1 3/4	TF	-	-
2 3/4	TG	-	-
3 3/4	TH	-	-

Grey shading indicates sensors are not available.

Strokes are NOT affected by magnetic piston Option "E"

Action

Single rod

Double acting -X

Double acting, Nonrotating
Internal guide pins - 150 psi max -XK

Single acting, spring retracted -O

Single acting, spring extended -OP

Double rod

Double acting -XDR

Double acting, Nonrotating
Internal guide pins - 150 psi max -XDRK

Single acting, spring retracted -ODR

See pages 1.5 & 1.6 for Action Information.
See pages 1.36 & 1.39 for Standard Specifications

Suffix Options

Male rod thread: Single rod -MR
Double rod, rod end -MR
Double rod, cap end -MR1
Double rod, both ends -MR2

PTFE seals -T

Viton seals -V

Quad seals -Q

External guide, nonrotating for load guiding (See page 1.65) -G

Hydraulic:
Standard cover -H
Thick cover -HHC

Air service: Thick cover -HC

1/4 NPT ports -P14

Hole thru double rod shaft: 1/8" hole -13
Plus size: 1/4" hole 150 psi max -25

Finish: ProCoat™ (Electroless Nickel) -N

Stroke collar: 1/8" -C1
1/4" -C2 3/8" -C3
1/2" -C4 5/8" -C5
3/4" -C6 7/8" -C7

Sound limiters: Rod end -LF
Cap end -LR
Both ends -LFR

Rubber Bumpers: Rod end -BF
Cap end -BR
Both ends -BFR

Adjustable extend stroke (Full stroke adjustment is standard) -AS

Adjustable retract stroke (Over 1" adjustment add desired length, e.g. -RS2) -RS

Clevis mount: Ports in-line with slot -PM
Ports 90° to slot -SM

Eye mount: Ports in-line with tang -EPM
Ports 90° to tang -ESM

Threaded nose mount: Single rod -F
Double rod, rod end -F
Double rod, cap end -F1
Double rod, both ends -F2

Magnetic piston & sensor mounting slot(s) -E
Order sensors separately. See page 1.14.
Stroke length determines number of mounting slots. See page 1.14, 1.38, 1.40

See pages 1.3 – 1.15 for general option information.
and pages 1.37, 1.38 & 1.40 for option specifications of 1 5/8" bore models.

HOW TO ORDER

- Under **Stroke** – select letter(s) for desired Series and Stroke.
- Under **Bore** – select 221 for 1 5/8" bore.
Seven Other Bore Sizes are Available

Bore	Bore Code	See page
1/2" -----	5 -----	1.17
3/4" -----	7 -----	1.23
1 1/8" -----	121 -----	1.29
2" -----	321 -----	1.41
2 1/2" -----	521 -----	1.47
3" -----	721 -----	1.53
4" -----	1221 -----	1.59

- Under **Action** – select letter(s) for desired action.
- Under **Prefix & Suffix Options** – select letter(s) for desired options and add to model number.

EXAMPLES

B-221-X
Original Series, 1/2" stroke - 1 5/8" Bore - Single Rod, Double Acting

TC-221-O-MR
"T" Series, 1/2" Stroke - 1 5/8" Bore - Single Rod, Spring Retract - Male Rod Thread

A complete library of cylinder CAD drawings is available from your local Fabco-Air Distributor or from the Fabco-Air web site – <http://www.fabco-air.com>

ANEXO 1 – ENSAIOS PRELIMINARES

Tabela A1.1 – Ensaios preliminares no ABES a três temperaturas para o papel Kraft

Serie	Configuração	Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Tensão (MPa)	Eliminado
1	WK+KW	1	140	300	559,17	
1	WK+KW	2	140	600	702,71	
1	WK+KW	3	140	500	496,05	1
1	WK+KW	4	140	400	229,77	1
1	WK+KW	5	140	200	93,73	1
1	WK+KW	6	140	190	375,46	
1	WK+KW	7	140	100	227,63	
1	WK+KW	8	140	50	116,23	
1	WK+KW	9	140	200	354,57	1
4	WK+KW	14	120	300	225,49	
4	WK+KW	15	120	400	262,98	
4	WK+KW	16	120	200	179,43	
4	WK+KW	17	120	500	299,4	
4	WK+KW	18	120	450	287,08	
4	WK+KW	19	120	600	341,71	
4	WK+KW	20	120	150	139,79	
4	WK+KW	21	120	100	136,04	
4	WK+KW	22	120	100	131,22	
4	WK+KW	23	120	50	102,3	
5	WK+KW	24	130	300	280,65	
5	WK+KW	25	130	600	561,31	
5	WK+KW	26	130	500	499,71	
5	WK+KW	27	130	400	335,29	
5	WK+KW	28	130	200	223,35	
5	WK+KW	29	130	100	153,18	
5	WK+KW	30	130	150	204,6	
5	WK+KW	31	130	50	99,62	
5	WK+KW	32	130	250	294,58	

Tabela A1.2.1 – Ensaios preliminares no ABES a três temperaturas para o papel Melamínico Verde

Serie	Configuração	Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Tensão (MPa)	Eliminado
1	WD+DW	1	140	300	469,72	
1	WD+DW	2	140	200	439,73	
1	WD+DW	3	140	100	501,86	
1	WD+DW	4	140	50	497,04	
1	WD+DW	5	140	400	557,02	
1	WD+DW	6	140	500	407,59	
1	WD+DW	7	140	600	537,74	
1	WD+DW	8	140	550	569,34	
1	WD+DW	9	140	450	575,77	
1	WD+DW	10	140	350	546,31	
1	WD+DW	11	140	150	620,22	
2	WD+DW	12	130	300	502,93	
2	WD+DW	13	130	400	485,25	
2	WD+DW	14	130	200	476,68	
2	WD+DW	15	130	100	389,92	
2	WD+DW	16	130	500	545,24	
2	WD+DW	17	130	600	544,71	
2	WD+DW	18	130	350	505,07	
2	WD+DW	19	130	250	471,86	
2	WD+DW	20	130	150	478,29	
2	WD+DW	21	130	90	414,55	
2	WD+DW	22	130	80	352,96	
2	WD+DW	23	130	70	305,83	
2	WD+DW	24	130	60	325,64	
2	WD+DW	25	130	40	295,12	
2	WD+DW	26	130	30	162,82	
2	WD+DW	27	130	20	92,12	
2	WD+DW	28	130	10	49,28	
2	WD+DW	29	130	15	9,64	1
2	WD+DW	30	130	25	141,93	
2	WD+DW	31	130	35	148,36	
2	WD+DW	32	130	45	286,55	
2	WD+DW	33	130	50	304,22	
2	WD+DW	34	130	55	374,38	
2	WD+DW	35	130	15	76,59	
2	WD+DW	36	130	110	403,84	
2	WD+DW	37	130	120	510,96	
2	WD+DW	38	130	130	513,64	
2	WD+DW	39	130	140	444,55	
2	WD+DW	40	130	125	340,64	
1	WD+DW	41	140	90	555,42	
1	WD+DW	42	140	80	508,82	
1	WD+DW	43	140	70	509,89	
1	WD+DW	44	140	60	439,73	
1	WD+DW	45	140	40	455,8	
1	WD+DW	46	140	30	413,48	
1	WD+DW	47	140	20	164,43	
1	WD+DW	48	140	10	32,14	
1	WD+DW	49	140	15	91,59	
1	WD+DW	50	140	25	287,08	

Tabela A1.2.2 – Ensaios preliminares no ABES a três temperaturas para o papel Melamínico Verde

Serie	Configuração	Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Tensão (MPa)	Eliminado
1	WD+DW	51	140	35	402,24	
1	WD+DW	52	140	45	432,23	
1	WD+DW	53	140	55	507,21	
1	WD+DW	54	140	65	483,65	
1	WD+DW	55	140	75	467,04	
1	WD+DW	56	140	85	498,11	
1	WD+DW	57	140	95	529,17	
1	WD+DW	58	140	105	520,07	
1	WD+DW	59	140	115	476,15	
3	WD+DW	60	120	10	49,81	
3	WD+DW	61	120	20	76,06	
3	WD+DW	62	120	30	149,43	
3	WD+DW	63	120	40	179,43	
3	WD+DW	64	120	50	188,53	
3	WD+DW	65	120	60	216,38	
3	WD+DW	66	120	80	349,75	1
3	WD+DW	67	120	70	198,17	
3	WD+DW	68	120	90	250,13	
3	WD+DW	69	120	100	271,01	
3	WD+DW	70	120	110	261,91	
3	WD+DW	71	120	115	262,98	
3	WD+DW	72	120	120	215,85	
3	WD+DW	73	120	130	304,22	
3	WD+DW	74	120	140	284,4	
3	WD+DW	75	120	150	232,99	
3	WD+DW	76	120	200	299,4	
3	WD+DW	77	120	250	297,26	
3	WD+DW	78	120	300	341,71	
3	WD+DW	79	120	350	319,75	
3	WD+DW	80	120	400	368,49	
3	WD+DW	81	120	450	373,85	
3	WD+DW	82	120	500	345,46	
3	WD+DW	83	120	600	371,17	

Tabela A1.3.1 – Ensaios preliminares no ABES a três temperaturas para o papel Melamínico Vermelho

Serie	Configuração	Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Tensão (MPa)	Eliminado
1	WKD+KW	1	140	100	168,71	
1	WKD+KW	2	140	200	311,72	1
1	WKD+KW	3	140	300	417,77	1
1	WKD+KW	4	140	400	523,82	1
1	WKD+KW	5	140	500	540,96	1
1	WKD+KW	6	140	600	512,03	
1	WKD+KW	7	140	550	482,58	
1	WKD+KW	8	140	450	504,54	
1	WKD+KW	9	140	350	385,1	1
1	WKD+KW	10	140	250	507,75	
1	WKD+KW	11	140	150	352,96	1
1	WKD+KW	12	140	50	109,88	
1	WKD+KW	13	140	10	28,39	
1	WKD+KW	14	140	20	58,38	
1	WKD+KW	15	140	30	78,2	
1	WKD+KW	16	140	40	84,09	
1	WKD+KW	17	140	60	144,61	
1	WKD+KW	18	140	70	160,68	
1	WKD+KW	19	140	110	202,46	
1	WKD+KW	20	140	130	207,81	1
1	WKD+KW	21	140	170	281,73	1
1	WKD+KW	22	140	230	469,72	
1	WKD+KW	23	140	270	518,46	
1	WKD+KW	24	140	220	407,59	1
2	WKD+KW	25	130	50	105,51	
2	WKD+KW	26	130	100	145,68	
2	WKD+KW	27	130	150	198,17	
2	WKD+KW	28	130	200	232,99	
2	WKD+KW	29	130	240	307,97	
2	WKD+KW	30	130	300	321,26	
2	WKD+KW	31	130	360	382,95	1
2	WKD+KW	32	130	600	511,5	
2	WKD+KW	33	130	400	383,49	
2	WKD+KW	34	130	440	422,59	
2	WKD+KW	35	130	500	433,3	1
2	WKD+KW	36	130	540	462,76	
2	WKD+KW	37	130	120	161,22	
2	WKD+KW	38	130	180	224,95	
2	WKD+KW	39	130	260	252,8	1
2	WKD+KW	40	130	320	453,12	
2	WKD+KW	41	130	380	433,84	1
2	WKD+KW	42	130	60	95,34	
3	WKD+KW	43	120	60	96,41	
3	WKD+KW	44	120	100	116,23	
3	WKD+KW	45	120	120	140,33	
3	WKD+KW	46	120	180	170,86	
3	WKD+KW	47	120	200	209,42	
3	WKD+KW	48	120	240	224,42	
3	WKD+KW	49	120	300	239,41	
3	WKD+KW	50	120	360	283,87	

Tabela A1.3.2 – Ensaios preliminares no ABES a três temperaturas para o papel Melamínico Vermelho

Serie	Configuração	Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Tensão (MPa)	Eliminado
3	WKD+KW	51	120	400	253,34	1
3	WKD+KW	52	120	420	291,9	
3	WKD+KW	53	120	480	268,87	1
3	WKD+KW	54	120	500	340,64	
3	WKD+KW	55	120	540	372,24	1
3	WKD+KW	56	120	600	352,96	1

ANEXO 2 – ENSAIOS REALIZADOS

Tabela A2.1 – Ensaios da evolução da tensão de rotura no ABES para o papel Kraft

Serie	Configuração	Papel	Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Tensão (MPa)
1	WK+KW	Kraft1	1	140	100	161,22
1	WK+KW	Kraft1	2	140	120	168,71
1	WK+KW	Kraft1	3	140	150	207,81
1	WK+KW	Kraft1	4	140	200	296,19
1	WK+KW	Kraft1	5	140	250	394,74
1	WK+KW	Kraft1	6	140	300	502,93
1	WK+KW	Kraft1	7	140	350	506,68
1	WK+KW	Kraft1	8	140	400	653,43
1	WK+KW	Kraft1	9	140	450	723,06
1	WK+KW	Kraft1	10	140	500	709,13
1	WK+KW	Kraft1	11	140	550	592,91
1	WK+KW	Kraft1	12	140	600	645,4
1	WK+KW	Kraft1	13	140	60	69,63
1	WK+KW	Kraft1	14	140	550	567,2
1	WK+KW	Kraft1	15	140	380	409,2
2	WK+KW	Kraft2	16	140	60	134,44
2	WK+KW	Kraft2	17	140	100	176,21
2	WK+KW	Kraft2	18	140	120	174,07
2	WK+KW	Kraft2	19	140	150	226,56
2	WK+KW	Kraft2	20	140	200	325,11
2	WK+KW	Kraft2	21	140	250	346,53
2	WK+KW	Kraft2	22	140	300	557,02
2	WK+KW	Kraft2	23	140	350	498,64
2	WK+KW	Kraft2	24	140	380	379,74
2	WK+KW	Kraft2	25	140	400	513,64
2	WK+KW	Kraft2	26	140	450	607,37
2	WK+KW	Kraft2	27	140	500	504
2	WK+KW	Kraft2	28	140	550	628,79
2	WK+KW	Kraft2	29	140	600	481,5

Tabela A2.2 – Ensaios da evolução da tensão de rotura no ABES para o papel Decorativo Azul

Serie	Configuração	Papel	Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Tensão (MPa)
3	WKD+KW	Azul	30	140	60	137,11
3	WKD+KW	Azul	31	140	100	197,64
3	WKD+KW	Azul	32	140	120	207,81
3	WKD+KW	Azul	33	140	150	224,95
3	WKD+KW	Azul	34	140	200	320,82
3	WKD+KW	Azul	35	140	250	479,9
3	WKD+KW	Azul	36	140	300	384,58
3	WKD+KW	Azul	37	140	350	437,59
3	WKD+KW	Azul	38	140	380	489,54
3	WKD+KW	Azul	39	140	450	446,69
3	WKD+KW	Azul	40	140	400	438,66
3	WKD+KW	Azul	41	140	500	426,34
3	WKD+KW	Azul	42	140	550	452,05
3	WKD+KW	Azul	43	140	600	418,84

Tabela A2.3 – Ensaios da evolução da tensão de rotura no ABES para o papel Decorativo Branco

Serie	Configuração	Papel	Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Tensão (MPa)
4	WKD+KW	Branco	44	140	60	149,43
4	WKD+KW	Branco	45	140	100	178,35
4	WKD+KW	Branco	46	140	150	300,47
4	WKD+KW	Branco	47	140	120	217,45
4	WKD+KW	Branco	48	140	180	359,39
4	WKD+KW	Branco	49	140	200	371,71
4	WKD+KW	Branco	50	140	220	375,46
4	WKD+KW	Branco	51	140	250	375,99
4	WKD+KW	Branco	52	140	300	442,94
4	WKD+KW	Branco	53	140	350	422,05
4	WKD+KW	Branco	54	140	380	380,28
4	WKD+KW	Branco	55	140	400	453,65
4	WKD+KW	Branco	56	140	450	464,9
4	WKD+KW	Branco	57	140	500	532,92
4	WKD+KW	Branco	58	140	550	446,15
4	WKD+KW	Branco	59	140	600	590,23

Tabela A2.4 – Ensaios da evolução da tensão de rotura no ABES para o papel Decorativo Amarelo

Serie	Configuração	Papel	Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Tensão (MPa)
5	WKD+KW	Amarelo	60	140	60	85,16
5	WKD+KW	Amarelo	61	140	100	104,44
5	WKD+KW	Amarelo	62	140	120	109,8
5	WKD+KW	Amarelo	63	140	180	166,57
5	WKD+KW	Amarelo	64	140	200	182,64
5	WKD+KW	Amarelo	65	140	250	192,82
5	WKD+KW	Amarelo	66	140	300	220,13
5	WKD+KW	Amarelo	67	140	350	249,59
5	WKD+KW	Amarelo	68	140	400	289,76
5	WKD+KW	Amarelo	69	140	450	282,26
5	WKD+KW	Amarelo	70	140	500	439,73
5	WKD+KW	Amarelo	71	140	550	390,45
5	WKD+KW	Amarelo	72	140	600	382,95
5	WKD+KW	Amarelo	73	140	480	386,17
5	WKD+KW	Amarelo	74	140	150	121,58

Tabela A2.5 – Ensaios da evolução da tensão de rotura no ABES para o papel Decorativo Impresso – Cinzento

Serie	Configuração	Papel	Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Tensão (MPa)
6	WKD+KW	Cinzento	75	140	60	117,3
6	WKD+KW	Cinzento	76	140	100	188,53
6	WKD+KW	Cinzento	77	140	120	206,74
6	WKD+KW	Cinzento	78	140	180	288,15
6	WKD+KW	Cinzento	79	140	200	292,44
6	WKD+KW	Cinzento	80	140	250	404,91
6	WKD+KW	Cinzento	81	140	220	392,06
6	WKD+KW	Cinzento	82	140	150	226,02
6	WKD+KW	Cinzento	83	140	300	431,69
6	WKD+KW	Cinzento	84	140	350	371,17
6	WKD+KW	Cinzento	85	140	400	548,45
6	WKD+KW	Cinzento	86	140	380	497,04
6	WKD+KW	Cinzento	87	140	450	348,14
6	WKD+KW	Cinzento	88	140	480	568,81
6	WKD+KW	Cinzento	89	140	500	485,25
6	WKD+KW	Cinzento	90	140	550	517,93
6	WKD+KW	Cinzento	91	140	600	430,09

Tabela A2.6 – Ensaio da evolução da tensão de rotura no ABES para o papel Overlay OL1

Serie	Configuração	Papel	Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Tensão (MPa)	Eliminado
1	WDO+DW	OL1	104	140	60	394,20	
1	WDO+DW	OL1	105	140	150	527,03	1
1	WDO+DW	OL1	106	140	100	530,78	1
1	WDO+DW	OL1	107	140	120	483,65	
1	WDO+DW	OL1	108	140	200	480,43	
1	WDO+DW	OL1	109	140	300	430,62	
1	WDO+DW	OL1	110	140	400	620,76	1
1	WDO+DW	OL1	111	140	50	164,43	
1	WDO+DW	OL1	112	140	250	536,67	1
1	WDO+DW	OL1	113	140	150	568,81	1
1	WDO+DW	OL1	114	140	200	612,19	1
1	WDO+DW	OL1	115	140	600	558,10	1
4	WKDO+DKW	OL1	129	140	100	318,68	
4	WKDO+DKW	OL1	130	140	150	450,98	
4	WKDO+DKW	OL1	131	140	200	522,21	1
4	WKDO+DKW	OL1	132	140	300	572,56	1
4	WKDO+DKW	OL1	133	140	60	196,03	
1	WDO+DW	OL1	152	140	90	495,43	
1	WDO+DW	OL1	153	140	100	589,70	1
1	WDO+DW	OL1	154	140	170	524,89	1
1	WDO+DW	OL1	155	140	220	599,87	1
1	WDO+DW	OL1	156	140	20	41,240	
1	WDO+DW	OL1	157	140	270	546,85	1
1	WDO+DW	OL1	158	140	320	501,32	1
1	WDO+DW	OL1	159	140	350	471,33	
1	WDO+DW	OL1	160	140	420	426,87	
1	WDO+DW	OL1	161	140	480	435,44	
1	WDO+DW	OL1	162	140	500	452,58	
1	WDO+DW	OL1	163	140	520	369,56	
1	WDO+DW	OL1	164	140	550	446,69	
1	WDO+DW	OL1	165	140	580	481,50	
1	WDO+DW	OL1	166	140	600	504,00	1
1	WDO+DW	OL1	225	140	10	5,89	
1	WDO+DW	OL1	226	140	30	42,85	
1	WDO+DW	OL1	227	140	35	42,31	
1	WDO+DW	OL1	228	140	40	92,12	
1	WDO+DW	OL1	229	140	45	122,65	
1	WDO+DW	OL1	230	140	70	396,34	
1	WDO+DW	OL1	231	140	65	390,99	
1	WDO+DW	OL1	232	140	55	326,72	
1	WDO+DW	OL1	233	140	80	484,72	
1	WDO+DW	OL1	234	140	75	448,83	
1	WDO+DW	OL1	235	140	210	537,74	1
1	WDO+DW	OL1	236	140	230	609,51	1
1	WDO+DW	OL1	237	140	240	423,66	
1	WDO+DW	OL1	238	140	260	487,93	
1	WDO+DW	OL1	239	140	380	477,22	

Tabela A2.7 – Ensaio da evolução da tensão de rotura no ABES para o papel Overlay OL2

Serie	Configuração	Papel	Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Tensão (MPa)	Eliminado
2	WDO+DW	OL2	116	140	60	200,85	
2	WDO+DW	OL2	117	140	100	496,50	
2	WDO+DW	OL2	118	140	150	620,22	1
2	WDO+DW	OL2	119	140	200	358,85	
2	WDO+DW	OL2	120	140	300	422,05	
2	WDO+DW	OL2	121	140	400	629,87	1
2	WDO+DW	OL2	122	140	600	464,37	
2	WDO+DW	OL2	123	140	500	620,22	1
3	WKDO+DKW	OL2	124	140	150	505,07	1
3	WKDO+DKW	OL2	125	140	200	541,49	1
3	WKDO+DKW	OL2	126	140	60	208,35	
3	WKDO+DKW	OL2	127	140	300	603,62	1
3	WKDO+DKW	OL2	128	140	100	306,9	
3	WKDO+DKW	OL2	134	140	50	141,4	
3	WKDO+DKW	OL2	135	140	10	16,07	
3	WKDO+DKW	OL2	136	140	90	229,77	
3	WKDO+DKW	OL2	137	140	200	443,48	
3	WKDO+DKW	OL2	138	140	150	358,85	
3	WKDO+DKW	OL2	139	140	250	457,94	
3	WKDO+DKW	OL2	140	140	300	417,77	
3	WKDO+DKW	OL2	141	140	350	478,29	
3	WKDO+DKW	OL2	142	140	400	520,07	1
3	WKDO+DKW	OL2	143	140	500	534,53	1
2	WDO+DW	OL2	144	140	10	20,35	
2	WDO+DW	OL2	145	140	50	220,13	
2	WDO+DW	OL2	146	140	90	445,08	
2	WDO+DW	OL2	147	140	250	558,10	1
2	WDO+DW	OL2	148	140	350	435,44	
2	WDO+DW	OL2	149	140	450	522,21	1
2	WDO+DW	OL2	150	140	550	485,25	
2	WDO+DW	OL2	151	140	470	424,20	
2	WDO+DW	OL2	240	140	20	39,10	
2	WDO+DW	OL2	241	140	30	118,90	
2	WDO+DW	OL2	242	140	25	103,91	
2	WDO+DW	OL2	243	140	40	169,25	
2	WDO+DW	OL2	244	140	70	277,44	
2	WDO+DW	OL2	245	140	80	322,97	
2	WDO+DW	OL2	246	140	85	420,45	
2	WDO+DW	OL2	247	140	120	506,14	1
2	WDO+DW	OL2	248	140	130	549,53	1
2	WDO+DW	OL2	249	140	140	520,07	1
2	WDO+DW	OL2	250	140	160	404,91	
2	WDO+DW	OL2	251	140	180	363,14	
2	WDO+DW	OL2	252	140	230	347,07	
2	WDO+DW	OL2	253	140	280	409,2	
2	WDO+DW	OL2	254	140	320	374,92	
2	WDO+DW	OL2	255	140	380	358,85	
2	WDO+DW	OL2	256	140	420	464,9	
2	WDO+DW	OL2	257	140	520	527,03	1
2	WDO+DW	OL2	258	140	530	516,32	1

ANEXO 2

Tabela A2.8 – Ensaios da evolução da tensão de rotura no ABES para o papel Overlay OL3

Serie	Configuração	Papel	Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Tensão (MPa)	Eliminado
6	WDO+DW	OL3	193	140	20	196,57	
6	WDO+DW	OL3	194	140	50	390,99	
6	WDO+DW	OL3	195	140	60	435,98	
6	WDO+DW	OL3	196	140	90	472,4	
6	WDO+DW	OL3	197	140	100	568,27	1
6	WDO+DW	OL3	198	140	120	462,76	
6	WDO+DW	OL3	199	140	150	430,09	
6	WDO+DW	OL3	200	140	180	435,44	
6	WDO+DW	OL3	201	140	200	408,13	
6	WDO+DW	OL3	202	140	220	681,82	1
6	WDO+DW	OL3	203	140	260	378,67	
6	WDO+DW	OL3	204	140	300	508,28	1
6	WDO+DW	OL3	205	140	360	434,91	
6	WDO+DW	OL3	206	140	320	561,84	1
6	WDO+DW	OL3	207	140	400	394,74	
6	WDO+DW	OL3	208	140	420	438,66	
6	WDO+DW	OL3	209	140	460	366,89	
6	WDO+DW	OL3	210	140	500	476,68	
6	WDO+DW	OL3	211	140	520	372,24	
6	WDO+DW	OL3	212	140	560	525,96	1
6	WDO+DW	OL3	213	140	600	474,01	
6	WDO+DW	OL3	214	140	580	471,86	
6	WDO+DW	OL3	215	140	340	376,53	
6	WDO+DW	OL3	216	140	280	494,36	
6	WDO+DW	OL3	217	140	300	548,99	1
6	WDO+DW	OL3	218	140	80	327,79	
6	WDO+DW	OL3	219	140	70	444,01	
6	WDO+DW	OL3	220	140	40	444,01	
6	WDO+DW	OL3	221	140	30	380,81	
6	WDO+DW	OL3	222	140	10	76,59	
6	WDO+DW	OL3	223	140	15	144,08	
6	WDO+DW	OL3	224	140	25	311,18	

Tabela A2.9 – Ensaio da evolução da tensão de rotura no ABES para o papel Overlay OL4

Serie	Configuração	Papel	Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Tensão (MPa)	Eliminado
5	WDO+DW	OL4	167	140	60	228,17	
5	WDO+DW	OL4	168	140	90	516,32	1
5	WDO+DW	OL4	169	140	70	403,84	
5	WDO+DW	OL4	170	140	50	164,96	
5	WDO+DW	OL4	171	140	100	476,68	
5	WDO+DW	OL4	172	140	120	557,56	1
5	WDO+DW	OL4	173	140	150	449,9	
5	WDO+DW	OL4	174	140	180	494,89	
5	WDO+DW	OL4	175	140	200	438,12	
5	WDO+DW	OL4	176	140	220	520,07	1
5	WDO+DW	OL4	177	140	260	527,03	1
5	WDO+DW	OL4	178	140	300	516,85	1
5	WDO+DW	OL4	179	140	320	464,9	
5	WDO+DW	OL4	180	140	280	416,16	
5	WDO+DW	OL4	181	140	360	491,15	
5	WDO+DW	OL4	182	140	380	439,73	
5	WDO+DW	OL4	183	140	400	446,69	
5	WDO+DW	OL4	184	140	420	527,03	1
5	WDO+DW	OL4	185	140	460	482,04	
5	WDO+DW	OL4	186	140	480	421,52	
5	WDO+DW	OL4	187	140	500	526,49	1
5	WDO+DW	OL4	188	140	520	443,48	
5	WDO+DW	OL4	189	140	560	440,8	
5	WDO+DW	OL4	190	140	580	590,77	1
5	WDO+DW	OL4	191	140	600	472,4	
5	WDO+DW	OL4	192	140	20	27,85	
5	WDO+DW	OL4	259	140	10	4,82	
5	WDO+DW	OL4	260	140	30	128,54	
5	WDO+DW	OL4	261	140	25	95,34	
5	WDO+DW	OL4	262	140	40	164,43	
5	WDO+DW	OL4	263	140	55	259,77	
5	WDO+DW	OL4	264	140	65	375,99	
5	WDO+DW	OL4	265	140	75	504,54	1
5	WDO+DW	OL4	266	140	80	451,51	

ANEXO 3 – MEDIÇÃO DA RUGOSIDADE

Tabela A3.1 – Valores experimentais de Ra e Rz na direcção Longitudinal

Direcção Longitudinal (μm)									
Papéis	Provete	Face				Contra-Face			
		Ra		Rz		Ra		Rz	
Kraft1	A	4,31	4,92	29,9	37	6	7,29	41,2	46,7
	B	4	4,19	30,8	34,7	6,21	5,04	41,8	37,2
Kraft2	A	5,41	5,01	37,4	31,8	6,34	5,16	44,4	32,9
	B	5,64	4,72	40,6	32,4	4,85	4,77	36,7	35,8
Azul	A	4,34	4,22	34,3	29,8	5,22	4,87	36,6	36,5
	B	4,17	4,86	31,1	35,5	5,28	5,16	37,9	37
Amarelo	A	4,58	4,46	29,6	30,9	5,18	4,32	34,7	31,3
	B	4,09	4,06	27,4	28,6	4,63	4,48	32,9	29,7
Branco	A	3,98	4,3	28,4	31,6	6,48	5,68	37,8	31,9
	B	4,16	4,66	25,7	32	6,11	6,43	36,6	42,9
Cinzento	A	3,77	3,97	27,7	27,2	4,3	4,57	27,7	28,1
	B	4,01	3,63	28	24,7	4,3	3,97	28,9	27,9
OL1	A	3,13	2,96	22,1	24,1	3,72	2,95	26,2	20,1
	B	2,74	3,7	20,5	29,4	2,93	3,11	20,7	22,6
OL2	A	11,72	12,45	78,5	77,7	12,54	14,2	82,3	99,5
	B	11,61	10,64	78,4	65,2	15	13,23	104	100,3
OL3	A	5,2	5,45	30,2	35	9,89	12,14	60,7	78,9
	B	5,06	4,41	37,4	28,7	9,77	10,47	61,9	62,6
OL4	A	11,8	11,76	72,1	73,1	14,1	12,23	97,5	87,7
	B	9,67	10,56	72,7	74,6	12,64	11,79	87,2	84,3

Tabela A3.2 – Valores experimentais de Ra e Rz na direcção Transversal

Direcção Transversal (μm)									
Face					Contra-Face				
Papéis	Provete	Ra		Rz		Ra		Rz	
Azul	A	4,44	4,4	35,4	32,3	5,6	5,46	36,3	39,4
	B	4,13	4,23	32,9	28,9	5,53	5,22	40,9	39,1
Amarelo	A	4,74	4,27	31,6	33,9	4,59	4,38	30	27,4
	B	4,47	4,76	29,5	32,6	4,99	4,32	37,3	30,6
Branco	A	4,66	5,29	32	38,4	6,41	5,97	39,3	41,7
	B	4,72	4,18	35,6	39,9	6,93	6,08	40,8	37,7
Cinzento	A	9,16	8,98	81,9	73,5	8,25	8,18	56,6	53,1
	B	3,88	4,09	25,2	27,6	9,18	3,97	62,4	27,4
OL1	A	4,47	3,67	32	22,3	3,51	3,59	23	21,9
	B	4,08	3,61	25,7	20,2	4,79	3,54	26,2	26
OL2	A	13,77	11,74	90,7	80,3	14,54	15,76	100,2	108,1
	B	12,48	12,58	78,8	82,3	16,74	16,75	114,5	103,8
OL3	A	5,84	7,24	41,1	54,3	11,83	9,71	76,5	61,5
	B	6,09	5,92	44,8	37,4	11,06	10,49	72,9	65
OL4	A	12,57	10,52	84,4	66,2	14,06	15,07	85,1	103,6
	B	11,45	9,42	78	67,8	11,75	12,19	78,3	86,8