

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E GESTÃO INDUSTRIAL

Produção artesanal nos lanifícios – uma proposta de inovação

Sérgio Gomes Pires Gonçalves

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Design Industrial pela Faculdade de  
Engenharia da Universidade do Porto

Fevereiro de 2005

## Resumo

A produção artesanal, área claramente identificadora no que se refere à diversidade cultural, apresenta-se como uma possibilidade económica pouco desenvolvida, devido, entre outras questões, à estagnação das tipologias de objectos produzidos nos seus diversos âmbitos.

A procura de novas tipologias de objectos baseados em conhecimentos enraizados em determinadas regiões poderá potenciar a inovação nesta área, no que se refere à sua oferta de produtos, abrindo novas possibilidades comerciais que poderão apresentar-se como focos de desenvolvimento das estagnadas economias do interior do país.

Este trabalho foca a sua atenção numa área de produção artesanal muitíssimo enraizada na Beira Baixa, especificamente na região da Serra da Estrela: a produção de tecidos de lã.

Sabendo-se da crescente decadência da indústria dos lanifícios nesta região, este tema apresentou-se como um excelente “case study” no sentido de explorar as premissas acima descritas.

Deste modo, a investigação que se segue vai explorar as possibilidades de abrir o campo de objectos exequíveis numa pequena unidade de produção de mantas, cobertores e tecidos de lã, explorando o conceito de tornar tridimensionais objectos dos quais temos uma percepção essencialmente bidimensional, sem no entanto lhes retirar as características essenciais, nomeadamente no que diz respeito à sensação táctil que deles temos.

Para atingir este objectivo recorreu-se à combinação deste material com resinas termoendurecíveis, que funcionam aqui como “fixadores de forma”, visto esta tecnologia ser relativamente acessível quanto ao seu processamento, e poder aparecer num momento posterior à normal produção da unidade fabril, não implicando qualquer adaptação do processo produtivo existente.

Procurou-se também desenvolver um processo de produção que permitisse que os objectos produzidos mantivessem o toque da matéria-prima de origem, o que implicaria a não impregnação das camadas exteriores do laminado, processo este que acabaria por se tornar o centro da investigação.

Sendo que os objectos obtidos são efectivamente materiais compósitos, fez-se também uma caracterização mecânica destes, de modo a poder definir-se que tipo de objectos este material nos permitiria executar.



## Abstract

The hand made production is an area that clarifies very well the cultural diversity, and represents an economic possibility underdeveloped, the reason of this underdevelopment, is the stagnation of the objects typologies that are produces in all ambits.

Looking for new objects typologies, which are based in ingrained knowledge from specific regions, can increase the innovation on that area, which is related with the products offer, opening new commercial possibilities that could represent a new focus of development of the stagnated economy from the country's inside.

This work, focus the attention in a area of hand made production very well ingrained in Beira Baixa, specifically in Serra da Estrela: the production of woollen cloth. The industry of the woollen manufacture is going down in this region, and this subject became an excellent “case study” to explore the premises above.

The investigation below will explore the possibilities to open a filed with executable objects in a small production unity of blankets and woollen cloth, exploring the concept of make three-dimensional objects, which ones we have a bi-dimensional perception, without change the essential characteristics, for example, the sensation that we have when we touch them.

To reach this objective we use the combination of this material with thermosetting resins that work like “fix form”. This technology is very easy to handle, and can appear in a moment after the normal production of the manufacturing unity, and also don't implicate any adaptation to the production process that is running.

We also try to develop a production process that allowed that all the objects kepted the touch of the original material. To get that, the exterior layers of the rolled can't be impregnated. If we have done it, this process will became the centre of the investigation. The objects are, effectively, composite materials, because of that we also do a mechanical characterization of them, in this way we can define what kind of objects typologies that material allowed to execute.



## Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de expressar o meu mais sentido agradecimento ao meu orientador científico, Prof. José Luís Soares Esteves, cujo constante apoio e dedicação tornaram possível a realização deste trabalho. A sua enorme e constante disponibilidade e interesse por esta investigação ultrapassaram quaisquer expectativas e foram um estímulo imprescindível.

Ao INEGI, e em particular ao CEMACOM, pelas condições de trabalho que me foram disponibilizadas, bem como a todas as pessoas que diariamente comigo ali conviveram e que com a sua simpatia tornaram inesquecível a experiência que ali vivi.

Ao Instituto Politécnico de Leiria, que me apoiou sempre que para tal foi solicitado.

À Escola Superior de Artes e Design das Caldas da Rainha, que me concedeu todas as condições possíveis no sentido de desenvolver este trabalho.

Ao Eng. Pedro Vieira, por toda a sua colaboração nas mais diversas circunstâncias, nomeadamente no que se refere ao processamento de materiais, ensaios, cálculos etc.

Ao Dr. Paulo Nóvoa, pela preciosa colaboração ao nível dos ensaios mecânicos e pesquisa bibliográfica.

Ao CETECOFF e em particular ao Sr. Sertório por toda a ajuda e disponibilidade

À Ecolã, e em particular ao Sr. João Clara e ao Sr. António, por todas as informações e material generosamente cedidos, e pela sua disponibilidade e simpatia presentes em todas as ocasiões.

À UCB Chemicals e à Matexplas, pelas amostras de resina gentilmente cedidas.

À Polirígido, e em particular ao Sr. Victor Lira e ao Sr. Álvaro Ferreira, pela generosa colaboração

À Simoldes, pela esclarecedora visita que me proporcionaram.

À Eng. Maria José Oliveira do CITEVE da Covilhã, pela preciosa ajuda e informações prestadas.

Ao Sr. Alfredo Fonseca da ANIL, pelo interesse demonstrado pelo projecto, bem como por toda a bibliografia e informações disponibilizadas

Aos meus alunos, que ao longo deste tempo tiveram de abdicar de alguma da minha dedicação

Aos meus colegas e amigos da ESAD de Caldas da Rainha, em especial à Cláudia Vala, Rui Leal e Paulo Tuna, por toda a ajuda que me deram

À minha irmã Céu, ao meu cunhado José e aos meus sobrinhos Gabriel e Sílvia, que me acolheram durante todo o decurso desta investigação e me presentearam com todo o seu apoio e simpatia.

.À Sara, ao Adolfo e à Teresa, que privei durante longos períodos da minha presença e apoio, mas dos quais sempre recebi enorme ajuda, afecto e compreensão.

À CAL Design, que num momento em que precisava de toda a minha dedicação teve a generosidade de compreender a minha prolongada ausência.

Aos meus pais, que num momento tão difícil da sua vida, me deram todo o apoio possível.

## Índice

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| Resumo                           | i   |
| Abstract                         | iii |
| Agradecimentos                   | v   |
| Índice                           | vii |
| Lista de símbolos e abreviaturas | xiv |

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 1 Introdução e objectivos do trabalho          | 3  |
| 1.1 Enquadramento do trabalho                  | 5  |
| 1.1.1 Introdução                               | 5  |
| 1.1.2 A problemática alvo                      | 5  |
| 1.1.3 O problema da desertificação do interior | 6  |
| 1.1.4 O combate a desertificação               | 7  |
| 1.1.5 Soluções para o problema                 | 8  |
| 1.1.6 Possibilidade de intervenção             | 10 |
| 1.1.7 Estudo a realizar                        | 11 |
| 1.2 Objectivos do trabalho                     | 12 |
| 2 A Produção de lanifícios                     | 13 |
| 2.1 Introdução                                 | 15 |
| 2.2 Introdução histórica                       | 15 |
| 2.3 Processo de produção de tecidos de lã      | 16 |
| 2.3.1 Tosquia                                  | 17 |
| 2.3.2 Selecção/classificação                   | 18 |
| 2.3.3 Lavagem                                  | 18 |
| 2.3.4 Operações de cardação                    | 19 |
| 2.3.4.1 Mistura, abertura e lubrificação       | 19 |
| 2.3.4.2 Cardação                               | 19 |
| 2.3.5 Lã penteada e lã cardada.                | 20 |

|                                          |           |
|------------------------------------------|-----------|
| 2.3.5.1 Lã penteada                      | 20        |
| 2.3.5.2 Lã cardada                       | 21        |
| 2.3.6 Fiação                             | 21        |
| 2.3.7 Tecelagem                          | 23        |
| 2.3.7.1 Aspectos gerais                  | 23        |
| 2.3.7.2 Urdissagem                       | 23        |
| 2.3.7.3 Preparação das tramas            | 24        |
| 2.3.7.4 Montagem do órgão no tear        | 24        |
| 2.3.7.5 Tecelagem                        | 24        |
| 2.3.8 Tingimento                         | 25        |
| 2.3.8.1 Tingimento em rama               | 26        |
| 2.3.8.2 Tingimento em fio                | 26        |
| 2.3.8.3 Tingimento em tecido             | 26        |
| 2.3.9 Acabamento                         | 26        |
| 2.4 A empresa ecolã                      | 27        |
| 2.4.1 Introdução                         | 27        |
| 2.4.2 Descrição da empresa               | 27        |
| 2.4.3 Método de produção                 | 29        |
| 2.4.4 Intervenção na produção da empresa | 30        |
| <b>3 As fibras de lã</b>                 | <b>31</b> |
| 3.1 A origem da lã                       | 33        |
| 3.1.1 A lã e os pelos                    | 33        |
| 3.1.2 A origem da lã                     | 33        |
| 3.1.3 Ovelhas de altitude                | 34        |
| 3.1.4 Ovelhas de planície                | 35        |
| 3.2 Principais produtores mundiais de lã | 35        |
| 3.3 Tipos de lãs segundo as origens      | 35        |
| 3.3.1 Lãs da Austrália                   | 35        |
| 3.3.2 Lãs da Nova Zelândia               | 36        |
| 3.3.3 Lãs da América do Sul              | 36        |
| 3.3.4 Lãs da África do Sul (Lãs do Cabo) | 37        |
| 3.3.5 Lãs do Reino Unido                 | 37        |

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.6 Lãs de Portugal                                               | 38 |
| 3.4 Outros tipos de lã                                              | 39 |
| 3.4.1 Lãs para carpetes                                             | 39 |
| 3.4.2 Lãs de peles                                                  | 39 |
| 3.4.2.1 Preparação das peles                                        | 39 |
| 3.4.2.2 Preparação para a deslanagem                                | 40 |
| 3.4.2.3 Deslanagem                                                  | 40 |
| 3.5 Fibras de lã                                                    | 40 |
| 3.5.1 Crescimento e partes constituintes                            | 40 |
| 3.5.2 Componentes fundamentais da fibra de lã                       | 41 |
| 3.5.3 Composição química da lã                                      | 43 |
| 3.5.3.1 Composição amino-ácida                                      | 43 |
| 3.6 Características físicas da lã                                   | 44 |
| 3.6.1 Finura                                                        | 45 |
| 3.6.2 Comprimento                                                   | 46 |
| 3.6.3 Cor e lustro                                                  | 47 |
| 3.6.4 Frisado (ondulação)                                           | 48 |
| 3.7 Características mecânicas das fibras de lã                      | 48 |
| 3.7.1 Resistência à rotura ou tenacidade                            | 48 |
| 3.7.2 Elasticidade                                                  | 49 |
| 3.7.3 Resiliência                                                   | 49 |
| 3.7.4 Rigidez                                                       | 49 |
| 3.7.5 Feltragem                                                     | 50 |
| 3.7.6 Massa específica                                              | 51 |
| 3.7.7 Recuperação de humidade                                       | 51 |
| 3.7.8 Propriedades eléctricas                                       | 51 |
| 3.7.9 Condutividade térmica                                         | 51 |
| 3.8 Comportamento da lã em relação a ambientes e agentes exteriores | 52 |
| 3.8.1 Ácidos e alcalinos                                            | 52 |
| 3.8.2 Luz                                                           | 52 |
| 3.8.3 Temperatura                                                   | 52 |
| 3.8.4 Vapor de água                                                 | 53 |
| 3.8.5 Micro-organismos                                              | 53 |

|                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.8.6 Fogo                                                                  | 53        |
| <b>4 Materiais compósitos</b>                                               | <b>55</b> |
| 4.1 Introdução                                                              | 57        |
| 4.2 Compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras                   | 58        |
| 4.3 Fibras de reforço                                                       | 60        |
| 4.3.1 Introdução                                                            | 60        |
| 4.3.2 Factores que influenciam o desempenho das fibras                      | 60        |
| 4.3.2.1 Geometria                                                           | 60        |
| 4.3.2.2 Quantidade                                                          | 61        |
| 4.3.2.3 Orientação                                                          | 61        |
| 4.3.3 Tipos de fibras                                                       | 62        |
| 4.3.3.1 Fibras de vidro                                                     | 62        |
| 4.3.3.2 Fibras de carbono                                                   | 63        |
| 4.3.3.3 Fibras naturais                                                     | 63        |
| 4.3.3.3.1 Fibras vegetais                                                   | 63        |
| 4.3.3.3.2 Fibras animais                                                    | 66        |
| 4.4 Matrizes                                                                | 67        |
| 4.4.1 Matrizes termoendurecíveis                                            | 67        |
| 4.4.2 Matrizes termoplásticas                                               | 69        |
| 4.5 Algumas tecnologias de produção                                         | 70        |
| 4.5.1 Moldação por contacto (termoendurecíveis)                             | 70        |
| 4.5.2 Projecção simultânea (termoendurecíveis)                              | 71        |
| 4.5.3 Moldação em autoclave (termoendurecíveis)                             | 71        |
| 4.5.4 Enrolamento filamentar (termoendurecíveis e termoplásticos)           | 71        |
| 4.5.5 Pultrusão (termoendurecíveis)                                         | 72        |
| 4.5.6 RTM - resin transfer moulding (termoendurecíveis)                     | 72        |
| 4.5.7 Injecção de plásticos reforçados (termoendurecíveis e termoplásticos) | 72        |
| <b>5 Caracterização mecânica de compósitos reforçados com fibras de lã</b>  | <b>75</b> |
| 5.1 Introdução                                                              | 77        |
| 5.2 Procedimento experimental                                               | 77        |
| 5.3 Ensaio de tracção e flexão do compósito                                 | 79        |

|                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.3.1 Parâmetros do ensaio de tracção e flexão                                     | 79        |
| 5.3.2 Resultados experimentais                                                     | 79        |
| 5.3.3 Interpretação dos resultados                                                 | 80        |
| 5.4 Ensaio de fios                                                                 | 81        |
| 5.4.1 Procedimento experimental                                                    | 81        |
| 5.4.2 Ensaio de tracção                                                            | 82        |
| 5.4.3 Interpretação dos resultados                                                 | 83        |
| 5.5 Ensaio de laminados com reforço sujeito a tratamento térmico                   | 83        |
| 5.5.1 Introdução                                                                   | 83        |
| 5.5.2 Procedimento experimental                                                    | 84        |
| 5.5.2.1 Execução dos laminados                                                     | 84        |
| 5.5.3 Ensaio de tracção, flexão e impacto                                          | 85        |
| 5.5.3.1 Parâmetros do ensaio de tracção e flexão                                   | 85        |
| 5.5.3.2 Resultados experimentais                                                   | 86        |
| 5.5.3.3 Interpretação de resultados                                                | 87        |
| 5.5.4 Ensaio de Impacto                                                            | 87        |
| 5.5.4.1 Parâmetros de ensaio                                                       | 87        |
| 5.5.4.2 Resultados experimentais                                                   | 88        |
| 5.5.4.3 Interpretação dos resultados                                               | 88        |
| <b>6 Princípio de produção de laminados sem impregnação das camadas exteriores</b> | <b>89</b> |
| 6.1 Introdução                                                                     | 91        |
| 6.2 Princípio                                                                      | 92        |
| 6.3 Procedimento experimental                                                      | 93        |
| 6.3.1 Combinação de polímeros termoendurecíveis e termoplásticos                   | 94        |
| 6.3.1.1 Caracterização do PS                                                       | 95        |
| 6.4 Análise de temperatura do laminado                                             | 96        |
| 6.5 Controlo de temperatura do laminado                                            | 97        |
| <b>7 Processo de produção de laminados sem impregnação das camadas exteriores</b>  | <b>99</b> |
| 7.1 Procedimento experimental                                                      | 101       |
| 7.2 Moldes                                                                         | 101       |
| 7.3 Processo de moldação de placas                                                 | 102       |

|                                                                                      |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 7.4 Conclusões                                                                       | 103     |
| 7.5 O processo “Moulded textile-backing” (MTB)                                       | 104     |
| 7.5.1 Introdução                                                                     | 104     |
| 7.5.2 Processo MTB                                                                   | 105     |
| 7.5.3 Processo                                                                       | 105     |
| 7.5.4 Moldes                                                                         | 106     |
| 7.5.5 Máquinas de injeção                                                            | 107     |
| 7.5.6 Automação                                                                      | 107     |
| 7.5.7 Tecidos de revestimento                                                        | 108     |
| 7.5.8 Geometria das peças                                                            | 108     |
| 7.5.9 Comparação do processo desenvolvido com o processo MTB                         | 109     |
| 7.6 Comparação da ancoragem entre os processos                                       | 110     |
| <br><b>8 Caracterização mecânica de laminados com camada exterior não impregnada</b> | <br>113 |
| 8.1 Ensaio de tracção e flexão                                                       | 115     |
| 8.1.1 Introdução                                                                     | 115     |
| 8.1.2 Procedimento experimental                                                      | 115     |
| 8.1.3 Parâmetros do ensaio de tracção e flexão                                       | 116     |
| 8.1.4 Resultados experimentais                                                       | 116     |
| 8.2 Rotura do compósito revestido                                                    | 117     |
| 8.3 Interpretação dos resultados                                                     | 117     |
| 8.4 Caracterização da adesão do revestimento ao compósito                            | 118     |
| 8.4.1 Ensaio de arrancamento                                                         | 118     |
| 8.4.1.1 Parâmetros do ensaio                                                         | 118     |
| 8.4.1.2 Resultados experimentais                                                     | 118     |
| 8.4.2 Análise da ancoragem em microscopia óptica                                     | 119     |
| <br><b>9 Fabrico de uma peça revestida</b>                                           | <br>121 |
| 9.1 Introdução                                                                       | 123     |
| 9.2 Desenvolvimento da peça                                                          | 123     |
| 9.3 Produção da peça                                                                 | 125     |
| <br><b>10 Conclusões</b>                                                             | <br>127 |

|                                           |            |
|-------------------------------------------|------------|
| 10.1 Análise crítica dos resultados       | 129        |
| 10.2 Recomendações para trabalhos futuros | 129        |
| <b>Notas bibliográficas</b>               | <b>131</b> |

## **Anexo I**

Tabelas e gráficos de ensaios dos provetes em tracção e flexão

Tabela de ensaios Charpy

Tabela comparativa da totalidade de resultados

## Lista de símbolos e abreviaturas

HDPS – Poliestireno de alta densidade

PS – Poliestireno

PE – Polietileno

PET – Politereftalato de etileno

PP - Polipropileno

PU – Poliuretano

T<sub>g</sub> – Temperatura de transição vítrea

T<sub>m</sub> – Temperatura de fusão cristalina

N – Força – Newton

μm - micrómetro

g/cm<sup>3</sup> - Densidade ou massa específica – Grama por centímetro<sup>3</sup>

°C – Temperatura – Grau Celsius

J/m<sup>2</sup> - Resiliência – Joule por metro<sup>2</sup>

g / denier – Tensão (têxteis)

MPa – Tensão – Mega Pascal

GPa – Tensão – Giga Pascal

E – Módulo de elasticidade em tracção

E<sub>f</sub> – Módulo de elasticidade em flexão

σ<sub>u</sub> - Tensão à carga máxima em tracção

σ<sub>uf</sub> - Tensão à carga máxima em flexão

PH – Acidez e alcalinidade



*“As palavras design, máquina, técnica, arte e saber-fazer artesanal mantêm um estreito relacionamento, cada uma destas noções é impossível sem as outras, e todas procedem com uma única e mesma atitude existencial face ao mundo.”*

*Vilém Flusser [1]*



# 1 Introdução e objectivos do trabalho



## 1.1 Enquadramento do trabalho

### 1.1.1 Introdução

Pretendo que o meu trabalho se apresente como uma proposta que possa ser verdadeiramente útil à minha sociedade e não meramente como uma contemplação. Pretendo dar um contributo válido e que directa ou indirectamente possa melhorar a vida de pessoas, tornando-o acima de tudo um exercício de cidadania. Digo isto pois acredito que através do Design se pode dar um contributo para atingir estes objectivos, acreditando que há muito a explorar do ponto de vista da sua abrangência social e política, entendendo o design essencialmente como um processo. Fazer progredir a disciplina a que me dedico, citando Umberto Eco, é de facto um desafio grandioso, sobretudo se a entender contextualizada dentro das especificidades de uma determinada cultura, de uma determinada época, de uma determinada economia, de uma determinada sociedade à qual pertenço. Considero fundamental esta contextualização.

### 1.1.2 A problemática alvo

*«Desde que se procurou validar internacionalmente a noção de Design Industrial, a primeira pergunta para a qual foi necessário encontrar uma resposta foi extremamente simples: será legítimo falar de design industrial, num país em que a indústria manufactureira não existe ou ainda se encontra em fase muito incipiente?»[2]*

Tomás Maldonado refere-se aqui à pertinência da intervenção do design Industrial ao nível do desenvolvimento industrial de países do terceiro mundo. Obviamente que não se poderá considerar Portugal como tal mas, a sua parca

«cultura industrial» não estabelece como prioridade a intervenção do Designer industrial como um dos meios para o aumento da sua eficácia.<sup>1</sup>

É em torno destas problemáticas que pretendo desenvolver o meu trabalho, reflectindo sobre como se poderá colocar a actividade do designer de modo a retirar dela o maior proveito em prol do desenvolvimento coerente e sustentado de uma indústria actualmente débil do ponto de vista da capacidade de inovação<sup>2</sup>.

### 1.1.3 O problema da desertificação do interior

Uma das questões com que nos deparamos actualmente prende-se com a desertificação dos pequenos aglomerados populacionais, sobretudo os do interior do país. A emigração não só para o estrangeiro como para os grandes pólos urbanos tem levado a que cada vez menos pessoas se fixem nas suas localidades de origem, levando a um gradual envelhecimento das populações e à consequente desertificação.

Este fenómeno é facilmente explicável pela procura de melhores condições de vida ao nível do emprego, educação e cuidados de saúde. Isso leva a que, por exemplo, nas aldeias do interior, as famílias voltem apenas com o intuito de visitar familiares mais velhos, uma ou duas vezes por ano, levando a que a sua identificação ao local se limite a ligações familiares. Isto faz com que, à medida que a população mais idosa vai desaparecendo, as gerações mais jovens deixem de ter referentes nessas localidades e, como tal, deixem de aí se deslocar. Esta questão faz com que diminua o número de pessoas que se deslocam a esses locais, ditando gradualmente a sua sentença de desaparecimento. A isto acresce o facto de os netos da terra nascerem já nos locais de fixação dos pais emigrantes, fazendo com que a sua identificação relativamente às localidades de origem destes seja nula.

<sup>1</sup> Eficácia aqui entendida como objectivo último, para onde idealmente se tende. Pode ser encarada de vários pontos de vista, mas em última análise, tende para uma produção de qualidade que seja absolutamente competitiva dentro dos mercados onde se insere.

<sup>2</sup>Entenda-se inovação como a capacidade de se tornar competitivo pela diferença e qualidade da oferta.

### 1.1.4 O combate a desertificação

Desloquei-me à freguesia onde os meus pais habitam por altura das últimas eleições legislativas. Falo de uma freguesia da Beira Baixa, Concelho do Fundão, onde estes problemas se começam a sentir com alguma intensidade. Uma das razões apontadas pelos políticos na tentativa de explicar o gradual desaparecimento das populações é a falta de emprego. Aferida a maleita, todos os aspirantes a presidente da junta e afins avançam com uma receita milagrosa para a resolução destes problemas (receita esta obviamente patente na generalidade dos programas eleitorais dos candidatos às diferentes assembleias de freguesia) - a criação de uma zona industrial! Obviamente, a ânsia de soluções por parte da generalidade das populações leva a que se deposite uma incomensurável esperança neste ovo de Colombo, que obviamente não pode passar de um presente envenenado, pelo facto de tal solução requerer investimento privado que dificilmente será aplicado em regiões cuja capacidade de fornecer condições de mão de obra e infra-estruturas elementares é quase nula.

Também o investimento do estado nestas regiões não é de interesse capital, visto que a densidade populacional é baixa, o que leva a que os investimentos tenham uma rentabilidade escassa por servirem minorias, quando ao serem feitos nos grandes centros podem ser usufruídos por um número consideravelmente maior de cidadãos e de potenciais eleitores<sup>3</sup>.

Alguns investigadores debruçaram-se sobre estes assuntos, concluindo que deveria fazer-se o aproveitamento de conhecimentos específicos destas populações, valorizando-os de forma a dar-lhes sequência através da formação de jovens e do incentivo a criação de uma espécie de «museus vivos» que funcionariam como um pólo de atracção turística, ao mesmo tempo que se potenciaria o comércio tradicional onde seria feito o escoamento dos produtos fruto dessa actividade. Um estudo bastante completo e pormenorizado deste tema pode ser encontrado no livro «Microempresas»[3], fruto de um programa governamental denominado «Promoção do potencial de desenvolvimento regional».

<sup>3</sup> Este tipo de consideração é altamente pessimista, mas em última análise, não podemos ser ingénuos ao ponto de considerar que, ao vencer umas eleições, o primeiro pensamento da grande maioria dos políticos não será o de estabelecer formas de garantir bons resultados eleitorais daí a quatro anos.

Denota-se portanto um sentimento generalizado da necessidade de promover os potenciais de desenvolvimento regional. Mais uma vez, procuram-se resolver estes assuntos através de injeções de capital que, se por um lado permitiriam um rápido aparecimento de intenções de investimento com base nos mecanismos de incentivo governamental, fácil seria também adivinhar que o tempo de vida útil destes investimentos seria curto, pelo facto de não canalizarem os esforços e conhecimentos das populações no sentido de lhes dar uma nova interpretação que as coloque no caminho da competitividade, não só no meio em que se inserem mas também fora daquelas que se entenderiam como as suas fronteiras territoriais naturais.

### 1.1.5 Soluções para o problema

*«É sobejamente conhecido que os problemas que o Designer Industrial tem hoje de enfrentar (de enfrentar e de resolver) lhe aparecem fortemente condicionados pela mudança radical do contexto tecnológico, situado na base da hodierna promoção industrial. Estamos a referir-nos em especial à influência da microelectrónica que veio revolucionar o parque de objectos da nossa civilização»[2]*

Tomás Maldonado refere-se aqui a uma questão que considero fundamental na abordagem a este problema - o contexto tecnológico - e que qualquer reflexão deverá partir daqui.

As questões que foram referidas abordam esta problemática, mas neste caso deveremos inverter o sentido da progressão tecnológica. Isto passará não por uma tentativa exacerbada de modernização de uma indústria para se manter num patamar concorrencial, visto esta indústria ser escassa ou quase inexistente, mas sim transformar em micro indústria os focos de competência técnica que se encontram encerrados em alguns grupos de indivíduos. Mais, pode observar-se que estes focos de competência técnica se encontram normalmente delimitados geograficamente, isto é, poderemos dividir o país em porções com características técnicas únicas, formando regiões com uma identidade própria do ponto de vista da produção artesanal. Esta produção artesanal, só por si, poderá eventualmente ser potenciada de modo a satisfazer

alguns nichos de mercado. Contudo, tal solução implicaria um grande esforço promocional que vai além das possibilidades destes artesãos e teria um retorno muito provavelmente inferior ao investimento.

A solução poderá então passar por dar novas valências a todo este conjunto de técnicas.

Algumas experiências foram já feitas com este intuito. Como exemplo, posso referir o projecto *CraTerre* da Universidade de Grenoble, em que se desenvolvem estudos que se prendem com a arquitectura em terra. As conclusões obtidas são extremamente animadoras, visto ter-se chegado à conclusão que este tipo de construção apresenta qualidades únicas, e a relação qualidade/custo é imbatível, visto que a matéria prima para a construção é recolhida no local, e a velocidade de construção é extremamente elevada, sem requerer meios técnicos onerosos. O facto de este projecto ter sido assumido por uma universidade traz-lhe obviamente uma credibilidade acrescida, o que permite concluir que tal atitude, para ter frutos, deve ser incentivada por este tipo de instituições.

Mas onde poderá um designer intervir num processo destes?

*»Assim, contrariamente aos métodos tradicionais que provocam na maior parte dos casos a passagem da ideia à fabricação, a metodologia do Design comanda soluções simples e liberta o projecto de incidências nefastas que surgem geralmente na fase de desenvolvimento avançado.*

*O Design apoia-se por conseguinte numa visão global das várias componentes do projecto e permite estabelecer desde a fase inicial do mesmo, os parâmetros económicos e culturais que garantem uma parte do sucesso dos resultados. Subordinado ao sector administrativo, ele constitui uma orientação e por vezes uma exigência, em favor da sua inserção no processo de organização e de gestão de empresas em busca de uma imagem corporativa eficiente»[4]*

Partindo destas considerações, bem como daquilo que anteriormente foi dito, poderemos retirar algumas conclusões quanto ao possível campo de intervenção do designer em semelhante contexto. A sua necessidade de apropriação global das condicionantes do projecto implica que este tenha uma

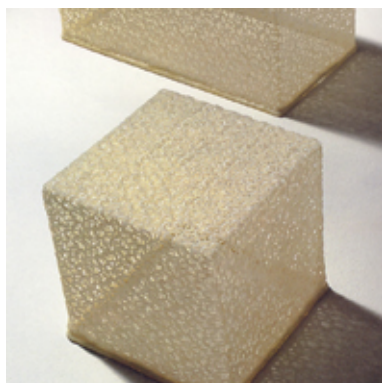


Figura 1.1  
Lace tables – Marcel Wanders

visão abrangente relativamente aos meios de que poderá dispor, e projectar campos de intervenção baseados nestas condicionantes. Falo aqui de uma reinterpretação de técnicas tradicionais com o intuito de criar produtos inovadores que recorram a estas para o seu fabrico. Podem referir-se alguns objectos em que este princípio foi aplicado, como sejam as *Lace Tables* (Figura 1.1) ou a *Knotted Chair* (figura 1.2) de Marcel Wanders [5]. Nestes casos, técnicas como o croché ou os nós de corda foram utilizados para criar peças de mobiliário, ligando estas técnicas a processos mais avançados de compósitos reforçados.



Figura 1.2  
Knotted Chair – Marcel Wanders

### 1.1.6 Possibilidade de intervenção

As exposições acima dão já a entender que as possibilidades existem mas que para tal é necessário um estudo aprofundado de todas estas matérias e de formas de lhes dar continuidade, isto é, aferir quais as técnicas e quem as executa. Tal projecto requer um investimento na formação de novos profissionais (artesãos), mas de uma forma mais abrangente, munindo-os não só dos saberes puramente técnicos mas também de bases para a aquisição de outros que se prendam com questões inerentes a uma sociedade contemporânea.

Serão também necessários esforços governamentais, nomeadamente no que respeita ao reconhecimento social e jurídico destas classes, de modo a que a profissão de artesão não seja tomada como um exercício museológico. Só desta forma se poderão atrair novas gerações para estas práticas, sem que estas sintam que se dirigem a uma carreira sem futuro.

Após devidamente estudadas as técnicas, poderiam criar-se pequenas indústrias-escola experimentais que numa primeira fase poderiam funcionar como cooperativas de artesãos e onde seriam estudados e desenvolvidas metodologias de racionalização da produção, e onde o design teria um papel preponderante, ao estudar a possibilidade de com estas técnicas desenvolver produtos novos, mais adaptados a nichos específicos de mercado, sem deixar de lado as práticas habituais destes artesãos.

Uma solução deste género permitiria um reavivar de técnicas produtivas tipicamente nacionais, perfeitamente dominadas por quem as

executa e, como tal, sem grandes necessidades de investimento em equipamentos de ponta nem riscos devidos a uma inadaptação do tipo de produção ao meio em que se insere. Permitiria ainda o aparecimento de indústrias altamente pertinentes em regiões condenadas à desertificação, visto nessas regiões esta mão-de-obra especializada existir mais do que em qualquer aglomerado urbano. O produto resultante de uma medida desta natureza seria escoado para diversos mercados, visto a abrangência que o caracteriza permitir satisfazer consumidores de artesanato mas também de produtos contemporâneos que se baseiam neste para o seu fabrico.

### 1.1.7 Estudo a realizar

O presente trabalho refere-se à procura de novas tipologias de objectos que façam evoluir a oferta no campo do artesanato, enquadrando-se nas tecnologias de produção tradicionais.

Para tal, impõe-se um estudo dessas tecnologias, de forma a compreendê-las na sua generalidade e poder introduzir conceitos que à partida não fazem parte da reflexão dos seus promotores.

Um estudo desta questão implicaria em si uma investigação profunda, que limitaria a abrangência pretendida por este trabalho. Assim sendo, começou por se identificar um tipo específico de produção a estudar – a indústria dos lanifícios tradicionais da Beira Baixa – e uma empresa com a qual se pudesse desenvolver a investigação. Esta delimitação do campo de intervenção permitiria efectuar uma análise mais localizada, e consequentemente mais célere, o que abriria espaço à realização de um trabalho mais abrangente em direcção ao objectivo enunciado inicialmente. Por outro lado, era intenção tentar comprovar a um nível prático os princípios que se pudessem enumerar, e ultrapassar o campo da especulação conceptual.

A oportunidade de desenvolver um trabalho ligado à área dos materiais compósitos surgiu como uma hipótese interessante de ligar um trabalho essencialmente especulativo com o pragmatismo da investigação científica, completando assim o ciclo pretendido.

Esta situação envolve evidentemente alguns riscos, pois implica investigar em áreas de especialidade profundamente distintas, o que poderia

com facilidade levar a alguma imperfeição de partes do estudo, visto muitas das coisas com que me propunha trabalhar eram para mim desconhecidas.

No entanto, as oportunidades de trabalhar em áreas tão diversas mas interessantes constituíam um desafio demasiadamente sedutor para serem desperdiçadas.

## 1.2 Objectivos do trabalho

- Definir tipologias de objectos que possam aumentar a oferta dentro da produção artesanal de tecidos de lã, criando possibilidades de evolução económica numa região atingida pela desertificação demográfica.
- Utilizar exclusivamente produtos oriundos do normal ciclo de produção da empresa colaboradora, ou excedentes dessa mesma produção.
- Ligar esta indústria à tecnologia dos materiais compósitos, o que permitirá fixar formas tridimensionais em objectos dos quais temos uma percepção essencialmente bidimensional.
- Proceder para o efeito a uma caracterização mecânica de compósitos reforçados com fibras de lã.
- Desenvolver uma tecnologia de moldação que permita o fabrico de objectos compósitos de matriz termoendurecível, sem impregnação das camadas exteriores dos laminados, de forma a manter as características tácteis da matéria-prima de reforço que lhes dá origem.
- Desenvolver formas de combinar as duas tecnologias sem agredir as práticas de trabalho enraizadas na unidade produtiva em estudo.

## 2 A Produção de lanifícios



## 2.1 Introdução

O segundo capítulo deste trabalho procura esclarecer de forma resumida a produção de matérias primas para a indústria dos lanifícios, bem como aspectos da produção dos tecidos, debruçando-se essencialmente no caso específico dos lanifícios da Cova da Beira. Se bem que do ponto de vista técnico as semelhanças com outras regiões sejam efectivas, do ponto de vista da importância histórica e económica, este sector de actividade ganha aqui uma dimensão superior.

Propor algo no sector dos lanifícios para esta região constitui-se como um acto que requer o conhecimento de questões que vão para além dos aspectos produtivos. Assim, impõe-se uma introdução histórica que, de uma forma resumida, informe acerca da tradição que esta indústria possui na região.

Por outro lado, o entendimento geral do processo produtivo permite também estabelecer uma análise mais rigorosa da empresa envolvida neste trabalho, assim como das operações a que está submetida a fibra de lã ao longo do seu processo de transformação.

## 2.2 Introdução histórica

Antes do séc XVIII, a produção de têxteis em Portugal como no resto do mundo era uma actividade artesanal, doméstica e manual.

A sua evolução teve momentos altos e baixos, consoante era proibida ou permitida pelos reis a importação de tecidos. Com D. João II, foi regulada a importação de panos estrangeiros, oriundos normalmente da Flandres. D. Sebastião promulgou em 1573 o regimento dos trapeiros.

O reinado dos Filipes foi prejudicial à tecelagem nacional, devido a grandes importações de fazendas.

Em 9 de Agosto de 1686, foi assinado pelo Conde da Ericeira um alvará de proibição do uso de panos estrangeiros. Em 27 de Dezembro de 1703, o rei D. Pedro II estabelece com a Rainha Anna de Inglaterra o tratado de Methwen,

que obriga à importação de tecidos ingleses em troca de exportação para Inglaterra de vinhos portugueses.

As fábricas de lanifícios na Covilhã estabelecem-se em 1681, com pessoal estrangeiro. Prosperaram de tal forma que por mais de 20 anos corresponderam ao consumo do Reino e do Brasil. Contribuiu para esse facto o alvará do conde da Ericeira

D Pedro II ordenou, a 9 de Janeiro de 1690, o acrescento de 11 capítulos ao regimento dos trapeiros. Um destes estabelecia os números e qualidade dos padrões dos panos, referindo-se o regimento às fábricas de Portalegre Estremoz e Covilhã. O tratado de Methwen, no entanto, representou uma grande quebra para a indústria nacional de lanifícios.[6]

No entanto, e até ao séc XIX, Portugal foi na Europa um centro polarizador de produção de tecidos de lã. A revolução industrial conduziu a uma forte concentração fabril, que ainda hoje se verifica.

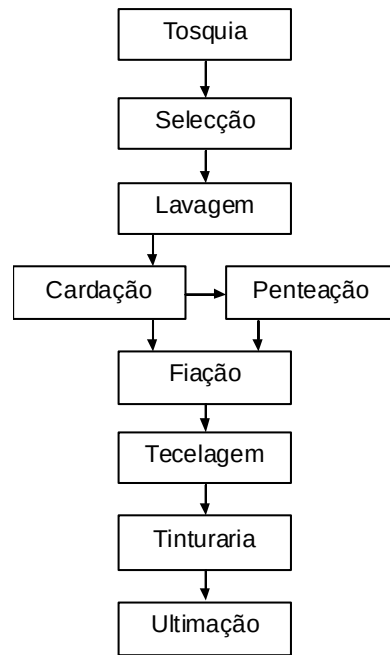
Nos anos 80 e 90 verificou-se uma grande modernização da indústria dos lanifícios ao nível de técnicas e produtos, promovida pela abertura do país ao espaço europeu.[7]

Actualmente, verifica-se uma quebra significativa no volume de vendas, devido em grande parte à entrada dos produtos asiáticos no mercado ocidental.

A produção nacional na área dos lanifícios encontra-se em boa parte na região da Cova da Beira, sendo o principal pólo a região da Covilhã, com grandes empresas situadas em vilas próximas, como a Penteadora em Unhais da Serra e a Sotave em Manteigas (que emprega cerca de 10% da população local), e à qual não é alheia a presença de vários centros dedicados ao estudo das fibras e tecidos, como o CILAN, o CITEVE e a Universidade da Beira Interior (que acolhe nas suas instalações o Museu dos Lanifícios), bem como a ANIL, Associação Nacional dos Industriais de Lanifícios, importante organismo para o sector da indústria dos lanifícios.

## 2.3 Processo de produção de tecidos de lã

Quer seja para produção artesanal ou industrial, o processo é semelhante, e obedece ao seguinte esquema:



### 2.3.1 Tosquia

A tosquia é a operação em que se procura cortar a lã junto à pele do animal, sem quebrar a continuidade do velo<sup>4</sup>, o que tem grande importância na valorização do mesmo.

A época do ano em que tem lugar a tosquia varia com as condições climáticas, pois não convém descobrir o animal cedo demais nem deixá-lo suportar o calor com o peso do velo. É por este motivo que a época de tosquia varia de região para região.

Meses de tosquia em alguns países:

- Austrália - Julho a Dezembro
- União Soviética - Março a Agosto
- Nova Zelândia - Setembro a Fevereiro
- Argentina - Outubro a Janeiro
- África do Sul - Setembro a Fevereiro

<sup>4</sup> O velo é o "manto" de lã que cobre o animal, e quando retirado forma uma peça completa, devido ao emaranhamento das fibras.

- E.U.A. - Março a Agosto
- Uruguai -Setembro a Dezembro
- Reino Unido - Março a Julho
- Brasil - Setembro a Dezembro
- Chile - Dezembro a Março.
- Portugal – Março a Julho

A tosquia deve fazer-se em recintos apropriados que possuam mesas desbordadoras, depósitos para os velos e prensas de enfardamento.

Para se efectuar a tosquia os animais devem ser abrigados da chuva desde a véspera, pois a lã molhada dificulta a operação. Tira-se numa só peça o velo e seguidamente tiram-se todas as outras partes que não devem ficar junto deste, como sejam as partes da cabeça, barriga, cauda e as madeixas queimadas pela urina.

### 2.3.2 Selecção/classificação

A classificação tem importância evidente na valorização dos velos. Estes são classificados de acordo com a finura aparente da lã, o seu comprimento, rendimento presumível, ondulação, toque, cor e aspecto geral.

Para além da separação dos diferentes velos, cada um possui diferentes qualidades de lã, sendo que geralmente a parte de trás do animal possui fibras mais finas que a parte da frente. Estas variações podem ser significativas e manifestam-se ao nível da cor, ondulado, finura, comprimento, etc.

### 2.3.3 Lavagem

Após a tosquia, a lã contém muitas impurezas que devem ser eliminadas antes do seu processamento. Estas impurezas são a gordura, suada (suor), terra e detritos vegetais. Destas, as três primeiras são eliminadas na lavagem, sendo os detritos vegetais eliminados na maioria quando da cardação.

A lavagem é feita em lavadouros, habitualmente constituídos por 3 ou 5 tanques (barcas) ligados entre si de modo a proporcionar uma continuidade do processo.

As barcas possuem banhos com poderes de lavagem regressivos, contendo a última água limpa. A lã é conduzida ao longo das barcas por garfos ou grades e transportada de uma barca para outra através de rolos espremedores.

A parte final do lavadouro é constituída por uma râmola para secar a matéria-prima. A lavagem pode ser efectuada em meio alcalino ou através da adição de detergentes sintéticos, sendo importante controlar o PH, a temperatura e a agitação do banho de forma a evitar a feltragem da lã.

## 2.3.4 Operações de cardação

### 2.3.4.1 Mistura, abertura e lubrificação

A cardação é uma operação algo violenta que pode conduzir à rotura das fibras. Para minimizar este inconveniente é necessário realizar previamente uma abertura e lubrificação (ensimagem) destas. A abertura visa desemaranhar os tufo de lã, tornando-os menos compactos. A lubrificação tem como objectivo reduzir o atrito entre as fibras e a electricidade estática. A lubrificação e a abertura estão normalmente associadas à mistura, com a qual se pretende obter lotes mais ou menos uniformes do ponto de vista das características ou do preço.

### 2.3.4.2 Cardação

A operação de cardação consiste em eliminar as impurezas de origem vegetal ainda existentes nas fibras, e alinhar estas. Nesta operação, os tufo de lã continuam a ser desemaranhados até à separação total das fibras, dispondo-as em seguida paralelamente de forma a criar um véu que à saída da carda é transformado numa fita. A cardação transforma assim a lã em estado

descontínuo (em rama) num primeiro estado contínuo (fita de cardado). O comprimento das fibras está orientado segundo o eixo da fita. Esta operação facilita a eliminação de parte das impurezas.

### 2.3.5 Lã penteada e lã cardada.

Antes da fiação, a lã deverá ser penteada no caso de se quererem obter fios finos. Fundamentalmente, a diferença entre a lã penteada e a lã cardada verifica-se no comprimento das fibras que constituem o fio (mais curtas na lã cardada) e na grossura do fio (mais grosso na lã cardada).

#### 2.3.5.1 Lã penteada

Numa primeira fase, as fibras são submetidas a operações de dobragem e estiragem, no "intersecting". A dobragem visa compensar as irregularidades das fitas através da reunião de um certo número delas na alimentação das máquinas, enquanto a estiragem faz com que a fita à saída da máquina tenha um diâmetro inferior àquele que tinha na entrada. Tal se consegue fazendo passar as fitas através de um sistema constituído por dois rolos de entrada, um campo de pentes e dois rolos de saída, tendo os dois últimos uma velocidade superior aos primeiros, puxando pelas fibras e adelgaçando as fitas por entre os pentes. A estiragem adelgaça a fita, mas aumenta a sua irregularidade, enquanto que a dobragem aumenta a regularidade da fita mas também o diâmetro desta. Assim, o segredo de um bom resultado está no compromisso entre a dobragem e a estiragem.

Dentro da mesma qualidade de lã, existem fibras de diversos comprimentos, quer porque é impossível separá-las na escolha, quer porque há roturas de fibras nas operações anteriores, nomeadamente na cardação.

Um bom penteado não deverá apresentar fibras muito curtas, mas como estas existem sempre é necessário removê-las na operação de penteação, realizada na penteadeira. Esta retira das fitas as fibras curtas, os aglomerados de fibras (neps) e a matéria vegetal que eventualmente ainda subsista. O pente pode ser afinado de forma a retirar as fibras abaixo de um determinado comprimento. Esta operação irá condicionar o desperdício de matéria-prima na

penteadora e o comprimento médio do penteado, que quanto maior for, maior será o seu valor comercial.

Após esta fase, o penteado pode logo ser tinto (tingido), o que obriga a operações de lavagem de modo a retirar gorduras e impurezas acumuladas ao longo do processo. A lavagem nesta fase do processo pode impor-se também no caso de haver penteados muito sujos ou serem destinados a artigos de elevada delicadeza.

Esta lavagem pode levar a uma irregularização do penteado originada pela feltragem. Assim a lã deverá passar por desfeltradores, de forma a ser novamente regularizada.

### 2.3.5.2 Lã cardada

No sistema de lã cardada são produzidos fios grossos, algo irregulares, constituídos por fibras curtas que não foram aproveitadas para o penteado, e nalguns casos por fibras recuperadas. Utiliza-se essencialmente em tecidos ou malhas de Inverno.

Neste sistema podem ser reciclados desperdícios têxteis, como fios, malhas ou tecidos usados, desperdícios de confecção, etc.

Após a matéria-prima ser desfibrada na esfarrapadeira, sofre um processo em tudo semelhante a uma cardação para obtenção de fitas para penteação, e sofrem em seguida uma transformação semelhante a estas.

### 2.3.6 Fiação

Numa primeira fase, as fitas são preparadas para serem trabalhadas no contínuo de fiação. Esta preparação consiste em dobragens e estiragens sucessivas, tendentes as primeiras a homogeneizar e regularizar as fitas e as segundas a adelgaça-las. Esta operação é efectuada na mescladeira, constituída por duas ou três cabeças de intersecting colocadas lado a lado. À saída da mescladeira, as fibras juntam-se na mesa transportadora e passam em conjunto noutra intersecting. Esta operação serve para afinar os lotes quer ao nível da cor (mesclas), quer ao nível da matéria-prima (é nesta fase que se misturam, se for o

caso, vários tipos de lã, lã com outras fibras, etc.) Nesta operação, as fibras são novamente lubrificadas de forma a facilitar as operações seguintes.

Seguidamente, as fitas passam por um autorregulador, que calibra o peso por metro (gramagem) da fita, aumentando a sua regularidade no comprimento (1ª passagem). São efectuadas mais duas passagens em intersecting, de forma a otimizar o paralelismo, a regularização e o adelgaçamento das fitas.

As fitas passam em seguida para o acabador ou para o banco de fusos (utilizado para fibras lisas ou com pouco ondulado, como as fibras sintéticas), que transformam cada fita numa mecha através de estiragem e torção, com o objectivo de dar à fita um diâmetro adequado a ser convertida em fio na operação seguinte efectuada no contínuo. Para manter o nível de regularidade, aplicam-se algumas voltas de torção às fitas (cerca de 20 voltas por metro), passando esta a denominar-se mecha. A diferença entre o banco de fusos e o acabador reside no tipo de torção que é feita na fita, sendo que no primeiro caso esta é feita só para um lado e no segundo a torção é alternada para a direita e para a esquerda. Saem de ambas as máquinas bobines de mecha.

No contínuo de fiação, a mecha é convertida em fio através de uma elevada estiragem e da aplicação de torção. À saída, o fio é enrolado em bobines montadas nos fusos.

O fio é seguidamente submetido à bobinagem e retorsagem. Na bobinagem, o fio passa das bobines para cones de maior capacidade, ao mesmo tempo que são eliminados defeitos que possam existir. Depois de bobinado e depurado (e eventualmente tinto), o fio vai normalmente retorcer a dois ou mais cabos (fios) para o aumento da resistência ou algum efeito pretendido.

As principais características de um fio são: matéria prima, título, torção, regularidade e resistência. O título é uma relação entre o peso e o comprimento de um determinado troço de fio. Assim, um fio em que 50 m pesem 1 g tem o título 1/50 Nm (sistema métrico). O título do mesmo fio, segundo o sistema Tex internacional, é 20 x 1 Tex, porque 1 Km de fio pesa 20g. A torção traduz-se na quantidade de espiras por metro de fio que as fibras foram obrigadas a dar umas sobre outras. Dado o reduzido diâmetro do fio, o número de fibras por secção é pequeno, o que faz com que o fio não tenha consistência e se desfaça se não houver um aumento, de coesão entre as fibras. A solução está na torção. Os valores desta última dependem do título do fio e da sua aplicação: os títulos finos e os fios para tecidos necessitam de torções mais elevadas. A resistência à

rotura depende da matéria-prima e da torção do fio. Quanto maior for a componente sintética na composição do fio, bem como a sua torção, maior será a resistência à rotura. A regularidade traduz a distribuição das fibras ao longo do comprimento do fio. Quanto mais uniforme for essa distribuição maior será a regularidade.

## 2.3.7 Tecelagem

### 2.3.7.1 Aspectos gerais

Os tecidos são constituídos por duas classes de fios, a teia e a trama, disposta perpendicularmente uma em relação à outra e unidas segundo um certo ligamento. As operações necessárias à fabricação de tecidos são a urdissagem, a preparação de tramas e a montagem no tear.

### 2.3.7.2 Urdissagem

Na urdissagem preparam-se os fios que estarão dispostos longitudinalmente no tecido. Esta preparação, feita na urdideira (figura 2.1), consiste em colocar paralelamente a quantidade de fios necessários a garantir a densidade por tela e a largura desejadas do tecido. A urdideira, constituída por um casal (figura 2.2) onde se dispõem os cones de fio, por um pente que guia os fios (figura 2.3), por um tambor onde estes são enrolados e por um sistema de transferência da tela ( do tambor para o órgão do tear). O enrolamento dos fios no tambor é feito por faixas, com uma largura definida pelo pente, e com uma quantidade de fios condicionada pela capacidade do casal. O comprimento das faixas é o que se pretende para a teia, e o seu número é o necessário para perfazer o conto.



Figura 2.1  
*Urdideira tradicional - Ecolã*



Figura 2.2  
*Casal de cones - Ecolã*



Figura 2.3  
*Pente da urdideira - Ecolã*

### 2.3.7.3 Preparação das tramas



Figura 2.4  
Caneleira - Ecolã

Na canelagem e na bobinagem preparam-se os fios que estão dispostos transversalmente no tecido. Quando a tecelagem se realiza em teares com lançadeira, as tramas são preparadas nas caneleiras (figura 2.4). Estas enchem as canelas (figura 2.5) de fio proveniente de cones. As canelas são em seguida introduzidas nas lançadeiras. Quando se utilizam teares sem lançadeira, a alimentação da trama é feita directamente a partir de cones, os quais devem ter uma grande quantidade de fio.



Figura 2.5  
Canelas - Ecolã

### 2.3.7.4 Montagem do órgão no tear

Depois de enrolada a teia no órgão é necessário montá-la no tear (figura 2.6). A primeira operação denomina-se empeirar e consiste em introduzir os fios nas malhas ou liços das perchas segundo uma certa ordem denominada remissa. A operação seguinte é picar o pente, isto é, passar os fios da teia pelas casas ou puas do pente. Seguidamente puxam-se os fios à frente de modo a poderem ser comandados pelo rolo do tecido e inicia-se a afinação com as primeiras passagens de trama.



Figura 2.6  
Órgão montado no tear - Ecolã

### 2.3.7.5 Tecelagem

É na tecelagem que se obtém o tecido proveniente do entrelaçamento ortogonal da trama com a teia realizado pelos movimentos do tear (figura 2.7). Este é uma máquina composta por vários mecanismos, de cuja sincronização de movimentos resulta o cruzamento dos fios. Esta técnica é a mesma, na essência, desde há vários séculos, apenas tendo evoluído os meios com que se realizam esses movimentos e paralelamente a rapidez e a eficiência do seu funcionamento, nomeadamente ao nível do sistema de inserção de trama, em que a lançadeira foi substituída por outros sistemas que permitem maiores velocidades de produção: projecteis, pinças, jactos de fluidos (ar e água), vectores, etc. A esta evolução deve-se acrescentar a utilização crescente da

microelectrónica no controlo e automatização dos teares. Os movimentos fundamentais de um tear são, pela ordem em que se realizam: abertura da cala, passagem da lançadeira e batimento do pente.

### 2.3.8 Tingimento

Apesar de no esquema produtivo apresentado no início deste capítulo o tingimento aparecer a seguir à fase de tecelagem, este pode ser efectuado anteriormente, na rama ou no fio. A vantagem de tingir os tecidos prende-se com a qualidade final do produto, visto que o processo de tingimento efectuado antes da tecelagem pode levar a alguma degradação das fibras.

Para o tingimento, é necessário ter em conta um conjunto importante de factores:

- Os tipos de fibras e suas misturas
- A forma do material têxtil (tecido, malha, fio, rama, etc.)
- A utilização de corantes ou pigmentos
- As máquinas utilizadas
- As condições do processo (PH do banho, temperatura, agitação, etc)
- O meio de tingimento (água, solvente, espuma, etc.)
- O uso final do artigo.

A base técnica da maioria dos processos de coloração aplicados é a introdução de matérias coloridas no interior das fibras, por forma a ficarem retidas independentemente das condições de processamento e uso posterior dos artigos.

No tingimento da lã e suas misturas com outras fibras, é usado o processo de esgotamento, onde o corante dissolvido ou disperso em meio aquoso se fixa ao substrato como resultado de uma afinidade entre ele e a fibra.

A temperatura a que o processo é efectuado é uma das variáveis mais importantes, desempenhando um papel decisivo em todas as suas fases, que são a difusão do corante através do banho de tingimento, a absorção na superfície da fibra, a difusão no seu interior e a fixação.



Figura 2.7  
Tear - Ecolã

### 2.3.8.1 Tingimento em rama

O tingimento do material em rama pode ser feito quer em máquinas em aberto, quer sob pressão. Em ambos os sistemas o material está parado, sendo o banho de tingimento forçado a passar pelas fibras. As máquinas para tingimento em rama podem ser usadas para tingir fio, mediante as devidas adaptações.

### 2.3.8.2 Tingimento em fio

O fio pode ser tingido sob forma de bobine ou meada, sendo que neste caso é também o banho que circula.

### 2.3.8.3 Tingimento em tecido

Os tecidos podem ser também tingidos em barcas abertas ou sob pressão. Neste caso, é o tecido que se move através do banho.

## 2.3.9 Acabamento

O objectivo das operações de acabamento é melhorar a qualidade do tecido, conferindo-lhe características que façam realçar ao máximo a qualidade das matérias primas utilizadas, como sejam o toque, a cor e a textura, bem como adequa-los às necessidades da indústria da confecção.

Sendo os acabamentos de tecido inúmeros, podem organizar-se estes, para caracterização genérica, em dois grupos:

- O acabamento rapado, que serve para conferir ao artigo uma superfície com um desenho e efeitos de cor nítidos
- O acabamento de pêlo, especialmente destinado a artigos cardados, onde se pretende uniformizar a superfície levantando o “pêlo”, o que esbate os desenhos e efeitos de cor.[8]

## 2.4 A empresa ecolã

### 2.4.1 Introdução

O presente trabalho nasce de uma oportunidade identificada no seio da indústria dos lanifícios para explorar alguns objectivos enumerados na 1ª parte deste trabalho.

Era então importante encontrar uma empresa com a necessária receptividade, de forma a poder-se encaminhar o estudo dentro de uma unidade de produção com as especificidades requeridas, o que permitiria ensaiar situações e recolher a qualquer momento as informações necessárias, matérias-primas, etc.

A disponibilidade oferecida pela Ecolã ditou imediatamente a sua colaboração neste projecto, acrescido ao facto desta reconhecer a importância da inovação para o sucesso das empresas em geral, e micro-empresas em particular.

Era então necessário conhecer e entender de uma forma geral a filosofia e funcionamento da empresa, de forma a identificar oportunidades de intervenção sem interferir nos métodos implementados.

### 2.4.2 Descrição da empresa

A Ecolã é uma micro-empresa de origem familiar, liderada por João Clara Assunção desde 1996, dedicada à produção e comercialização de artigos produzidos em lã 100% natural.

Localizada em Manteigas - zona de baixa densidade populacional e economicamente desfavorecida, que não ficou imune às profundas alterações ocorridas no sector têxtil, sobretudo nos últimos 20 anos, (que se tem traduzido na drástica redução das oportunidades de emprego, com o consequente impacto económico e sócia) – a Ecolã tem conseguido um posicionamento de excepção.

Os objectivos da empresa passam por perpetuar e divulgar uma actividade incontornável da Região da Serra da Estrela – a tecelagem tradicional em lã – que outrora contribuiu para o seu reconhecimento a nível nacional e internacional, (A região chegou a ser conhecida como a “Manchester Portuguesa”!), num esforço de preservação da tradição e a identidade cultural da região.

A manutenção e o crescimento deste projecto têm sido possíveis devido à prossecução de dois objectivos: responder às exigências do mercado regional/local através da produção de trajes serranos, tais como jaquetas, capotes, capas, assim como outros produtos de cariz local e em simultâneo ir ao encontro dos mercados português e internacional com a introdução de novos modelos e padrões sempre atendendo às respectivas tendências.

A actividade e o percurso da Ecolã foram objecto de reconhecimento por parte do Programa Interreg II C coordenado pela CCRC (Comissão de Coordenação Regional Centro) como pequena unidade produtiva de sucesso em território de baixa densidade populacional.

A análise do currículo de participações desta empresa dá alguns indícios relativamente às potencialidades económicas deste tipo de actividade artesanal e ao dinamismo dos seus promotores:

- Participação em diversas Feiras de Artesanato sobretudo em Portugal: Amadora, Aveiro, Batalha, Beja, Bragança, Castanhedo, Crato, Estremoz, Elvas, Guimarães, Gondomar, Lagoa, Lisboa, Pombal, Porto, Portalegre, Santarém, Santo Tirso, Vila do Conde, Vila Franca de Xira, etc e no estrangeiro – Espanha, França e Itália;
- Representação em diversas lojas de artesanato português e de decoração (Lisboa, Porto, Coimbra, Évora, Faro, etc.)
- Participação em diversos eventos; Bazar Diplomático, Associação Portuguesa dos Doentes de Lúpus, Liga dos Amigos do Hospital de Santa Cruz, etc.
- Menção em diversa imprensa local e nacional assim como publicações especializadas, nomeadamente no II volume da colecção Tesouros do Artesanato Português da Verbo Editora
- Convite para integrar a Comitativa de Empresários Portugueses na visita oficial do Presidente da República à Noruega em Fevereiro de 2004 para apresentação de diversos produtos junto do mercado norueguês.

- Encomenda por parte da Presidência da República de 3 presentes para oferta do Estado Português à Coroa Norueguesa .
- Fornecedor das lojas IPM (Instituto Português de Museus): elaboração de 3 produtos exclusivos (manta, cobertor e echarpe) para serem comercializados na rede de lojas exclusivas dos museus.
- Convite da RTP Internacional para participar no programa “Portugal à Vista” para divulgação da tecelagem de lã artesanal da Serra da Estrela

### 2.4.3 Método de produção

A matéria prima utilizada é 100% lã de ovelha em cores naturais, (sem recurso a tinturaria) , mantendo intactas todas as propriedades da fibra

É feito o acompanhamento da matéria-prima em todo o seu ciclo de transformação, desde a tosquia (geralmente no mês de Maio) até ao embalamento do produto final, passando pela compra da lã (do tipo *beira alta* directamente aos pastores no mês de Junho/Julho) lavagem, fiação, tecelagem e acabamento

As fases do processo produtivo respeitam os métodos tradicionais através de diversas operações:

- Lavagem das lãs em água de nascente
- Cardação das lãs
- Utilização de urdideira manual
- Utilização de teares de lançadeira do início do século passado
- Franjamento e acabamento manual (a torção manual é uma característica que garante a uniformidade total da franja melhorando a apresentação do produto ). (figuras 2.8 e 2.9)

O resultado em termos de produto final é bastante diversificado: mantas de viagem, mantas pastor, cobertores, cachecóis, echarpes, confecção em burel (100% lã e impermeável), assim como complementos de decoração (cortinados, colchas, toalhas, tecidos para estofos, etc.) para diversas casas de montanha e estabelecimentos hoteleiros, nomeadamente pousadas (Manteigas, Belmonte e Alcácer do Sal), casas de turismo rural e restaurantes.

## 2.4.4 Intervenção na produção da empresa



Figura 2.8  
*Acabamento manual das mantas*



Figura 2.9  
*Franjamento manual*

A produção da ecolã, altamente diversificada, permite com facilidade e sem interferir no processo produtivo normal obter produtos adaptados à produção de outras tipologias de objectos. Associando as técnicas implementadas à tecnologia dos materiais compósitos, poderemos produzir subprodutos específicos (mantas essencialmente unidireccionais, adequadas a algumas geometrias de objectos, por exemplo), mais adaptados a esta..

Os desperdícios existentes (restos de tecido, pontas de fio, etc.), poderão ser também usados como reforço de peças.

Para este fim, será apenas necessário um espaço (disponível nas novas instalações) e a aquisição de matérias primas para a execução dos moldes e peças (matrizes), definidas no estudo efectuado a seguir.

O processo de produção deverá ser simplificado, de modo a poder-se recorrer à mão de obra existente na unidade fabril..

# 3 As fibras de lã



## 3.1 A origem da lã

A preocupação imediata do homem foi melhorar a qualidade da lã (finura e comprimento da fibra), e aumentar o peso médio dos velos. Para tal, tem-se desenvolvido uma intensa actividade no sentido de valorizar a lã, para o que tem sido necessário proceder a cuidadosos ensaios de selecção e proporcionar aos animais uma alimentação controlada e cuidados de saúde.

### 3.1.1 A lã e os pelos

A lã é produzida pela epiderme de alguns animais e é constituída pelo pêlo que forma o seu velo. Quando isolado, o termo lã aplica-se ao pêlo das ovelhas.

Por extensão e analogia, associa-se a palavra “lã” aos pelos de outros animais, tais como a cabra cachemira, a alpaca e o coelho angorá.

Não há uma efectiva distinção entre os pelos de ovelha e de outros animais, limitando-se esta ao aspecto e detalhes de estrutura. A lã é frisada e fina, enquanto outros pelos são na generalidade lisos e, normalmente, mais longos e espessos.

### 3.1.2 A origem da lã

O velo do carneiro é desde tempos imemoriais usado para vestuário. Foi este um dos primeiros animais a ser domesticado.

Ainda hoje se conhecem 3 tipos de carneiros selvagens:

- O tipo urial, no Sudoeste da Ásia. As ovelhas apresentam chifres como as cabras;
- O tipo mouflon, na Europa. As fêmeas não têm chifres.
- O tipo argali, na Ásia. Estes animais apresentam chifres maciços em espiral.

Como descendentes do tipo argali, aparece a raça merina e a raça blackface.

Ao longo dos tempos, os criadores preocuparam-se em seleccionar as ovelhas com vista ao melhoramento da qualidade da lã. Tal facto permitiu chegar às raças actualmente existentes, nas quais o pêlo mantém uma uniformidade de características dentro de uma mesma raça. De uma forma geral, o velo de um ovino é constituído por duas partes:

Uma, externa, constituída por pêlos longos com a função de proteger o animal contra as intempéries e outra, interna, muito fina e frisada, que serve de camada protectora do frio, calor e luz. Estes dois tipos de pêlo possuem todas as características da lã. Consoante as raças, estes encontram-se separados ou misturados no velo. Este pode ainda apresentar pêlos grosseiros, duros, espetados, curtos, brilhantes, denominados pêlos de prata. Os pêlos de prata aparecem isoladamente em todas as raças, especialmente em zonas onde a estrutura óssea é mais saliente ou sobre cicatrizes. Estes são mais frequentes em animais idosos ou de raça pouco seleccionada. Devido à sua estrutura interna, tingem de forma diferente ou nem sequer aceitam as colorações. Regra geral, a presença destes pêlos é indesejada e são eliminados do velo.

As condições climatéricas dos locais onde os animais vivem, a natureza dos solos e vegetação correspondente têm uma influência decisiva na constituição da lã. No que diz respeito às ovelhas, faz-se uma distinção entre as raças adaptadas a zonas áridas ou ovelhas de altitude e ovelhas de planície. Enquanto nos animais primitivos o velo não passava de 1 a 2 Kg, presentemente os velos apresentam um peso médio de 4 a 5 Kg.

### 3.1.3 Ovelhas de altitude

A mais importante de todas as raças de ovelhas, a merina, é uma raça de altitude. De origem africana, esta raça implantou-se primeiramente em Espanha. As suas condições de vida normais são as de um clima seco de altitude, com dias muito frios e noites muito quentes. O seu velo está adaptado a suportar grandes amplitudes térmicas.

As lãs merinas têm um comprimento geralmente entre 40 e 150mm e uma espessura entre 17 e 24 $\mu$ m. A principal representante desta raça é a merina australiana, sendo a mais pura a Rambouillet francesa.

### 3.1.4 Ovelhas de planície

As ovelhas de planície são características de climas oceânicos húmidos, temperados mas esporadicamente rudes. São comuns em Inglaterra e em países banhados pelo mar do norte. As principais raças são inglesas: a Lincoln, a Leicester e a Cheviot. Os seus pelos são longos, e variam de forma geral entre os 120 e os 300mm, podendo inclusivamente chegar aos 550mm em certas raças. A sua espessura varia entre 24 e 48µm. Cruzando ovelhas Lincoln com merinas de lã fina, obtiveram-se as ovelhas ditas “cruzadas”. Esta raça mista mostrou-se especialmente resistente às doenças e condições climáticas. Cruzada novamente com merinas, conseguiu-se melhorar em larga escala a finura das lãs destes cruzados, aumentando ao mesmo tempo o rendimento. Os animais resultantes deste cruzamento são denominados “comebacks”. [9]

## 3.2 Principais produtores mundiais de lã

Podemos considerar actualmente como principais produtores mundiais de lã a Austrália, União Soviética, Nova Zelândia, Argentina, África do Sul, Estados Unidos da América, Uruguai, Reino Unido, Brasil e Chile.

## 3.3 Tipos de lãs segundo as origens

### 3.3.1 Lãs da Austrália

A qualidade das lãs merinas deste país há muito se impôs no comércio internacional pelo alto comprimento médio das fibras, relativamente à finura das mesmas, pela uniformidade do comprimento, pelo elevado rendimento das lãs

em relação às de outras proveniências, pela excelência da cor, clara e sem fibras de cor natural ou "pêlos de prata".

Mais de 70% da lã australiana tem qualidade superior a 60's (23/24µm). Embora em pequena quantidade, podemos encontrar lãs muito finas de 80's (16/17µm) a 100's (18µm). A Austrália é o maior produtor mundial de lãs merinas.

### 3.3.2 Lãs da Nova Zelândia

As lãs da Nova Zelândia são na sua quase totalidade lãs cruzadas comuns, muito sólidas e lustrosas. Estas lãs são essencialmente usadas para o fabrico de tapetes e para artigos de fio cardado grosseiro.

Na Nova Zelândia tem especial interesse a obtenção de animais para produção de carne e leite e este facto leva a que este país exporte grande quantidade de lãs de peles devido aos animais abatidos para carne.

### 3.3.3 Lãs da América do Sul

Dos países da América do Sul são importantes produtores de lãs a Argentina e o Uruguai e, em menor escala, o Brasil, o Chile e o Peru.

A Argentina ocupa o 3º lugar entre os maiores fornecedores de lã cruzada depois da Nova Zelândia. A Argentina é o maior produtor de lãs da América do Sul. Para além da lã de ovelha, este país possui uma grande produção de lãs oriundas de outros animais, como a alpaca, o guanaco e o lama. A Argentina produz essencialmente lãs cruzadas, mas no sul também existem merinas. As lãs deste país caracterizam-se por uma elevada brancura e uma tendência de feltragem mínima. É ainda produzida na Argentina muita lã de deslanagem, devido a uma forte indústria de carnes. As lãs da extremidade sul da Argentina, as lãs "Punta" (devido ao porto de exportação, Punta-Arenas) são as lãs mais brancas que se conhecem, e as que menos tendem a feltrar.

O Uruguai ocupa o 5º lugar entre os maiores exportadores de lãs e produz igualmente apenas lã cruzada conhecida por lã Montevideu. As suas lãs

são geralmente mais limpas que as lãs argentinas (frequentemente misturadas com grandes quantidades de detritos vegetais)

### 3.3.4 Lãs da África do Sul (Lãs do Cabo)

Cerca de metade da produção de lãs da África do Sul têm lugar na província do Cabo; são mais curtas do que as da Austrália, mas são muito brancas. Estas são comercializadas sob o nome de “lãs do cabo”. A África do Sul é o segundo produtor mundial de lãs merinas, logo a seguir à Austrália. Dentro das lãs do cabo, podemos distinguir as “lãs de fazendeiro” e as “lãs de indígena”. As segundas são de inferior qualidade devido a um baixo nível de cuidados na criação dos animais. As lãs do cabo apresentam uma cor mais clara e maior suavidade que as lãs merinas australianas.

Na África do Sul há certas comunidades de animais nativos, como o Karakul que produzem lãs com maior ou menor coloração natural.

### 3.3.5 Lãs do Reino Unido

Existem muitas raças inglesas. O elevado número de raças deve-se à variedade de climas da Grã-Bretanha e ao facto dos ovinos terem sido o mais importante animal doméstico neste país, o qual se foi desenvolvendo por meio de selecções de raças.

É usual dividir os ovinos ingleses em quatro tipos:

- Ovinos da montanha;
- Ovinos de lãs compridas e lustrosas;
- Ovinos de lãs semi-lustrosas;
- Ovinos de lãs conhecidas por "down".

As lãs dos ovinos da montanha são muito compridas, pouco onduladas, grosseiras e de toque áspero; apresentam muitas fibras de coloração natural e de pêlos de prata.

O velo dos ovinos da montanha tem dois tipos de fibras. Um formado por fibras grosseiras compridas e outro inferior formado por lã fina.

As lãs lustrosas são muito compridas, grosseiras, pouco onduladas e muito lustrosas.

As lãs semi-lustrosas não são tão compridas nem têm tanto brilho como as anteriores.

As lãs down, do sul da Inglaterra, são as mais finas das lãs inglesas.

### 3.3.6 Lãs de Portugal

Os principais distritos produtores de lã são: Bragança, Guarda, Évora, Castelo Branco e Portalegre. As lãs mais finas criam-se na zona mais quente do Sul e as mais grosseiras (lã churra) no Norte. No Algarve existe um tipo de lã churra muito importante.

Ovinos produtores de lã merina:

- Merino Alentejano
- Merino Ribatejano
- Merino da Beira Baixa
- Pialdo Fonte Boa (cruzamento do Rambouillet - merino espanhol)
- Fonte Boa Precoce
- Merino Espanhol.

Ovinos que fornecem lã cruzada

- Campaniça
- Saloia
- Cruzado da Beira Baixa

Ovinos produtores de Lã Churra

- Churro da Terra Fria (no Norte e a Este de Bragança)
- Churro da Terra Quente (no Sul de Bragança e Vila Real)
- Churro da Beira Baixa (no Norte da Beira Baixa)
- Churro do Algarve.

## 3.4 Outros tipos de lã

### 3.4.1 Lãs para carpetes

A maior parte das lãs para carpetes é produzida nos países asiáticos: China, Iraque, Índia, Rússia, Turquia e Tibete.

Os velos apresentam três tipos de fibras:

- Fibras compridas e grosseiras (do velo exterior);
- Fibras curtas e finas (do velo interior);
- Pêlos de prata lisos e brilhantes.

### 3.4.2 Lãs de peles

Nem sempre a criação de ovinos se destina à tosquia dos velos para a indústria têxtil, mas também ao abate para fornecimento de carne.

As lãs retiradas de peles de animais mortos apresentam propriedades diferentes das lãs dos velos o que as torna de inferior qualidade.

A deslanagem faz-se em vários países, especialmente na Nova Zelândia, Austrália, América do Sul, Estados Unidos, mas o principal centro de deslanagem do mundo é Mazamet, no sul da França.

Nas fábricas de deslanagem procura-se não só o aproveitamento da lã das peles, como o da própria, pele. Consoante se pode dar mais ou menos importância a um ou outro dos produtos finais, poder-se-á preferir um ou outro dos três métodos correntemente aplicados.

#### 3.4.2.1 Preparação das peles

A deslanagem das peles pode executar-se de imediato em instalações anexas aos matadouros, ou posteriormente, em centros industriais

especializados. Em qualquer dos casos as peles sofrem um tratamento para conservação e limpeza. Quando deslanadas em "verde" isto é, logo após o abate dos animais, são previamente lavadas e limpas. Se as peles são deslanadas posteriormente, sofrem um tratamento para a sua conservação, que consiste em:

- Secagem ao ar ambiente (países de clima seco e quente);
- Conservação com sal seco;
- Conservação com sal molhado.

#### 3.4.2.2 Preparação para a deslanagem

As peles secas recebidas nos centros de tratamento são mergulhadas em tanques de água corrente durante um a três dias, para adquirirem a humidade perdida. Nesta operação junta-se-lhes sal, que funciona como conservante, detergente, enzimas, ou qualquer outro produto capaz de evitar a decomposição das peles. Segue-se uma operação de limpeza das gorduras, sangue e substâncias estranhas aderentes. Finalmente são submetidas a uma lavagem em água limpa, antes do início das operações de deslanagem, e se necessário, a uma neutralização.

#### 3.4.2.3 Deslanagem

A deslanagem consiste na depilação das fibras das peles dos ovinos mortos, processando-se segundo três processos principais:

1. Processo químico;
2. Processo biológico de fermentação ou de estufa;
3. Processo enzimático.

### 3.5 Fibras de lã

#### 3.5.1 Crescimento e partes constituintes

A pele dos animais é composta por duas camadas. Uma camada exterior que constitui a epiderme e uma camada interior que constitui a derme. As duas encontram-se separadas pela camada basal. Os folículos (figura 3.1) ou pêlos desenvolvem-se a partir da camada basal e epiderme. No início da formação do folículo dá-se a depressão da epiderme e nascem de um lado da depressão duas glândulas, a sudorífera e a sebácea e, nalguns folículos, um nervo erector, o qual serve para eriçar a fibra. Na base do folículo cria-se a papila e a partir desta aparece a fibra. As células vão-se formando e empurrando-se e a fibra cresce protegida por um invólucro que só quebra a superfície da pele quando a fibra a rompe.

Na região da papila as células são moles e só junto da pele se dá a oxidação e endurecimento pelo fenómeno da cerafinização, que torna as células duras e resistentes.

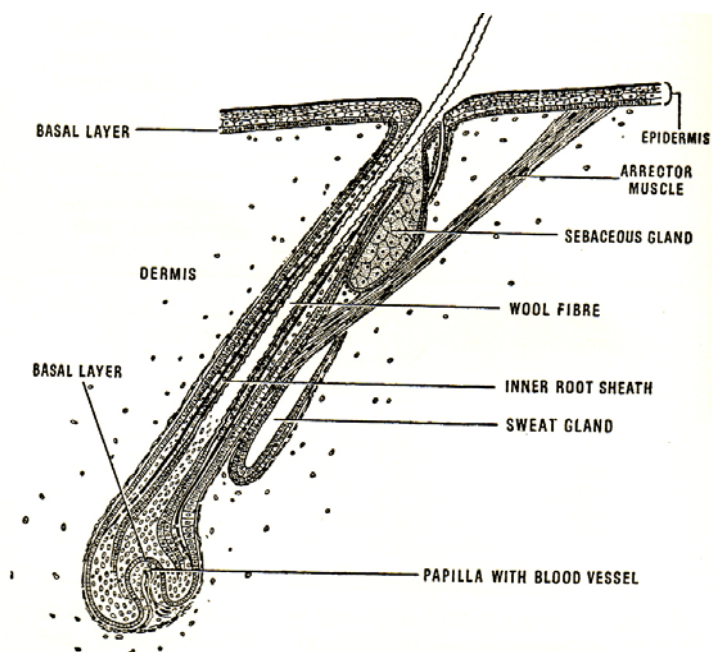


Figura 3.1  
Folículo piloso [11]

### 3.5.2 Componentes fundamentais da fibra de lã

A fibra de lã é formada por uma camada periférica, a cutícula, e pelo corpo central, córtice.

Nas fibras mais grossas aparece, por vezes, um canal axial, contínuo ou interrompido, provocado pelo colapso das células da camada basal. Estas fibras de fraca qualidade, são conhecidas por pêlos de prata. O canal das fibras meduladas apresenta um aspecto escuro na observação microscópica devido à reflexão da luz na superfície de separação ar/medula. A cutícula é formada por células laminares – escamas - que se sobrepõem parcialmente umas sobre as outras, no sentido da ponta para a raiz das fibras.

A cutícula é composta pela endocutícula e pela exocutícula e encontra-se recoberta por uma membrana denominada epicutícula.

O córtice é formado por células corticais de natureza fibrilar e apresenta duas partes distintas: o ortocórtice e o paracórtice

As células do ortocórtice apresentam secção transversal muito maior do que as do paracórtice, o que mostra notável inchaço do primeiro em contraposição com o carácter altamente compacto e denso do segundo. (figuras 3.2 e 3.3)

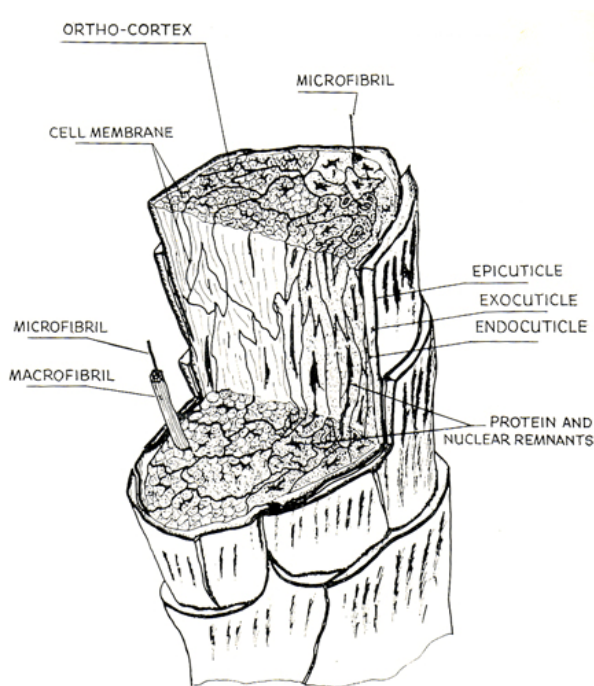


Figura 3.2  
Estrutura celular das fibras de lã [8]

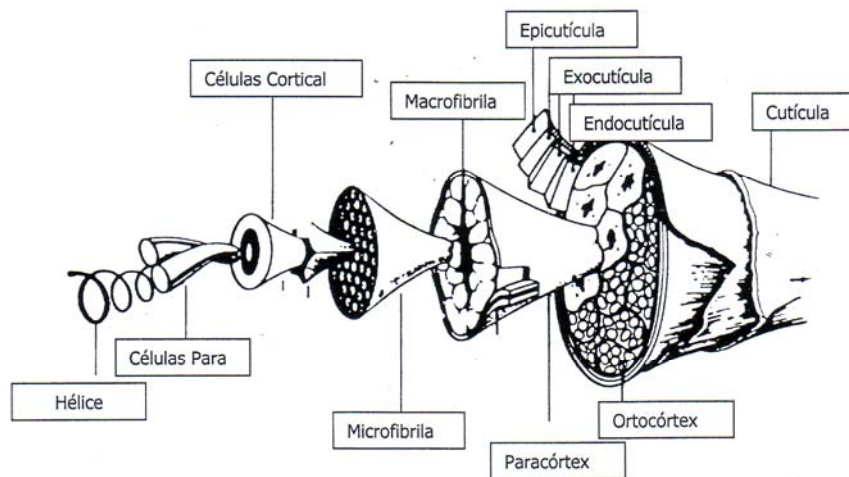


Figura 3.3  
Morfologia da fibra de lã [12]

### 3.5.3 Composição química da lã

A lã apresenta aproximadamente a seguinte composição elementar:

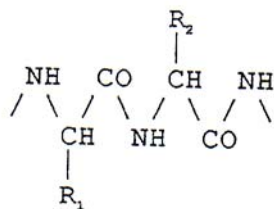
- Carbono (C)                50%
- Hidrogénio (E)            7%
- Oxigénio (O)              22 – 25%
- Nitrogénio (N)            16 - 17%
- Enxofre (S)                3 - 4%

A percentagem de nitrogénio e de enxofre varia com as diferentes raças. Também se nota que, em geral, a ponta da fibra é menos rica em enxofre do que a parte da raiz; isto deve-se à degradação fotoquímica, causada pela longa exposição desta parte do pêlo aos agentes atmosféricos.

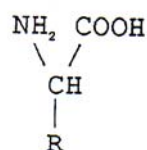
#### 3.5.3.1 Composição amino-ácida,

A lã e todos os pêlos dos mamíferos, em geral, são constituídos por uma substância proteica ou proteína denominada ceratina. As proteínas são originadas por condensação de amino-ácidos naturais.

São todos elementos referidos na sua composição elementar que, oportunamente combinados, formam a ceratina a qual, como toda a proteína, é um composto complexo formado por cadeias polipeptídicas do tipo:



Onde se apresenta um aminoácido pela seguinte fórmula



### 3.6 Características físicas da lã

Na apreciação do valor comercial e técnico da lã, existem várias características que determinam a sua qualidade. A finura e o comprimento médio das fibras são as mais importantes.

Contudo há outras características, também de grande importância, que é preciso ter em conta para a determinação da qualidade de uma lã, tais como:

- Cor;
- Lustro;
- Frisado;
- Resistência;
- Elasticidade;
- Resiliência;
- Rigidez;
- Feltragem;
- Massa específica;
- Recuperação de humidade;
- Propriedades eléctricas;
- Condutividade térmica.

Muitas destas características variam de raça para raça, de animal para animal dentro da mesma raça, e no mesmo animal variam com a zona do velo.

### 3.6.1 Finura

Por finura, entende-se o diâmetro da fibra em microns.

Podem distinguir-se:

- |                                          |                 |
|------------------------------------------|-----------------|
| • As lãs extra-finas, do tipo merinas    | 17 a 20 $\mu$ m |
| • As lãs finas, merinas e cruzados finos | 20 a 28 $\mu$ m |
| • As lãs médias(cruzados médios)         | 28 a 37 $\mu$ m |
| • As lãs comuns (cruzados comuns)        | >37 $\mu$ m     |

A finura da lã é da maior importância no comportamento técnico da fibra. Na indústria a mesma é calculada visualmente por peritos. A determinação do diâmetro médio das fibras pode fazer-se pelo processo microscópico e por processos porosimétricos. O diâmetro das fibras de lã varia grandemente, até mesmo dentro de um único velo.

O intervalo mais curto que se encontrou para uma lã merina foi de 10 a 30 micrómetros.

A esta variação adicionaram-se ainda variações ao longo de toda a fibra causadas por alterações fisiológicas nos animais devido à nutrição, gestação, ou doenças.

O comportamento técnico da fibra depende grandemente da sua finura. Com efeito, o título do fio que se pretende obter depende da finura das fibras que lhe dão origem.

Assim surgiram os números de qualificação das lãs que foram estabelecidos como indicação do título máximo do fio que se podia fiar com essas fibras. (tabela 3.1)

| Nºs. de Qualidade | Diâmetro médio das fibras em micrómetros |
|-------------------|------------------------------------------|
| >80's             | < 18.10                                  |
| 80's              | 18.10 a 19.59                            |
| 70's              | 19.60 a 21.09                            |
| 64's              | 21.10 a 22.59                            |
| 62's              | 22.60 a 24.09                            |
| 60's              | 24.10 a 25.59                            |
| 58's              | 25.60 a 27.09                            |
| 56's              | 27.10 a 28.59                            |
| 54's              | 28.60 a 30.09                            |
| 50's              | 30.10 a 31.79                            |
| 48's              | 31.80 a 33.49                            |
| 47's              | 33.50 a 35.19                            |
| 44's              | 35.20 a 37.09                            |
| 40's              | 37.10 a 38.99                            |
| 36's              | 39.00 a 41.29                            |
| <36's             | > 41.29                                  |

Tabela 3.1

*Equivalências estabelecidas pelo Departamento de Agricultura dos E.U.A.*

### 3.6.2 Comprimento

Na fibra de tem de se considerar o comprimento aparente, ou seja, o comprimento sem perda do seu ondulado natural e o comprimento real, com a fibra esticada.

Ao falarmos no comprimento de uma lã referimo-nos sempre ao real. Para uma lã em rama é sempre muito difícil determinar o seu verdadeiro comprimento.

O comprimento das fibras de lã e a sua finura estão na razão directa. De um modo geral a maior comprimento corresponde maior diâmetro. Quanto mais fina for a fibra em igualdade de comprimentos, maior é o seu valor têxtil.

A reputação de certas lãs merinas, australianas em especial, deve-se ao facto de possuírem boas características de uniformidade, cor e rendimento, e elevados comprimentos para os respectivos números de qualidade.

É costume classificar as lãs, em lãs para carda quando o seu comprimento vai até 1-2 polegadas (4 cm) e lãs para penteação quando o seu comprimento está compreendido entre 1-2 polegadas e 7 polegadas.

### 3.6.3 Cor e lustro

A cor da fibra da lã pode variar do branco até ao amarelo, mas mais frequente é que se apresente num tom marfim após a sua limpeza.

Durante o crescimento da fibra sobre o animal, produz-se um amarelecimento nas partes mais expostas à acção das intempéries e da urina. Este defeito, quando o velo é suficientemente fechado, apresenta-se nas pontas das fibras o que faz com que na mesclagem, após as primeiras operações do processo industrial, passe mais ou menos despercebido.

Em geral, o amarelecimento da lã é indício da degradação da mesma, pelo que se devem tomar todas as precauções possíveis para evitar este defeito sob pena de se desvalorizar a matéria-prima. Assim, a armazenagem de lãs prensadas e em sujo, devido à alcalinidade presente, pode originar o aumento da cor amarela, com a consequente degradação, perda de resistência, diferença de afinidade tintorial, etc..

Existem também lãs naturalmente coradas (castanhas, cinzentas, negras) devido a pigmentos naturais que a fibra contém.

A fibra de lã é mais ou menos brilhante segundo a estrutura escamosa uma vez que o brilho não é mais que a reflexão da luz numa superfície lisa, sendo tanto maior quanto mais lisa for esta superfície. Deduz-se que nas lãs que apresentam escamas muito pronunciadas e com os seus bordos emergentes sobre a superfície da fibra, a reflexão far-se-á desordenadamente, dirigindo-se muitos dos raios reflectidos não para o exterior mas contra outras escamas, não podendo ser detectados pelo observador. Exemplo disto são as fibras merinas muito finas mas com escamas muito serrilhadas, cujo brilho é deficiente. Pelo contrário, nas lãs em que as escamas têm disposição plana sem que os seus bordos se projectem, é favorecida a reflexão e por consequência o brilho (é o

caso das lãs tipo Lincoln). Em geral, pode afirmar-se que as lãs finas e muito frisadas serão pouco brilhantes enquanto que as grossas, pouco frisadas e com escamas planas serão muito brilhantes. Um caso típico é o moer, cujas escamas completamente planas dão uma superfície lisa que lhes confere um brilho muito elevado.

### 3.6.4 Frisado (ondulação),

As fibras de lã apresentam uma ondulação natural que varia com as raças do animal, e com as condições de alimentação e climáticas a que está sujeito. A ondulação da lã depende do modo como se processa o enrolamento do ortocórtice à volta do paracórtice.

A qualidade de uma lã está relacionada com a respectiva ondulação. Em geral, as lãs mais finas são as mais onduladas. A regularidade do número de ondulações por centímetro implica regularidade no crescimento da fibra. As lãs merinas são mais frisadas do que as lãs cruzadas. O ondulado da fibra contribui para o seu toque "cheio" e para o seu comportamento na transformação fabril, daí que na fabricação das fibras sintéticas é hábito imprimir-se-lhes um certo frisado a fim de imitar o ondulado natural da lã.

## 3.7 Características mecânicas das fibras de lã

### 3.7.1 Resistência à rotura ou tenacidade

Obtém-se a resistência à tracção ou à rotura por tracção de matérias primas têxteis determinando simultaneamente o alongamento à rotura e é indicado por Kg/mm<sup>2</sup> (carga de rotura) ou em RKm (comprimento de rotura). O comprimento de rotura de um corpo é o comprimento no qual este material se rompe sob o seu próprio peso. Mas como as fibras têxteis nunca atingem este comprimento, calcula-se segundo uma forma específica.

Comparativamente à de outras fibras têxteis, a tenacidade da lã é mínima. Esta lacuna é no entanto compensada pelo seu alongamento à rotura, muito elevado relativamente ao de outras fibras têxteis.

A resistência da lã é uma característica de elevada importância se atendermos aos esforços a que é submetida durante a sua transformação e durante o uso. Em termos médios podemos dizer que a sua resistência anda a volta de 1.5 g/denier<sup>5</sup> ( aproximadamente 177MPa, partindo do princípio que 1g/denier = 117,78 MPa[10]), havendo no entanto referências a resistências na ordem dos 200MPa [11]

### 3.7.2 Elasticidade

As fibras da lã podem ser estiradas até 30% sem qualquer deformação permanente. Este facto mostra que os tecidos de lã têm bom poder de recuperação.

Embora com deformação permanente, a lã pode ser estirada, até 100% sem romper.

### 3.7.3 Resiliência

É a propriedade que a lã tem de, depois de comprimida num certo volume, voltar rapidamente ao volume inicial, depois de solta. A resiliência é de desejar particularmente em artigos como carpetes de lã, dadas as compressões a que são submetidas.

### 3.7.4 Rigidez

Chama-se rigidez de uma fibra à resistência que a mesma oferece à inserção de torção.

<sup>5</sup> As unidade g/denier e g/tex são usadas na indústria têxtil, e referem-se ao comprimento de fibra necessária para romper sob o seu próprio peso

A rigidez depende da quantidade de humidade que as fibras contêm.

A rigidez das fibras de lã secas é cerca de 15 vezes a das saturadas de água.

### 3.7.5 Feltragem

A feltrabilidade da lã tem origem em vários factores dos quais se destacam:

- A estrutura escamosa da cutícula;
- A elasticidade da fibra;
- O efeito diferencial de fricção.

O facto da fibra de lã se encontrar recoberta de escamas, dispostas de forma imbricada e terminadas em arestas mais ou menos vivas, provoca uma diferença de atrito inter-fibras com valores muito superiores quando se deslocam no sentido das pontas e muito menores quando se movimentam no sentido da raiz.

Assim, quando a massa fibrosa é pressionada, as fibras, interpenetram-se com movimentos consideravelmente muito superiores no sentido da raiz do que os verificados no sentido das pontas. Na descompressão as escamas da cutícula funcionam como pequenos ganchos que se prendem nas fibras justapostas, provocando desta forma, o emaranhamento da lã a que se chama feltragem (figura 3.4).

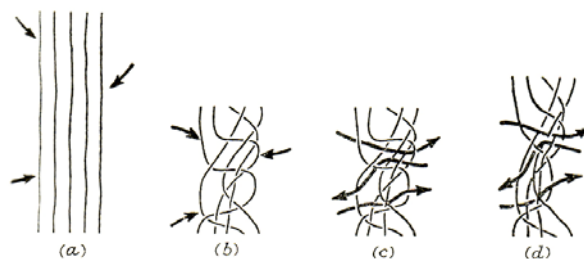


Figura 3.4  
Mecanismo de feltragem [11]

### 3.7.6 Massa específica

De todas as fibras naturais, a lã é das que possui menor massa específica. Esta é praticamente constante para todos os tipos e igual a 1.304g/cm<sup>3</sup>.

### 3.7.7 Recuperação de humidade

A lã pode absorver grande quantidade de água.

As características higroscópicas da lã (capacidade em absorver humidade sem que a fibra o aparente) contribuem para a sua excelência como fibra de artigos de vestuário e para o seu comportamento na técnica da transformação. Assim, esta fibra pode absorver 35% do seu peso em humidade, sem que ao toque se note qualquer diferença.

Nas transacções comerciais da lã há que ter em conta as condições da sua humidade. Assim, existem estabelecimentos próprios (Acondicionamentos) em que se determina o peso exacto de um lote de lã, com base nas percentagens de humidade oficiais.

### 3.7.8 Propriedades eléctricas

A lã é má condutora da electricidade e portanto carrega-se de cargas eléctricas durante o seu processamento.

Contudo, é possível tomá-la mais ou menos boa condutora, por aumento da humidade do ambiente, visto ser uma fibra hígroscópica.

### 3.7.9 Condutividade térmica

A lã ao absorver humidade liberta calor. Assim, quando se veste um artigo de lã, ao passar de um ambiente quente e seco para outro frio e húmido, o calor libertado pela lã impede uma transição brusca.

Por outro lado, os artigos de lã não aderem ao corpo, como as outras fibras humedecidas pela transpiração.

São estas qualidades e outras que fazem com que a lã seja considerada de alta qualidade como artigo de vestuário.[8]

## 3.8 Comportamento da lã em relação a ambientes e agentes exteriores

### 3.8.1 Ácidos e alcalinos

A lã é mais sensível a produtos alcalinos do que a produtos ácidos. Uma solução a 2% de hidróxido de sódio permite dissolver totalmente a lã à temperatura de ebulição. Esta é no entanto menos sensível aos ácidos, propriedade importante nas operações de tinturaria. É em meios pouco ácidos (PH5) que a lã menos dilata.

### 3.8.2 Luz

A lã é sensível à acção da luz, especialmente em estado bruto e quando molhada.

Experiências indicam que uma exposição da lã à luz solar durante 42 semanas reduz em 31% a sua resistência à rotura. [12]

### 3.8.3 Temperatura

A lã é sensível a temperaturas superiores a 120°, sobretudo ao nível da coloração, que tende a amarelar. Pode ainda haver alterações quanto à suavidade da fibra. Uma secagem demasiadamente brusca faz com que as

fibras percam características higroscópicas, e tal facto afecta negativamente as suas características essenciais.

### **3.8.4 Vapor de água**

Uma exposição prolongada e sem controlo da lã ao vapor de água, sobretudo em sobreaquecimento, altera consideravelmente as suas propriedades. A elasticidade, o alongamento e a tenacidade são fortemente afectados.

### **3.8.5 Micro-organismos**

As bactérias e bolores atacam bastante a lã armazenada muito tempo em ambientes húmidos e sem circulação de ar. Estas podem desenvolver-se até destruir totalmente as fibras.

### **3.8.6 Fogo**

A combustão da lã é difícil. Quando arde, esta liberta um fumo denso e a sua cinza desfaz-se com facilidade.



## 4 Materiais compósitos



## 4.1 Introdução

Usados há muitos séculos sob diversas formas, os materiais compósitos são, por definição, uma mistura ou combinação de dois ou mais micro ou macro constituintes que diferem na forma ou na composição química e que, na sua essência, são insolúveis uns nos outros. [13]

Daqui se poderá concluir que se podem incluir nesta definição materiais como algumas ligas metálicas ou plásticos reforçados por fibras.

Para este último caso, poderemos reescrever a definição de forma mais clara, observando a sua macroestrutura, e considerar material compósito todas as combinações de materiais que comportam um reforço sob forma filamentar. [14]

O interesse destes materiais prende-se com o facto de, ao combinar dois materiais distintos, se obtém um material com características melhores que as daqueles que lhe deram origem.

Casos da utilização de materiais compósitos são conhecidos de há muitos séculos, nomeadamente nos arcos mongóis onde as partes sujeitas a compressão são em osso e as partes sujeitas a tracção são em madeira, ou nos sabres japoneses, que combinavam aço e ferro macio desde a primeira fase da laminagem, no séc. VII. [15][16]

Na construção de edifícios é também patente a utilização de materiais compósitos, onde a madeira ou a palha eram combinadas com barro ou terra.

Os materiais compósitos são, regra geral, heterogéneos e anisotrópicos, o que significa que apresentam características mecânicas diferentes, consoante a direcção em que são solicitados.

Assim, o design e a produção de um compósito implica uma problemática com dois níveis:

- a um nível microestrutural, a compatibilidade dos materiais e a possibilidade de, ao interligá-los, surgir um resultado que lhes potencie as propriedades;
- a um nível macroestrutural, em questões que se prendem com a forma e o fabrico. [15]

Por outras palavras, os materiais compósitos devem ser executados com materiais que se combinem bem entre si, e o fabrico dos objectos deve ter em conta a forma como serão solicitados quando do seu uso.

## 4.2 Compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras.



Figura 4.1  
*La chaise – Charles & Ray Eames*



Figura 4.2  
*Produção da cadeira "La chaise"*

Quando se fala em materiais compósitos, imediatamente somos remetidos para um dos materiais compósitos mais usados: os plásticos reforçados com fibras. Sendo o centro deste trabalho, esta breve descrição assentará essencialmente neste tipo de materiais.

O uso de plásticos reforçados teve a sua grande evolução com indústria aeronáutica nos anos 40 do séc. XX, sob a forma de plásticos termoendurecíveis reforçados com fibras de vidro. A eficácia do seu desempenho, nomeadamente uma notável combinação de resistência e leveza, levou a que a sua utilização fosse cada vez maior nesta indústria. Esta evolução verifica-se quanto à utilização destes materiais, que se numa primeira fase eram usados em peças de revestimento interiores e estruturas secundárias, competem agora com os aços de elevado desempenho, as ligas leves de alumínio e o titânio no fabrico das estruturas principais, nomeadamente com o recurso às fibras de carbono.

O uso de plásticos reforçados não se limita, no entanto, aos componentes técnicos. Desde cedo, esta tecnologia despertou a atenção de diferentes áreas de produção. Em 1948, Charles & Ray Eames apresentam para o concurso "International Competition for Low-cost Furniture", organizado pelo "Museum of Modern Art of New York", um sofá que dava pelo nome de "La Chaise", em plástico reforçado com fibras de vidro (Figuras 4.1, e 4.2). [17] Estes designers continuariam aliás na exploração deste material, e entre 1950 e 1953 desenvolvem um dos seus objectos mais conhecidos, a cadeira "Plastic Armchair". Esta tecnologia permitiu efectuar uma cadeira em que o assento, apoios de braço e encosto eram formados pela mesma peça. Esta cadeira começou em 1950 a ser produzida em massa pela empresa "Zenith Plastics", depois da experiência adquirida na produção de reflectores parabólicos para os radares dos aviões. [18]

Outro caso que se tornou um ícon do design do séc. XX é a "Panton Chair", de Verner Panton. Esta cadeira, de 1968, era constituída numa única peça em plástico reforçado com fibras de vidro (figura 4.3)

Resumidamente, os plásticos reforçados com fibras são formados por arranjos de fibras de um material resistente – o reforço – que são embebidas numa matriz polimérica, cuja resistência mecânica é muito inferior mas capaz de deter a propagação de fissuras. [19]

Estes materiais apresentam várias vantagens relativamente às matérias primas tradicionais:

- Relação resistência-peso
- Bom comportamento à fadiga
- Resistência à corrosão
- Estabilidade dimensional
- Resistência às condições atmosféricas
- Facilidade de fabrico
- Custos competitivos, em comparação ao de materiais correntes.

Apesar destas vantagens, os plásticos reforçados apresentam um problema grave, que tem sido o centro de várias investigações, e se prende com a sua reciclagem. Nem os compósitos de matriz termoendurecível nem os de matriz termoplástica são facilmente recicláveis. Esta dificuldade prende-se com o facto de não ser economicamente viável a separação das fibras e da matriz. No caso dos termoplásticos reforçados, a hipótese mais viável é a de triturar o compósito e voltar a injectar o material para a produção de novos objectos. No caso dos compósitos de matriz termoendurecível, a sua possibilidade de reciclagem limita-se ao uso destes, após moídos, como cargas.

Têm sido levados a cabo vários estudos no sentido de diminuir o impacto ambiental destes materiais. Estes estudos prendem-se essencialmente com a substituição das fibras de origem mineral por fibras de origem vegetal. Quanto às matrizes, alguns estudos apontam para a possibilidade de se substituir as matrizes orgânicas por matrizes de origem vegetal [20] recorrendo nomeadamente a amido de milho ou óleo de soja.



Figura 4.3  
*Panton Chair – Verner Panton*

## 4.3 Fibras de reforço

### 4.3.1 Introdução

A função das fibras de reforço é a de conferir melhores propriedades mecânicas à matriz com que se combinam. Como tal, estas têm de apresentar um conjunto de características que garantam o cumprimento da sua função, nomeadamente:

- Um módulo de elasticidade superior ao do polímero a reforçar
- Uma tensão de rotura superior ao polímero a reforçar
- Uma geometria adequada à combinação com o polímero (e ao objecto a fabricar)
- Assegurar uma boa adesão à matriz
- Não se deteriorar em contacto com o polímero e/ou outros constituintes químicos presentes no compósito.

### 4.3.2 Factores que influenciam o desempenho das fibras

#### 4.3.2.1 Geometria

O desempenho das fibras no compósito é influenciado não só pelas suas características específicas, mas também pela sua geometria, quantidade e orientação. Consoante o tipo de objecto a fabricar ou tecnologia de produção usada, far-se-à uma escolha da geometria das fibras mais adaptadas.

De um modo geral, estas apresentam-se segundo duas geometrias distintas:

- Fibras curtas

Estas têm um comprimento de alguns centímetros ou fracção de milímetro. Apresentam-se sob forma de feltros, mantas (MAT) e fibras soltas para produção de compósitos por injeção. Estas são usadas em boa parte das tecnologias de produção, como o RTM ou moldagem por contacto.

- Fibras longas

São cortadas no momento da utilização e apresentam-se sob forma de bobines ou tecidos. As fibras longas em bobine têm especial interesse para as tecnologias de pultrusão ou enrolamento filamentar.

#### 4.3.2.2 Quantidade

Em princípio, as características mecânicas de um compósito são melhores quanto maior for a sua percentagem de fibras. É no entanto necessário ter em conta que uma quantidade de fibras exagerada levará a que a matriz não esteja presente em quantidade suficiente à sua correcta união. Tal faz decrescer significativamente as propriedades do compósito resultante, e em alguns casos pode fazer com que o compósito seja menos resistente que a resina sem reforço.

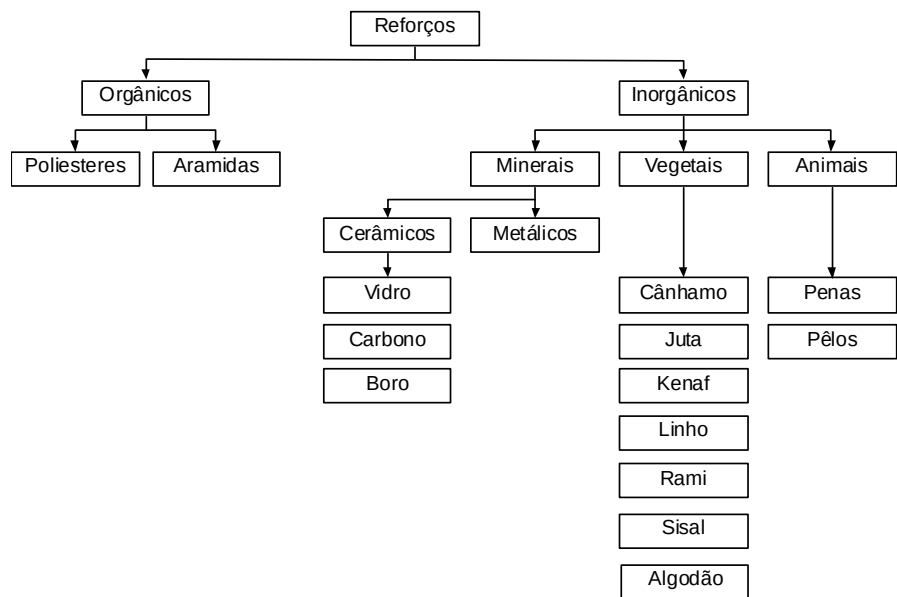
#### 4.3.2.3 Orientação

Poderão ser várias as orientações das fibras. Consoante o tipo de objecto a produzir, será determinado um tipo de orientação, que poderá ser alinhado ou aleatório. A anisotropia do compósito é influenciada pela orientação das fibras, sendo fácil perceber que um compósito de fibras alinhadas é mais anisotrópico que um compósito de fibras com orientação aleatória. Assim, para um compósito sujeito a esforços aplicados em várias direcções, deverá optar-se por um reforço de fibras com orientação aleatória, reduzindo assim a sua anisotropia. Quando uma peça em compósito é solicitada numa única direcção, o facto de ser reforçada com fibras longas orientadas no sentido do esforço aumenta significativamente as suas qualidades mecânicas. No entanto, se for solicitado na perpendicular à direcção das fibras, as suas características decrescem exponencialmente. No caso de peças que têm de suportar tensões

em duas direcções perpendiculares, opta-se geralmente por camadas sobrepostas de fibras alinhadas, perpendiculares entre si.

### 4.3.3 Tipos de fibras

As fibras de reforço para compósitos de matriz polimérica podem organizar-se do seguinte modo:



#### 4.3.3.1 Fibras de vidro

As fibras de vidro são claramente os reforços mais difundidos na indústria dos compósitos de matriz polimérica. As suas principais qualidades são:

- Boa relação resistência/peso
- Boa estabilidade dimensional
- Boa resistência ao calor, ao frio e à humidade
- Boa resistência à corrosão
- Boas propriedades de isolamento eléctrico
- Facilidade de fabrico
- Custo competitivo

Estão disponíveis no mercado vários tipos de fibras de vidro, sendo as mais usadas as do tipo E e do tipo S (alto desempenho).

O vidro E é usado para utilização geral, enquanto que o vidro S, possuidor de maior resistência à tração e módulo de elasticidade, é utilizado especialmente em aplicações militares e aeroespaciais.

#### 4.3.3.2 Fibras de carbono

As fibras de carbono apresentam um desempenho muito elevado enquanto reforço de materiais compósitos. As suas principais qualidades são:

- Baixo peso
- Resistência mecânica muito elevada
- Elevado módulo de elasticidade

Devido ao seu elevado preço, as fibras de carbono são usadas essencialmente no fabrico de peças de elevado desempenho, como componentes para a indústria aeroespacial, alguns componentes na indústria automóvel, artigos de desporto etc.

#### 4.3.3.3 Fibras naturais

##### 4.3.3.3.1 Fibras vegetais

O uso de fibras vegetais para o reforço de materiais compósitos tem vindo a evoluir muito nos últimos anos. O seu uso para componentes da área automóvel tem tido um crescimento significativo, dada não só a crescente preocupação com questões ambientais, como também devido ao seu menor custo, comparativamente às fibras de vidro.

O uso de fibras vegetais como reforços de materiais compósitos é experimentado pelo menos desde o início dos anos 60 do séc. XX. Victor Papanek relata a invenção e experimentação de um material novo, o

“fibergrass”, que consistia na substituição de fibras de vidro por ervas indígenas secas e alinhadas à mão, em 1962. [21]

As fibras vegetais têm sobre as fibras minerais a vantagem de poderem ser recicladas e serem renováveis, do ponto de vista da matéria-prima que lhes dá origem.

Do ponto de vista da reciclagem, existe ainda a dificuldade de separar a fibra da matriz, quer esta seja termoplástica, quer termoendurecível.

As fibras vegetais para uso em compósitos classificam-se em 3 grupos:

- Fibras do caule – Linho, cânhamo, juta, kenaf, rami
- Fibras da semente/fruto – Algodão, coco
- Fibras da folha – Sisal, abacá

Algumas características das fibras vegetais tornam-nas efectivamente concorrentes com as fibras de vidro [19], tais como:

- A sua baixa densidade, cerca de duas vezes inferior às das fibras de vidro
- Resistência e módulo de elasticidade à tracção comparáveis com as fibras de vidro
- Elevada relação comprimento/diâmetro
- A sua natureza não abrasiva permite que não danifiquem as ferramentas, ao contrário das fibras de vidro
- Não são prejudiciais à saúde (as fibras de vidro causam irritações de pele e, quando inaladas, podem ser cancerígenas. No entanto, as fibras de vidro habitualmente usadas em compósitos são de diâmetros na ordem dos 10 micrómetros, sendo prejudiciais por inalação essencialmente quando este diâmetro é inferior a 3 micrómetros, o chamado diâmetro crítico. [14])
- Possibilidade de maior fracção volúmica no compósito, devido à sua natureza não abrasiva, permitindo obter compósitos com elevadas propriedades específicas devido à sua baixa densidade.
- São facilmente recicláveis
- São de natureza renovável
- São biodegradáveis
- Possuem excelentes propriedades isoladoras (acústicas, térmicas e eléctricas)

- Têm um custo baixo
- Podem ser processadas por processos convencionais de tecelagem

As fibras vegetais apresentam no entanto algumas limitações, que não permitem a sua utilização para a generalidade das aplicações:

- Temperaturas de processamento limitadas - acima dos 200°, a componente celulósica das fibras começa a degradar-se, prejudicando as características mecânicas do compósito.
- Hidroscopia das fibras – por terem elevada capacidade de absorção de humidade, o uso destas fibras pode comprometer a estabilidade dimensional do compósito devido à sua dilatação e a absorção de humidade pode desencadear nestas processos de degradação.
- Fraca adesão interfacial com alguns polímeros
- Não sendo produzidas por processos industriais, não é possível reproduzir em absoluto as suas características físicas.
- As suas características variam consoante as condições em que as plantas são criadas, visto estas serem influenciadas pelas condições climáticas e pela natureza dos solos.

Comparando as características mecânicas das fibras vegetais com as fibras de vidro, verifica-se que as primeiras possuem valores de densidade bastante inferiores às segundas, e módulos de elasticidade muito próximos ou equivalentes em alguns casos [19] [22]

| Fibras  | Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) | Alongamento na rotura (%) | Resistência à tracção (MPa) | Módulo de Young (GPa) |
|---------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Linho   | 1.4                            | 1.2 - 1.6                 | 800 – 1500                  | 60 – 80               |
| Cânhamo | 1.4                            | 1.6                       | 550 – 900                   | 70                    |
| Juta    | 1.3                            | 1.5 – 1.8                 | 393 – 773                   | 10-30                 |
| Rami    | 1.5                            | 3.6 – 3.8                 | 400 – 938                   | 61.4 – 128            |
| Algodão | 1.5                            | 7.8 – 8.0                 | 287 – 597                   | 5.5 – 12.6            |
| Coco    | 1.2                            | 30                        | 175 – 220                   | 4 – 6                 |
| Sisal   | 1.5                            | 2.0 – 2.5                 | 511 – 635                   | 9.4 – 22              |
| Abacá   | 1.5                            | Nd                        | 980                         | Nd                    |
| Vidro E | 2.5                            | 2.5                       | 2000 - 3500                 | 70                    |

#### 4.3.3.3.2 Fibras animais

O estudo de fibras animais para o reforço de materiais compósitos é ainda pouco desenvolvido.

Dentro das fibras animais, aquelas que foram até agora mais (apesar de pouco) estudadas para este fim foram as fibras de lã de ovelha e as fibras de penas de galinha.

Um destes estudos [23] apresenta valores muito interessantes para compósitos reforçados com 10% de penas, nomeadamente um incremento do módulo de elasticidade de 53% e um incremento da resistência à tracção de 5% (neste caso, comparado com os valores obtidos por resinas de soja puras).

Outro estudo, dedicado a fibras de lã [24] refere um incremento considerável das características do compósito reforçado com estas fibras, nomeadamente ao impacto, em que uma incorporação de 10% de fibras na resina chega a duplicar a sua capacidade de absorver energia (de 6.0 para 12.6 KJm<sup>-2</sup>). Refere ainda este estudo um aumento da tensão de rotura em flexão de 67.3 para 85.1 MPa (neste caso, comparando resina pura com um compósito reforçado com 55% de fibras)

Um dos interesses do seu uso é a sua baixa densidade (1,304g/cm<sup>3</sup>, no caso da lã), o que permite baixar consideravelmente o peso dos objectos reforçados com estas fibras, em comparação com compósitos reforçados com fibras de vidro ou carbono.

Por outro lado, estas fibras são muito abundantes, nomeadamente como excedentes de outras produções (aviários, no caso das penas, matadouros e excedentes nas produções de lanifícios, no caso das lãs) o que torna o seu custo muito competitivo face a outros tipos de fibras de reforço (pode apresentar-se como exemplo o caso dos excedentes da indústria dos lanifícios, comercializados para a produção de fios reciclados na ordem dos €0,1/Kg)

Outro interesse destas fibras é o facto de serem biodegradáveis, sendo até possível usá-las como fertilizante de terras de cultivo.

## 4.4 Matrizes

Entende-se por matriz todo o material a ser combinado com um reforço fibroso para a obtenção de um material compósito. São estas que garantem a união das fibras de reforço e permitem obter a forma desejada.

No caso dos compósitos de matriz polimérica, o grande número de polímeros usados pode organizar-se em dois grupos: termoendurecíveis e termoplásticos.

As principais diferenças, importantes para a tomada de decisão relativamente à selecção de materiais, são apresentadas na seguinte tabela [25]

|                                 | Termoendurecíveis     | Termoplásticos              |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Estado físico                   | Viscoso               | Sólido                      |
| Tempo de armazenamento          | Reduzido              | Ilimitado                   |
| Impregnação dos reforços        | Fácil                 | Difícil                     |
| Obtenção de forma               | Aquecimento contínuo  | Aquecimento + arrefecimento |
| Ciclo de processamento          | Longo (polimerização) | Curto                       |
| Resistência ao impacto          | Limitada              | Razoável                    |
| Resistência à temperatura       | Boa                   | Reduzida                    |
| Utilização dos resíduos         | Cargas                | Reciclagem                  |
| Impacto no ambiente de trabalho | Emanação de solventes | Sem influência considerável |
| Processamento                   | Simples               | Complexo                    |

A crescente preocupação com questões ambientais e de desenvolvimento sustentado levou à procura de matrizes poliméricas de origem vegetal, que se mostrassem como alternativa às matrizes orgânicas. Estes novos polímeros, denominados por “biopolímeros”, podem ser obtidos a partir de vegetais, como a soja [23] ou o milho. [26]

### 4.4.1 Matrizes termoendurecíveis

Os polímeros termoendurecíveis, na forma como são utilizados para processamento, aparecem como uma mistura de dois ou três componentes (resina + endurecedor, resina + acelerador + catalizador). A mistura adequada destes componentes provoca a polimerização. Esta reacção pode ocorrer a frio,

apesar de alguns termoendurecíveis requererem aplicação adicional de calor e pressão. [27]

Após a polimerização, a forma obtida é irreversível, factor que impossibilita a sua reciclagem, ao contrário dos termoplásticos que podem ser reutilizados, bastando para isso submetê-los a temperaturas adequadas..

As principais vantagens dos polímeros termoendurecíveis são:

- Estabilidade térmica elevada
- Rigidez elevada
- Estabilidade dimensional elevada
- Resistência à fluência e à deformação sob carga
- Baixa densidade
- Boas propriedades de isolamento eléctrico e térmico

Das resinas termoendurecíveis existentes, as mais usadas são as resinas de poliéster insaturado e as resinas epoxídicas.

As resinas de poliéster insaturado são de longe as mais usada pelo facto de apresentarem um custo baixo em comparação com as resinas epoxídicas. Apresentam-se sob a forma de uma solução de poliácidos com poliálcoois, dissolvidos em monómeros de estireno ou outro agente de reticulação, e solidificam por acção de um catalizador e de calor ( podem solidificar apenas com temperatura ambiente). Apresentam boas propriedades mecânicas , boa resistência química, boas propriedades de isolamento eléctrico e boa resistência à absorção de água. Os seus principais inconvenientes são a contracção e libertação de vapores de estireno na cura.

As resinas epoxídicas são usadas em componentes de elevado desempenho, e são habitualmente usadas como matriz de compósitos reforçados com fibras de carbono. Para formar materiais termoendurecíveis sólidos, as resinas epoxídicas têm de ser curadas utilizando agentes e/ou catalizadores que promovam ligações cruzadas, como aminas, anidridos e produtos de condensação de aldeídos. As suas propriedades dependem do tipo de agente utilizado e da temperatura de cura. De um modo geral, estas resinas apresentam excelentes propriedades mecânicas e de isolamento eléctrico, boa estabilidade dimensional, boa resistência química, excelente resistência à absorção de água, baixa contracção na cura, boa resistência à abrasão e boa adesão a outros materiais. O seu baixo peso molecular permite que a resina molhe rápida e completamente a superfície das fibras de reforço. [19]

Algumas propriedades das resinas de poliéster e epoxídicas não-reforçadas [13]

|                                                             | Poliéster   | Epoxídicas |
|-------------------------------------------------------------|-------------|------------|
| Resistência à tracção (MPa)                                 | 40 - 90     | 55 - 130   |
| Módulo de elasticidade em tracção (GPa)                     | 2,0 – 4,4   | 2,8 – 4,2  |
| Resistência à flexão (MPa)                                  | 60 - 160    | 125        |
| Resistência ao impacto (em provete Izod com entalhe) (J/m²) | 10,6 – 21,2 | 5,3 - 53   |
| Densidade (g/cm³)                                           | 1,10 – 1,46 | 1,2 – 1,3  |

#### 4.4.2 Matrizes termoplásticas

O uso de matrizes termoplásticas na indústria dos compósitos tem vindo a ganhar terreno relativamente às matrizes termoendurecíveis. Tal se deve às maiores cadências produtivas permitidas devido a inexistência do processo de polimerização, aliado à possibilidade efectiva de reciclagem. O seu maior defeito face aos termoendurecíveis prende-se com uma dureza inferior e uma menor resistência à temperatura e à abrasão.

Outra das qualidades interessantes das matrizes termoplásticas é o facto de poderem ser reforçadas com fibras do mesmo tipo, isto é, fibras em termoplástico (por exemplo PP reforçado com PP), o que lhes confere grandes vantagens ao nível da reciclagem.

Os polímeros termoplásticos apresentam no seu estado puro boas características mecânicas. Quando reforçados com fibras curtas, o seu comportamento mecânico e térmico é melhorado e ganham uma boa estabilidade dimensional.

Os termoplásticos mais usados na indústria dos compósitos são:

- As poliamidas (PA)
- Os politereftalatos de etileno (PET) e de butileno (PBT)
- Os policarbonatos (PC)
- Os polioxidos de fenileno (PPO ou PPE)
- Os poliximetilenos (POM)
- O polipropileno (PP)

Outras resinas começam a ser usadas devido às suas características térmicas (estabilidade térmica superior a 200°C):

- A poliamida-imida (PAI)
- O poliéster-imida (PEI)
- O poliéster sulfona (PES)
- O poliéster-eter-cetona (PEEK)

Algumas propriedades de termoplásticos não reforçados [14]

|      | Massa<br>específica<br>Kg/dm <sup>3</sup> | Resistência à<br>tracção<br>MPa | Módulo de<br>flexão<br>GPa | Temperatura<br>de uso<br>°C |
|------|-------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| PP   | 1,1 – 1,2                                 | 20 – 30                         | 1 – 1,6                    | 85 – 115                    |
| PBT  | 1,5                                       | 45 – 55                         | 2,2 – 2,6                  | 120                         |
| PET  | 1,6                                       | 55 – 75                         | 2 – 2,2                    | 105 – 120                   |
| PPO  | 1,3                                       | 55 – 65                         | 2,4 – 2,6                  | 80 – 105                    |
| POM  | 1,6                                       | 60 – 70                         | 7 – 9                      | 95 – 105                    |
| PA   | 1,3 – 1,4                                 | 60 – 90                         | 6 – 9                      | 80 – 120                    |
| PAI  | 1,3 – 1,4                                 | 195                             | 4,9                        | 275                         |
| PEI  | 1,5                                       | 105                             | 3                          | 170                         |
| PES  | 1,6                                       | 85                              | 2,6                        | 180                         |
| PEEK | 1,5                                       | 100                             | 3,7                        | >240                        |

## 4.5 Algumas tecnologias de produção [14] [28]

### 4.5.1 Moldação por contacto (termoendurecíveis)

Neste tipo de produção o molde é aberto, optando-se pelo macho ou fêmea consoante o lado da peça que deve ter melhor acabamento (lado em contacto com o molde). É aplicado sobre o molde um agente desmoldante e sobre este uma camada de resina com a cor desejada - que dá pelo nome de

“gelcoat” - e que permitirá dar um acabamento liso na superfície da peça em contacto com o molde. São então colocadas as fibras impregnadas em resina e compactadas com a ajuda de um rolo apropriado (esta operação serve também para eliminar eventuais bolhas de ar). Após a cura, a peça é retirada e acabada. Esta técnica permite a obtenção de peças de grandes dimensões, como cascos de barcos. A cadência produtiva para este tipo de moldação varia entre as 2 e as 4 peças diárias para cada molde.

Nesta tecnologia são usados mats de fibras e/ou tecidos.

#### 4.5.2 Projectação simultânea (termoendurecíveis)

As fibras curtas e a resina catalizada são projectadas simultaneamente sobre o molde através de uma pistola

#### 4.5.3 Moldação em autoclave (termoendurecíveis)

Neste caso, usam-se tecidos ou placas de fibras orientadas pré-impregnados com resina, que são sucessivamente colocados sobre ou dentro de um molde (consoante o tipo de peça).

Seguidamente, são cobertos por uma membrana estanque que permite retirar o ar interno de modo a eliminar os solventes e adaptar as camadas de reforço à forma.

O molde é então colocado num autoclave a uma temperatura superior a 200° e a uma pressão de cerca de 15Bar.

#### 4.5.4 Enrolamento filamentar (termoendurecíveis e termoplásticos)

Este processo consiste em enrolar fibras longas sobre um mandril em rotação. No caso do processamento de compósitos de matriz termoendurecível, as fibras passam por um tanque de resina e são depois enroladas sobre o

mandril com base num programa específico, que as distribui da forma mais adequada. A percentagem de reforço pode chegar aos 85% e as peças são usadas em situações que exigem a resistência a grandes pressões internas. No caso do enrolamento filamentar com termoplástico, usam-se fibras longas pré-impregnadas, que são aquecidas antes de entrarem em contacto com o mandril, de forma a amolecer o termoplástico e este assumir a forma pretendida.

#### 4.5.5 Pultrusão (termoendurecíveis)

Esta tecnologia permite uma produção em contínuo de perfis em compósito. Os reforços filamentos de fibras longas são mergulhados num tanque de resina e puxados pela máquina, fazendo-as passar através de uma fieira aquecida, com a forma desejada. Ao passar pela fieira, a temperatura associada a uma velocidade de tracção adequada permite que se dê o processo de polimerização, o que permite obter produto acabado em contínuo.

#### 4.5.6 RTM - resin transfer moulding (termoendurecíveis)

O reforço (mat ou tecido) é colocado dentro do molde, e em seguida é injectada no seu interior a resina a baixa pressão ( 5Bar ). A polimerização é ajudada pela temperatura libertada quando da reacção. Sendo em molde fechado, a libertação de vapores de estireno é menor. As cadências de produção são um pouco mais elevadas, podendo chegar às 6 peças por dia

#### 4.5.7 Injecção de plásticos reforçados (termoendurecíveis e termoplásticos)

Esta é a tecnologia de eleição para a produção de termoplásticos reforçados com fibras. O processo é semelhante para os dois tipos de matriz, variando essencialmente a zona aquecida do sistema. Em ambos os casos, resina e reforço, normalmente de fibras curtas, são colocados num alimentador

sem-fim, que os mistura. No caso dos termoplásticos, o alimentador é aquecido de forma a fundir o polímero e efectivar a mistura com o reforço. No caso dos termoendurecíveis, o aquecimento é feito no molde, de forma a acelerar o processo de polimerização.



## 5 Caracterização mecânica de compósitos reforçados com fibras de lã



## 5.1 Introdução

Apesar da intenção central deste trabalho numa primeira fase não ser a de focar de forma central os materiais compósitos em si, a sua sustentabilidade efectiva passa por comprovar se as premissas levantadas se revestem da viabilidade técnica essencial à sua validação. Como tal, impõe-se um conhecimento um pouco mais aprofundado das características mecânicas que os objectos a produzir poderão possuir, pois tal conhecimento é essencial à definição de tipologias de objectos.

Neste sentido, este estudo de comportamento mecânico servirá acima de tudo como tomada de consciência relativamente às possíveis limitações desta tecnologia.

## 5.2 Procedimento experimental

Como ponto de partida, decidiu-se realizar alguns compósitos de matriz polimérica termoendurecível, tendo como reforço fibras de lã em bruto (retiradas do velo) adiante designadas por mat, sem tratamento (apenas com uma primeira lavagem do produtor) e tecido de lã, de modo a obter uma primeira caracterização.

Foram elaborados três placas de compósito, com as seguintes características:

1. Tecido de lã cardada - fio nº35 - 1 cabo – 2400 fios/m<sup>2</sup> com resina poliéster<sup>6</sup>
2. Tecido de lã cardada - fio nº35 - 1 cabo – 2400 fios/m<sup>2</sup> com resina poliéster
3. Mat de fibras com resina epoxy

Foram usadas resinas nas seguintes formulações:<sup>7</sup>

<sup>6</sup> A medição das fibras em microscópio óptico revelou um diâmetro de fibra entre 30 e 32  $\mu\text{m}$  para os fios de cor castanha e entre 21 e 25  $\mu\text{m}$  para os fios de cor branca, o que indica estarmos perante fios de lã merina ou cruzado fino e lã de cruzado médio

<sup>7</sup> Foram usadas as resinas disponíveis no laboratório do CEMACOM para efectuar as diferentes experiências. Um dos objectivos deste trabalho era tentar obter objectos em compósito menos nocivos para o meio ambiente, e neste sentido foram investigadas resinas de origem vegetal. Uma das experiências, baseada num artigo apresentado no ICCM14 [29], consistiu na utilização de óleo de soja quimicamente modificado, comercializado pela UCB Chemicals sob o nome de Ebecryl 860. Apesar das várias tentativas efectuadas, que respeitavam a formulação exposta no artigo, não se conseguiu curar a resina obtida, pelo que se colocou momentaneamente de parte esta hipótese.

- Epoxy – Reapox 520 + 30% de endurecedor D560
- Poliéster – Quires 272 + 0,2% de acelerador de cobalto a 1% + 2% de catalizador MEK50

No caso do compósito reforçado com tecido, procedeu-se a uma moldação por contacto, da seguinte forma:

1. Aplicação de cera desmoldante sobre uma superfície em vidro
2. Aplicação intercalada de 5 camadas de tecido e resina. A impregnação das camadas de tecido foi efectuada com a ajuda de um rolo apropriado.(figura 5.1)
3. Colocação de uma placa de 5mm em aço sobre o laminado (onde previamente se aplicou desmoldante).
4. Colocação de pesos sobre a placa de aço, de forma a expelir o excesso de resina e garantir a uniformidade dimensional da peça.(figura 5.2)



Figura 5.1  
Execução do compósito reforçado com tecido



Figura 5.2  
Compósito sob pressão de um peso



Figura 5.3  
Pesagem das fibras



Figura 5.4  
Colocação das fibras no molde

O compósito reforçado com mat foi elaborado do seguinte modo:

1. As fibras foram libertas de impurezas.
2. Foi calculada a massa de fibras necessárias para perfazer um reforço de 30% em massa do compósito, com base na sua massa específica [8] (figura 5.3)
3. As fibras foram cortadas com um comprimento de aproximadamente 30mm.
4. Foram colocadas em seco no molde, sob pressão, de forma a dar-lhes uma primeira conformação que facilitaria o processo de moldação.(figura 5.4)
5. Retiraram-se as fibras do molde, no qual foi então aplicado desmoldante (QZ13).
6. Procedeu-se à execução do compósito, colocando primeiro no molde uma camada de resina, sobre a qual foi colocada uma camada de fibras. Repetiu-se esta operação até à total colocação das fibras no molde
7. Depois de fechado, o molde foi colocado numa prensa e apertado com pressão de fecho.(figura 5.5)
8. Após o tempo de cura recomendado pelo fabricante (à temperatura ambiente), a placa foi retirada do molde.

Durante o processo, verificou-se alguma dificuldade de impregnação das fibras, essencialmente no mat. No entanto, o resultado final apresentou uma impregnação muito satisfatória, de que resultou um compósito extremamente homogéneo.

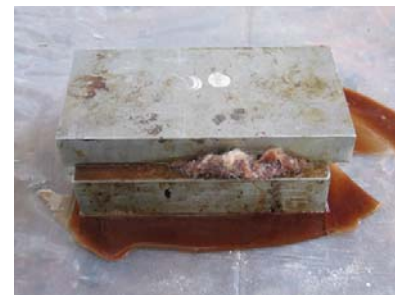


Figura 5.5  
*Compósito dentro do molde*

## 5.3 Ensaaios de tracção e flexão do compósito

### 5.3.1 Parâmetros do ensaio de tracção e flexão

Após cura à temperatura ambiente, as placas obtidas foram cortadas em provetes. Realizaram-se ensaios de tracção [30] e flexão [31] no caso dos compósitos reforçados com tecido, e ensaios de flexão no caso do compósito reforçado com mat.

Todos os ensaios foram realizados no laboratório de ensaios mecânicos do INEGI, numa máquina de ensaios universal INSTRON 4208, tendo nos ensaios de tracção sido utilizado um extensómetro INSTRON 2630 – 036. Foi utilizada uma célula de carga de 10KN.

Sendo normalizada, a velocidade usada para calcular o módulo de elasticidade à tracção e a tensão à carga máxima foi de 2mm/min.



Figura 5.6  
*Corte dos provetes de tracção*



Figura 5.7  
*Provetes para ensaios de tracção*

### 5.3.2 Resultados experimentais

São apresentados no Anexo I os resultados individuais dos provetes ensaiados.

Destes ensaios, foram obtidos os seguintes valores médios e desvios padrão, para o módulo de elasticidade e tensão de rotura à carga máxima:



Figura 5.8  
*Ensaio de flexão*



Figura 5.9  
Ensaio de tracção

| Placas              |        |           |       |
|---------------------|--------|-----------|-------|
|                     | PA     | PB        | PC    |
| Reforço             | Tecido | Tecido    | Mat   |
| nºcamadas           | 5      | 5         | N/D   |
| %fibras             | 30     | 30        | 30    |
| Resina              | Epoxy  | Poliester | Epoxy |
| Tracção             |        |           |       |
| E (GPa)             | 3,26   | 1,75      | N/E   |
| Desvio padrão       | 0,093  | 0,044     | N/E   |
| $\sigma_u$ (MPa)    | 35,012 | 23,96     | N/E   |
| Desvio padrão       | 2,11   | 0,57      | N/E   |
| Flexão              |        |           |       |
| $E_f$ (GPa)         | 3,13   | 1,83      | 2,17  |
| Desvio padrão       | 0,124  | 0,078     | 0,39  |
| $\sigma_{uf}$ (MPa) | 52,6   | 43,56     | 47,4  |
| Desvio padrão       | 4,07   | 1,567     | 8,547 |

| Valore para resinas sem reforço | E   | $\sigma_u$ |
|---------------------------------|-----|------------|
| Quires 272                      | 3.5 | 75         |
| Reapox 520                      | 3.5 | 70         |

Os valores do módulo de tracção foram determinados com base na recta secante à curva experimental, nos pontos correspondentes à deformação de 0,005 e 0,02%

### 5.3.3 Interpretação dos resultados

Apesar dos resultados obtidos serem já satisfatórios para algumas das possíveis utilizações previstas, estes apresentavam-se abaixo dos valores da resina sem reforço.

No entanto, dados de outras investigações mostravam-nos que a lã pode efectivamente ser usada para este fim [24]. Impunha-se então estudar

tratamentos possíveis a dar às fibras, de modo a que o seu desempenho fosse melhorado.

Uma razão possível para o fraco desempenho das fibras poderia ser uma excessiva alcalinidade da resina, que como referido anteriormente degrada as fibras de lã. Uma medição do PH da resina e do catalizador (Reapox 520 e catalizador D526 – figuras 5.10 e 5.11) permitiu verificar que a resina é um composto ligeiramente ácido, o que é perfeitamente tolerado pelas fibras de lã.<sup>8</sup>

Outra das possíveis razões poderia residir na grande quantidade de humidade retida por estas fibras, dado a lã ser uma fibra extremamente higroscópica.

Poder-se ia pensar numa degradação provocada pelo aquecimento da resina quando da sua polimerização, mas dados recolhidos no CITEVE apontam para o facto de, na ausência de humidade, o calor não ter tendência a degradar as fibras (as termocolagens de tecidos são efectuadas a 160°)

Neste sentido, procedeu-se a um ensaio comparativo recorrendo a fios de lã embebidos em resina, aos quais foi dado um tratamento térmico, de forma a eliminar parte da humidade presente nas fibras.



Figura 5.10  
Medição do PH do endurecedor



Figura 5.11  
Medição do PH da resina

## 5.4 Ensaio de fios

### 5.4.1 Procedimento experimental

Para analisar até que ponto a humidade poderia apresentar-se como factor de degradação da qualidade do compósito, foram efectuados 12 provetes, respectivamente:

- 3 provetes de fio de lã sem qualquer tratamento, embebidos em resina de poliéster
- 3 provetes de fio de lã aquecido a uma temperatura constante de 100° durante 20 minutos e embebidos em resina de poliéster

<sup>8</sup> As fibras de lã toleram substâncias ligeiramente ácidas, sem que estas provoquem a sua degradação. Verificando-se um PH10 para o endurecedor e um PH5 para a resina, conclui-se que o composto é ligeiramente ácido.

- 3 provetes de fio de lã sem qualquer tratamento, embebidos em resina epoxy
- 3 provetes de fio de lã aquecido a uma temperatura constante de 100° durante 20 minutos e embebidos em resina epoxy
- 2 provetes com fio de lã sem qualquer tratamento

Foram usadas resinas nas seguintes formulações:

- Epoxy – Reapox 520 + 30% de endurecedor D560
- Poliéster – 272 + 0,2% de acelerador de cobalto a 1% + 2% de catalizador MEK50



Figura 5.12  
*Impregnação dos fios com resina*

Os fios foram cortados com o mesmo comprimento (200mm) e após o tratamento térmico, verificou-se uma retracção destes na ordem dos 3%, comparativamente aos fios não tratados.

Estes foram pincelados com a resina após serem ligeiramente tensionados (manualmente, com a ajuda de fita adesiva) e foram submetidos a uma cura de 10 dias à temperatura ambiente (figuras 5.12 e 5.13).



Figura 5.13  
*Fios impregnados com resina epoxy*

## 5.4.2 Ensaio de tracção

Os ensaios foram realizados numa máquina de ensaios universal Instron 4208. Foi utilizada uma célula de carga de 1KN. Os provetes foram traccionados a uma velocidade de 10mm por minuto. O ensaio serviu apenas para estabelecer termos comparativos, de modo a verificar o desempenho das fibras relativamente ao tratamento térmico. Assumiu-se para o fio de lã uma secção inicial de 0.7mm, e para os compósitos uma secção inicial de 1mm.

Dos ensaios realizados, foram obtidos os seguintes valores para a tensão de rotura à carga máxima:

| Ensaio de fios               |                       |
|------------------------------|-----------------------|
| Material                     | $\sigma_u$ (em média) |
| lã                           | 17.515                |
| Lã s/aquecimento c/poliéster | 22.097                |
| Lã aquecida c/poliéster      | 29.350                |
| Lã s/aquecimento c/epoxy     | 29.097                |
| Lã aquecida c/epoxy          | 34.930                |

### 5.4.3 Interpretação dos resultados

O resultado dos compósitos com reforço previamente aquecido dá claramente melhores valores em média (melhoria de 20% na combinação com resina epoxy e melhoria de 27% na combinação com poliéster), sendo que o resultado mais elevado dos fios sem aquecimento é inferior ao pior resultado com fios aquecidos, com qualquer resina.

Este resultado permite concluir que, de facto, a eliminação da humidade provoca uma melhoria substancial no desempenho das fibras.

Essa observação levou a que se fizesse uma busca, relativamente à secagem dos tecidos.

A norma de determinação da massa comercial de tecidos, fios e fibras define uma temperatura de 105° durante 4 horas para a secagem destas. [32]



Figura 5.14  
Ensaio de tracção dos fios

## 5.5 Ensaio de laminados com reforço sujeito a tratamento térmico.

### 5.5.1 Introdução

A observação de melhorias no desempenho das fibras após serem sujeitas ao tratamento térmico, impôs uma nova caracterização dos laminados. Seriam

desta vez produzidos laminados com secagem da fibra e analisada a influência da variação da sua percentagem no compósito. De forma a ter uma ideia do efectivo valor destas fibras enquanto reforço, foi também efectuada uma comparação do desempenho destas relativamente às fibras de vidro.

Visto o objectivo do trabalho assentar numa utilização dos materiais específicos produzidos por uma empresa, os ensaios assentarão na utilização de tecidos de lã.

Por outro lado, a análise dos diferentes resultados obtidos, mostra que o desempenho deste material é melhor quando combinado com resina epoxy, e apesar do desempenho do laminado estar abaixo do desempenho da resina pura, a comparação entre os valores obtidos com resina reforçada e não reforçada demonstra que este reforço é menos “nocivo” no caso do epoxy.

## 5.5.2 Procedimento experimental

### 5.5.2.1 Execução dos laminados

Para a realização destes ensaios, foram produzidas 8 placas de laminado com 150x100x4mm. Em todas as placas, foi usada resina Reapox 520 com endurecedor D526.

No caso das placas reforçadas com fibra de vidro, foi utilizada manta de fibras de orientação aleatória, com uma gramagem de 400g/m<sup>2</sup>.

Os tecidos de reforço foram submetidos a uma secagem de 4 horas em estufa, a uma temperatura de 105°C

As placas foram produzidas com base nas seguintes constituições:

| <b>Placas</b>      |            |            |            |            |            |            |            |            |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Designação         | <b>P1M</b> | <b>P2M</b> | <b>P3M</b> | <b>P4M</b> | <b>P5M</b> | <b>P6M</b> | <b>P7M</b> | <b>P8M</b> |
| Reforço            | Vidro E    | Vidro E    | Tecido lã  | Tecido lã  | Tecido lã  | Tecido lã  | Tecido lã  | Tecido lã  |
| Camadas de reforço | 4          | 4          | 4          | 4          | 5          | 5          | 6          | 6          |
| %fibras (em massa) | 34         | 31,04      | 28,63      | 27         | 34,12      | 33,03      | 39,26      | 42,88      |

(A percentagem de fibras foi calculada com base na relação entre o peso das fibras secas e o peso final da placa)

De forma a conseguir um nº suficiente de provetes para os ensaios a realizar, foram feitas duas placas de cada composição (como mostra a tabela acima).

Todos os laminados foram executados conforme o seguinte procedimento:

1. Foram pesados os tecidos e manta, depois de cortados com as dimensões do molde (150x100mm)
2. Foi aplicado desmoldante (QZ13) no molde.
3. O fundo do molde foi coberto com resina, preparada segundo as recomendações do fabricante.
4. Foram intercaladas camadas de reforço que eram sucessivamente pinceladas com resina de forma a garantir uma impregnação homogénea.
5. Depois de fechado o molde, foi colocado numa prensa de pratos, onde foi apertado com pressão de fecho e submetido a uma temperatura de 40° durante 2 horas.
6. Após este tempo, as placas foram mantidos em estufa, a uma temperatura de 20° e 55% de humidade durante 24horas.
7. Após devidamente curadas (8 horas a 20° + pós-cura de 24h a 40°), as placas foram cortadas em provetes, segundo dimensões normalizadas, de forma a realizar ensaios de tracção, flexão e impacto.
8. Depois de cortados, os provetes foram mantidos em estufa, a uma temperatura e humidade constantes de 22° e 55%, respectivamente.

## 5.5.3 Ensaios de tracção, flexão e impacto

### 5.5.3.1 Parâmetros do ensaio de tracção e flexão

Os ensaios foram realizados numa máquina de ensaios universal *INSTRON 4208*, tendo sido utilizado nos ensaios de tracção um extensómetro *INSTRON 2630 – 036*. Foi utilizada uma célula de carga de 10KN.

Sendo normalizada, a velocidade de 2mm/min foi usada para calcular o módulo de elasticidade à tracção e a tensão à carga máxima.

### 5.5.3.2 Resultados experimentais

Os valores médios obtidos são apresentados na tabela seguinte:

| Ensaio              |         |         |         |         |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|
| Placas              | P1M/P2M | P3M/P4M | P5M/P6M | P7M/P8M |
| E (GPa)             | 7,338   | 3,608   | 3,864   | 4,21    |
| Desvio padrão       | 0,38    | 0,289   | 0,076   | 0,0038  |
| $\sigma_u$ (MPa)    | 128,87  | 38,75   | 40,812  | 41,458  |
| Desvio padrão       | 8,054   | 2,204   | 1,405   | 0,055   |
|                     |         |         |         |         |
| $E_f$ (GPa)         | 6,013   | 3,2     | 3,37    | 3,83    |
| Desvio padrão       | 0,67    | 0,076   | 0,129   | 0,0983  |
| $\sigma_{uf}$ (MPa) | 179,82  | 74,67   | 75,67   | 85,43   |
| Desvio padrão       | 15,4    | 2,445   | 3,507   | 1,87    |

(os resultados individuais dos provetes encontram-se no anexo I)

Em comparação com os compósitos reforçados com fibras de vidro, o desempenho das fibras de lã é substancialmente inferior, sendo que os melhores resultados obtidos com o compósito reforçado a lã apresentam as seguintes variações para os compósitos reforçados com vidro:

| Comparação de resultados |        |                |                            |
|--------------------------|--------|----------------|----------------------------|
| Material de reforço      | Lã     | Vidro          | (valores da resina)        |
| E (GPa)                  | 4,21   | 7,338 (+74%)   | 3,5                        |
| $\sigma_u$ (MPa)         | 41,458 | 128,87 (+210%) | 70/72 (tensão de rotura)   |
| $E_f$ (GPa)              | 3,83   | 6,013 (+57%)   | 3,4                        |
| $\sigma_{uf}$ (MPa)      | 85,43  | 179,82 (+110%) | 120/122 (Tensão de rotura) |

### 5.5.3.3 Interpretação de resultados

Os resultados obtidos comprovam uma melhoria dos resultados relativamente aos primeiros ensaios, onde não tinha tido lugar a secagem das fibras.

É interessante verificar que a diferença de resultados é substancialmente mais acentuada quando comparados os valores de tracção. Esta diferença é muito clara, se compararmos a variação de tensão à carga máxima.

Tanto em tracção como em flexão, o módulo de elasticidade é melhorado relativamente aos valores da resina pura (dados do fabricante) Relativamente à tensão de rotura, os valores obtidos pelo compósito epoxy/lã encontram-se ainda substancialmente abaixo dos valores da resina pura.

Os resultados obtidos apresentam, do ponto de vista da tensão de rotura, valores bastante próximos de outras fibras naturais, nomeadamente das fibras de cânhamo (sem tratamento) [19], o que indicia que poderemos estar perante um material com uma possibilidade interessante no que toca ao estudo das fibras de reforço para materiais compósitos, dado que o estudo do reforço com fibras animais está bastante menos explorado que o reforço com fibras vegetais.

## 5.5.4 Ensaios de Impacto

### 5.5.4.1 Parâmetros de ensaio

Os ensaios foram realizados numa máquina de ensaios Charpy para plásticos, no laboratório de ensaios mecânicos do INEGI.(figura 5.15)

Os provetes foram cortados com base na norma ISSO 179-1982 [33] (figura 5.16)



Figura 5.15  
*Ensaio de impacto*



Figura 5.16  
Provetes para ensaio de impacto

#### 5.5.4.2 Resultados experimentais

| Impacto                                 |         |         |         |         |        |
|-----------------------------------------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Placas                                  | P1M/P2M | P3M/P4M | P5M/P6M | P7M/P8M | Resina |
| U – Resiliência<br>(KJ/m <sup>2</sup> ) | 71,075  | 4,347   | 6,779   | 12,728  | 26/28  |

#### 5.5.4.3 Interpretação dos resultados

No que se refere à resiliência do compósito, esta é substancialmente mais baixa que a da resina (cerca de 50%), e enormemente mais baixa que a do compósito reforçado com fibras de vidro., apesar de resultados de outros estudos [24] indicarem o contrário.

Conclui-se com base neste estudo que os objectos a executar com este material não poderão estar sujeitos a impactos significativos, visto a sua capacidade de absorver energia ao impacto ser diminuta.

## 6 Princípio de produção de laminados sem impregnação das camadas exteriores



## 6.1 Introdução

O interesse, em momento anterior da investigação, de verificar que temperaturas as resinas atingiam durante a polimerização, bem como o tempo de trabalho que proporcionavam para a moldação, levou à necessidade de efectuar medições em gelltimer.

Para o efeito, foi preparada resina e foi submetida a uma análise de progresso térmico e de tempo de gel (momento em que a viscosidade da resina aumenta drasticamente)

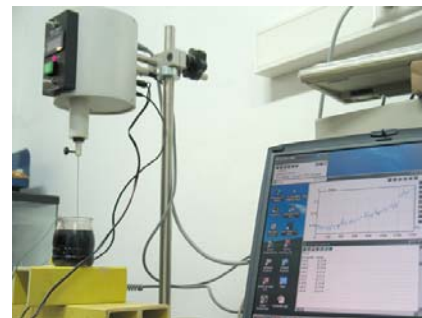


Figura 6.1  
Teste da resina em gelltimer

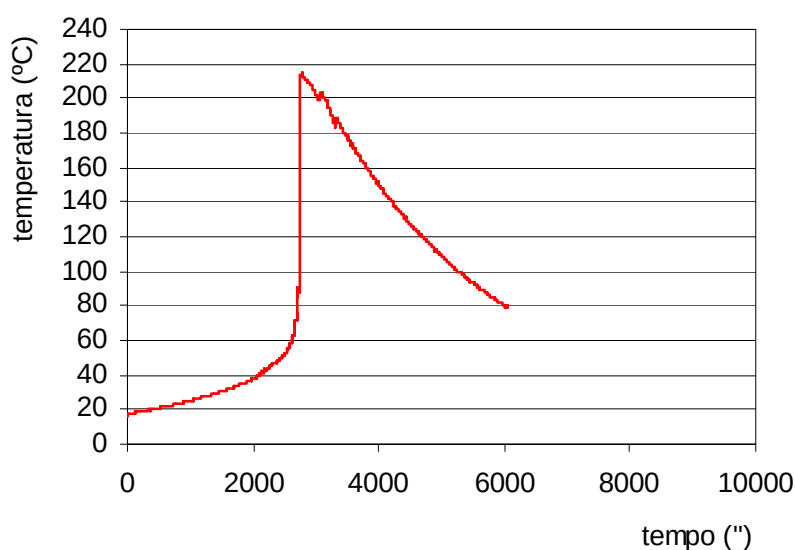


Figura 6.2  
Gráfico da evolução da temperatura da resina

Não havendo provetas normalizadas disponíveis, o teste foi efectuado num recipiente de vidro, visto os resultados pretendidos serem meramente indicativos.

Os dados recolhidos apontaram para um pico exotérmico de 214,5° e um tempo de gel de 46,42 minutos.[34]

Deste estudo, resulta um detalhe que se tornou fundamental para a sequência do trabalho: a grande quantidade de energia térmica libertada pela reacção de polimerização da resina.

Sendo a preocupação ecológica um dos pontos essenciais a qualquer reflexão contemporânea na área dos materiais, o que ressalta desta observação é o facto de haver um grande desperdício de energia quando deste tipo de reacção, da qual eventualmente se podia tirar algum proveito.

Surge então uma hipótese de solução para o objectivo tecnicamente mais complexo colocado no início deste trabalho, que consiste em produzir um laminado de polímero termoendurecível reforçado com fibras de lã, em que o objecto resultante mantenha as características tácteis das fibras de reforço.

## 6.2 Princípio

A questão acima referida pressupõe que não seja possível às camadas exteriores de reforço estarem em contacto com a resina, visto esta situação conduzir inevitavelmente à sua impregnação. Como tal, é incontornável a existência de uma barreira entre estas camadas e o laminado (visto ser também objectivo o objecto resultar apenas da moldação, sem passar por operações de revestimento posteriores).

O pico exotérmico verificado durante o processo de polimerização das resinas termoendurecíveis era claramente superior à temperatura de fusão da generalidade dos termoplásticos correntes.

Assim sendo, surge a ideia de intercalar um filme de termoplástico entre o laminado e a última camada de reforço. Este filme assumiria uma dupla função, em que serviria de barreira de forma a não permitir a impregnação da camada exterior de fibras, bem como, ao fundir por acção da temperatura produzida pela polimerização da resina, funcionaria como adesivo entre esta e o laminado. Ao mesmo tempo, a pressão exercida pelo molde sobre o laminado forçaria a ancoragem mecânica do revestimento ao termoplástico (figura 6.3).

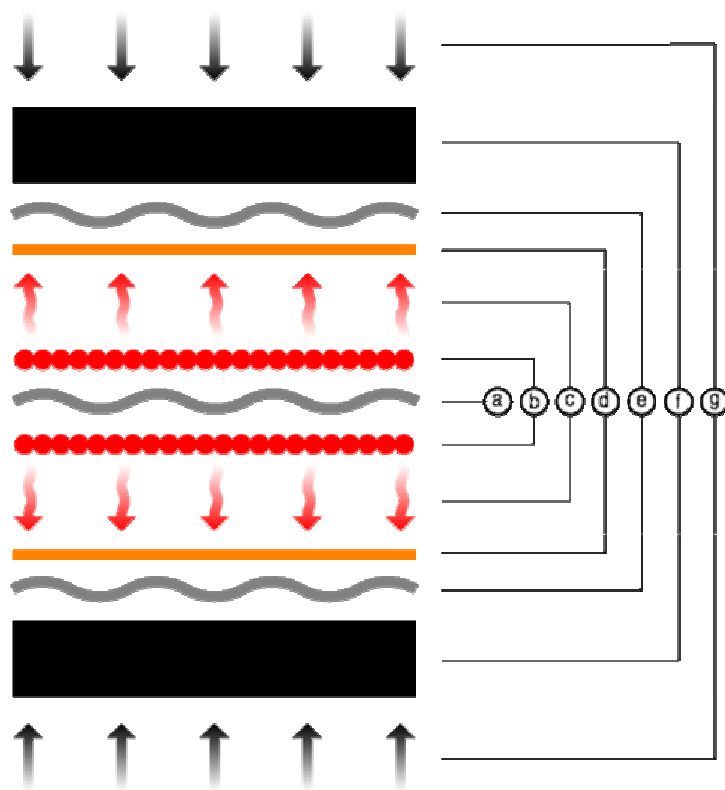


Figura 6.3  
Princípio da produção de laminados de matriz termoendurecível sem impregnação da camada exterior de reforço

- a. Reforço
- b. Resina termoendurecível
- c. Transmissão de calor
- d. Termoplástico
- e. Revestimento
- f. Molde
- g. Pressão

## 6.3 Procedimento experimental

Para validar o princípio proposto, é fundamental a verificação de duas situações:

1. Averiguar acerca da possibilidade de combinação de um termoendurecível com um termoplástico.

2. Verificar se em laminado a resina atinge um pico exotérmico que viabilize o princípio enunciado.

### 6.3.1 Combinação de polímeros termoendurecíveis e termoplásticos

Para verificar que polímero termoendurecível poderia combinar com a resina usada (no caso, uma resina epoxy Reapox 520), foram realizados alguns testes simples, que permitiriam dar algumas indicações relativamente a esta compatibilidade<sup>9</sup>. Foram seleccionados para esta experiência termoplásticos de uso corrente, que possam adquirir-se no mercado em filme ou placa, visto um dos objectivos do trabalho consistir em simplificar o mais possível a eventual produção de objectos baseados nesta tecnologia.

Assim, colocaram-se alguns recipientes em termoplástico (PP, PET, PE e PS) sobre uma placa de PU (de forma a garantir alguma conservação de temperatura)<sup>10</sup>. Posteriormente foi colocada no seu interior resina preparada segundo os dados técnicos do fabricante.

Após o tempo de cura recomendado à temperatura ambiente, procedeu-se a uma avaliação da adesão.

Verificou-se que nos casos dos 3 primeiros termoplásticos, a adesão era muito fraca, conseguindo-se com facilidade remover estes. No caso do PS, a adesão era muito satisfatória. Não foi possível remover o termoplástico, mesmo recorrendo a ferramentas de mão.

<sup>9</sup> Foi realizada uma primeira experiência em prensa de pratos quentes, onde se colocou uma placa de compósito e um pedaço de tecido intercalados por uma folha de PE. Apesar de após vários testes se ter conseguido uma perfeita adesão do termoplástico ao tecido, o mesmo não aconteceu com o compósito, pelo que se levantou a questão da compatibilidade entre polímeros. O PE voltou a ser testado com resina de forma a dissipar qualquer dúvida.

<sup>10</sup> Quando da definição do termoplástico a usar, procurou-se que este tivesse temperaturas de processamento baixas e fosse preferencialmente oriundo de produções sustentáveis. Foi identificado um termoplástico que reunia estas características, o BSR-100. Este termoplástico biodegradável, com temperatura de amolecimento na ordem dos 100° aparentava possuir as características necessárias à aplicação. No entanto, e apesar de várias tentativas, não foi possível contactar o representante deste material, pelo que esta hipótese foi colocada temporariamente de parte [37].

### 6.3.1.1 Caracterização do PS

Os Poliestirenos têm, de modo geral, boa estabilidade dimensional, baixa retracção na moldagem e possuem baixo custo de processamento. Têm no entanto baixa resistência às condições atmosféricas e são atacados quimicamente por óleos e solventes orgânicos [13]. Estas características servem, de um modo geral, para as eventuais aplicações que se poderiam prever para a tecnologia em questão, que se limitam numa primeira fase a objectos utilitários de uso doméstico.

Sabendo que para haver a possibilidade de criar uma ancoragem do revestimento ao termoplástico era imprescindível haver um amolecimento deste por efeito da temperatura, definiu-se que esta deveria estar acima da  $T_g$  ( $90^\circ$  a  $100^\circ$  [27]), de modo a haver alguma movimentação molecular, mas que deveria por outro lado estar abaixo da  $T_m$ , de forma a não provocar uma excessiva impregnação das fibras. Não se encontrando uma definição da  $T_m$  do PS, visto esta ser indefinida por se tratar de um polímero amorfo [27] [36], partiu-se da temperatura de processamento por injeção deste termoplástico, que varia habitualmente entre os  $160^\circ$  e os  $280^\circ$  [35]. Assim sendo, concluiu-se que para a utilização pretendida a temperatura de processamento deveria localizar-se aproximadamente entre os  $110^\circ$  e os  $150^\circ$ <sup>11</sup>.

Com base nestes dados, procedeu-se a algumas experiências que permitissem avaliar a conjugação de temperatura pressão e tempo necessários para uma boa adesão do tecido usado como reforço e revestimento ao termoplástico. Estas experiências consistiram em colocar na prensa de pratos quentes uma porção de tecido e uma placa de PS, sujeitos a diferentes temperaturas e tempos de aperto (a pressão usada foi sempre a pressão de fecho da prensa).

Esta análise permitiu verificar que o termoplástico, submetido a uma temperatura entre os  $140$  e os  $150^\circ\text{C}$  durante cerca de  $20'$  (em pressão), proporcionava uma adesão excelente ao tecido, pelo que se assumiram estes como os valores de processamento para as experiências seguintes.

<sup>11</sup> Pode fazer-se uma aproximação do intervalo de  $T_m$  partindo do princípio que a  $T_g$  representa aproximadamente  $2/3$  a  $1/2$  da  $T_m$ , do que resulta neste caso um intervalo de valores entre  $150^\circ$  e  $200^\circ$  [37].

## 6.4 Análise de temperatura do laminado



Figura 6.4  
Placa de compósito com termopar

A primeira fase dos testes consistiu em verificar se no laminado, o pico exotérmico se mantinha. Para tal, procedeu-se à execução de um laminado, em que se introduzia um termopar imediatamente antes da camada exterior de reforço. A impregnação das fibras foi feita até à antepenúltima camada, de forma a minimizar a impregnação da camada exterior (figura 6.4).

O resultado verificado (figura 6.5) indica que no laminado, o pico exotérmico atingido era substancialmente mais baixo que o verificado no ensaio em geltimer.

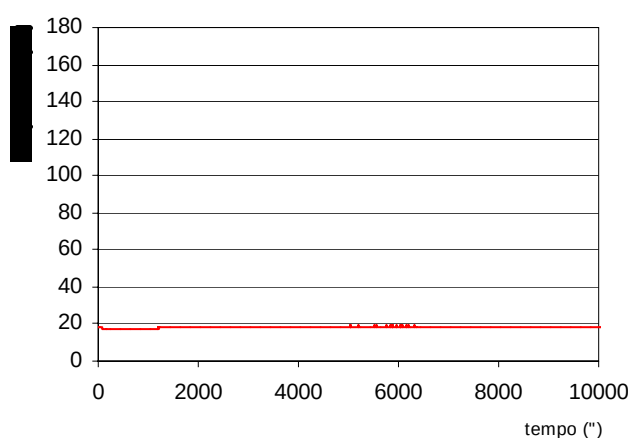


Figura 6.5  
Medição da temperatura de polimerização de uma resina num laminado

Desta observação, resultam duas hipóteses:

1. O elevado pico exotérmico só se verifica em situações de grande concentração de resina.
2. A dissipação de calor do laminado é demasiado significativa para permitir uma temperatura de polimerização elevada.

Sendo que a hipótese 1 significaria a anulação do princípio enunciado, procedeu-se à verificação da hipótese 2.

## 6.5 Controlo de temperatura do laminado

Para explorar a hipótese colocada, procedeu-se a novas medições de temperaturas de polimerização de laminados. Para o princípio ser validado, era necessário (como já foi referido), para além de atingir uma temperatura na ordem dos 140°C, manter esta temperatura no laminado durante aproximadamente 20', de modo a proporcionar a adesão do revestimento ao termoplástico. Tal implicava uma redução da dissipação de calor, que poderia ser controlada por um isolamento térmico do laminado durante a cura. Assim sendo, procedeu-se à colocação de uma placa de espuma de PU com 20mm de espessura em cada lado da placa de teste, procedendo no restante da mesma forma que foi enumerada na primeira experiência (figura 6.6).

Os resultados obtidos foram substancialmente mais interessantes, mas não eram ainda suficientes para o fim desejado (figura 6.7)



Figura 6.6  
Medição de temperatura numa placa isolada

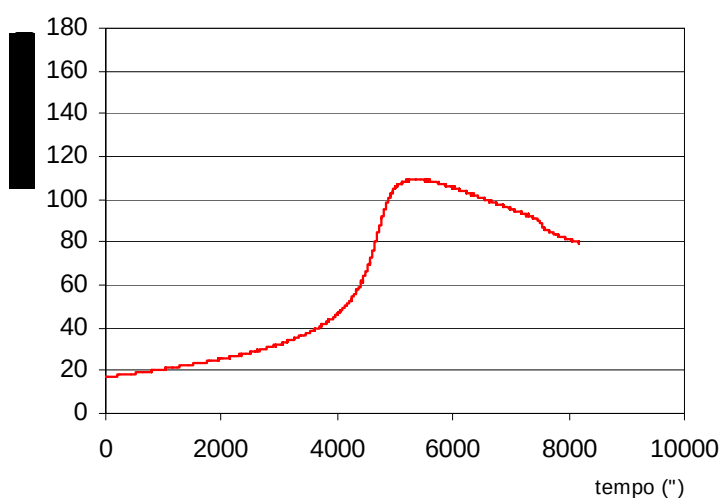


Figura 6.7  
Resultado da medição de temperatura num laminado isolado

Repetiu-se todo o processo aumentando a espessura do isolamento, visto que as placas em contraplacado usadas no aperto da moldação anterior estavam quentes, o que indicava que ainda existia alguma dissipação de calor. Por outro lado, o isolamento periférico era precário.

Optou-se desta vez por cortar numa placa de espuma de PU rígido com 8mm de espessura um quadrado com a dimensão da placa a obter (figura 6.8),

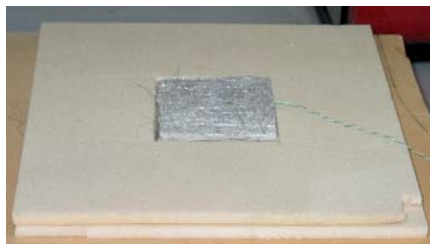


Figura 6.8  
Laminado isolado com termopar



Figura 6.9  
Medição da temperatura de um laminado isolado

sendo que a toda a volta deste deveriam sobrar 100mm de material, de forma a garantir um isolamento equivalente em toda a periferia do laminado. Colocou-se de seguida esta placa entre duas outras com 100mm de espessura para proceder a uma medição com isolamento maximizado. (figura 6.9).

Desta feita, o laminado atingiu uma temperatura acima dos 160°C (figura 6.10)

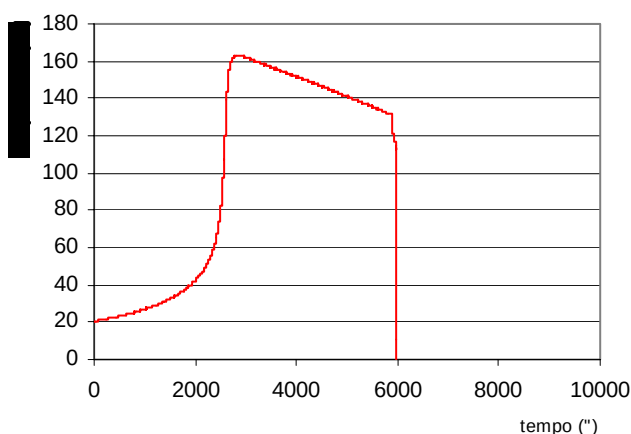


Figura 6.10  
Gráfico relativo à medição da temperatura de um laminado com isolamento maximizado

Os dados recolhidos permitiram ainda concluir que era possível manter a peça a uma temperatura superior a 120 durante mais de 1 hora, pelo que, em princípio, estariam reunidas as condições para a validação da hipótese colocada.

A percepção de que as temperaturas se situavam em valores superiores aos definidos inicialmente, indicava que se poderia reduzir a espessura do isolamento (o laminado esteve durante 43.5 minutos acima dos 140°). No entanto, e dado que neste caso havia uma quantidade de resina superior devido ao facto de não ter sido ainda colocado termoplástico e revestimento, decidiu-se prosseguir com as experiências de revestimento em moldes com a mesma espessura de isolamento.

## 7 Processo de produção de laminados sem impregnação das camadas exteriores



## 7.1 Procedimento experimental

Para verificar a aplicabilidade da técnica enumerada, procedeu-se à execução de várias placas revestidas, de modo a verificar se os princípios a que se tinha chegado se repetiam em várias tentativas. Se tal acontecesse, estaríamos em princípio perante uma técnica fiável quanto à obtenção de resultados.

Sendo nossa intenção caracterizar o compósito resultante quanto às suas aptidões mecânicas, era necessário garantir alguma uniformidade dimensional das placas, pelo que se partiu para a execução de um molde que permitisse este resultado.

## 7.2 Moldes

A primeira ideia foi construir um molde em que a zona de contacto com o material seria em compósito (vidro/poliéster), sendo o restante em espuma de PU rígida.

Numa primeira tentativa, procedeu-se à execução de um molde em MDF que serviria para executar as zonas de contacto em compósito. Este molde foi desenhado de forma a assegurar um canal de escoamento da resina excedente, bem como um macho que garantiria a precisão necessária quando da junção das duas partes (figura 7.1)

A ocorrência de um empeno significativo no molde, levou à necessidade de procurar outra solução, que passaria pela maquinagem de uma forma semelhante numa placa de compósito, produzida para o efeito ( figuras 7.2 e 7.3)

Posteriormente, foi construída uma caixa à volta da placa, sendo posteriormente cheia com espuma de PU, de forma a garantir o isolamento pretendido.

Feito o molde, passou-se à produção das primeiras placas, momento onde se identificou um problema com o molde. A temperatura verificada no interior quando da polimerização da resina encontrava-se claramente abaixo do pretendido (Figura 7.4), não tendo ultrapassado os 114°C.



Figura 7.1  
*Molde com gelcoat*



Figura 7.2  
*Produção de uma placa em compósito*



Figura 7.3  
*Maquinagem do molde*

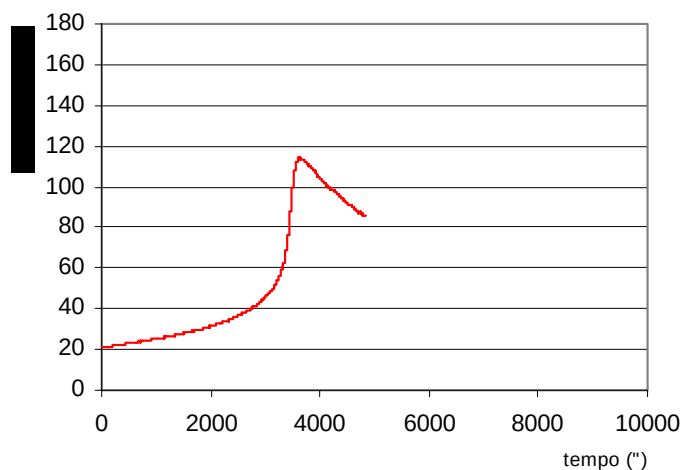


Figura 7.4  
Medição da temperatura do laminado no interior do molde

Concluiu-se que o compósito do molde em contacto com o laminado em produção, absorvia uma parte significativa da energia libertada por esta, pelo que estava também invalidada esta hipótese.

Assim sendo, voltou-se ao tipo de moldação experimentado na primeira fase de testes, em que o molde se resumia a uma placa de PU com a espessura pretendida, de onde se recortava uma secção com as dimensões do laminado pretendido, placa esta que após executada a moldação seria colocada entre duas outras com 100mm de espessura.

## 7.3 Processo de moldação de placas

Na sequência do estudo de comportamento mecânico de compósitos reforçados com fibras de lã, concluiu-se que era importante uma secagem das fibras antes do seu processamento. Por esta razão, os tecidos usados na produção das placas foram previamente secos em estufa durante 4 horas a uma temperatura de 105°.

O termoplástico utilizado foi um poliestireno de alto impacto, em película de 0,25mm de espessura, fornecido pela empresa “Norlene”

Para a moldação das placas de compósito revestidas, procedeu-se do seguinte modo:

1. Foi cortada, para cada laminado a fabricar, uma placa de PU rígido de 8mm de espessura com as dimensões de 400x400mm, no centro da qual se retirou um quadrado de 200x200mm.
2. Sobre um bloco de PU com 400x400x100mm, colocou-se um quadrado de filme desmoldante, centrado, com 300x300mm.
3. Colocou-se sobre o filme desmoldante a placa de 8mm, onde foi executada a moldação ( este filme serve apenas para prevenir algum excesso de resina, visto que a superfície do laminado, ao não ser impregnada, dispensa o uso de desmoldantes)
4. Coloca-se no fundo da cavidade um dos quadrados de tecido e sobre este um quadrado de termoplástico com as mesmas dimensões e em seguida outro quadrado de tecido.
5. Começa-se a partir deste momento a colocar camadas de tecido impregnadas em resina (a primeira camada de tecido imediatamente a seguir ao termoplástico, no sentido do interior do laminado, não é impregnada) até à última camada de reforço.
6. Colocou-se a última camada de reforço sobre o laminado, seguindo-se outra de termoplástico e finalmente a camada de revestimento.
7. Coloca-se por fim outro filme desmoldante sobre o laminado, seguindo-se o bloco de isolamento de 400x400x100mm.
8. Coloca-se o molde na prensa, que irá pressionar o molde com pressão de fecho.(figura 7.5)
9. Após uma hora, o laminado é desmoldado.(figura 7.6)



Figura 7.5  
Molde na prensa

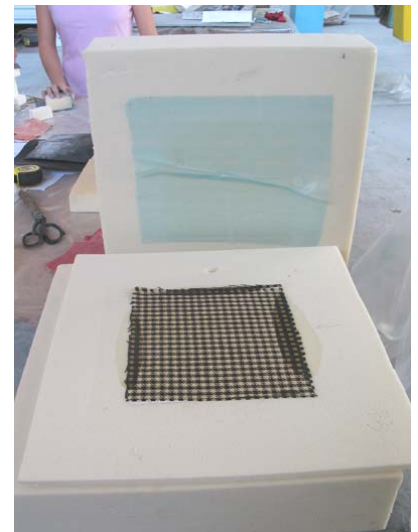


Figura 7.6  
Molde aberto após cura da resina

## 7.4 Conclusões

A primeira observação permite deduzir imediatamente o sucesso da experiência. Apesar de alguma resina ter impregnado lateralmente a superfície do laminado, nota-se que a adesão é perfeita e que se consegue corrigir este detalhe através do desenho do molde ou da colocação dos componentes do laminado.

Após ser cortada a parte da placa com revestimento impregnada, foi impossível separar o revestimento do laminado.

A superfície da placa mantém intacto o aspecto do material de revestimento, tendo sido a impregnação deste por parte do termoplástico a suficiente para uma eficaz adesão, sem no entanto ter alterado quaisquer das suas características visuais e tácteis.

O processo apresenta ainda a vantagem de dispensar o uso de desmoldantes visto que a resina nunca chega à superfície do molde, facto que só por si elimina uma operação do processo de laminados produzidos por contacto.

Por outro lado, este procedimento permitiu reduzir em pelo menos metade o tempo de endurecimento (cura) da resina, acelerado pela conservação da temperatura que a mesma libertou ao polimerizar.

Conclui-se assim que a técnica, para além de permitir produzir compósitos revestidos numa única operação, permite ainda aumentar significativamente a cadência de produção de laminados produzidos em moldação por contacto.

## 7.5 O processo “Moulded textile-backing” (MTB)

### 7.5.1 Introdução

Na sequência do desenvolvimento do processo descrito anteriormente, era importante procurar processos industriais eventualmente existentes que permitissem obter resultados semelhantes, de forma a poder analisar de forma crítica os resultados obtidos. Esta análise permitiria entender a pertinência desta técnica face às possibilidades tecnológicas existentes.

Foi então identificada uma tecnologia com essas características, que dá pelo nome de “Moulded textile backing”

### 7.5.2 Processo MTB [38]

O processo MTB, (injecção a baixa pressão sobre tecido) torna possível a produção de peças em termoplástico revestidas numa única operação.

Este processo produtivo é cada vez mais usado em componentes para a indústria automóvel, como por exemplo forros interiores de portas, porta-bagagens, chapeleiras, etc.

Para além da indústria automóvel, esta tecnologia pode ser aplicada em inúmeras outras situações produtivas, como sejam a indústria do mobiliário, arquitectura interior, etc.

São várias as vantagens deste processo:

- Melhor acabamento das superfícies
- Apenas dois tipos de material, visto ser desnecessário o uso de colas para unir o revestimento ao suporte
- Menores custos de produção relativamente a um processo de laminagem convencional, devido à eliminação de operações na cadeia produtiva.
- Processo de reciclagem simplificado, pelo facto de haver menos um material no laminado (cola)



Figura 7.7  
Componente produzido por MTB

### 7.5.3 Processo

1. O revestimento têxtil a ser aplicado é colocado no interior do molde aberto.
2. O molde é fechado, e é injectado termoplástico (usualmente PP) contra a face posterior do tecido, à pressão mais baixa possível, de modo a garantir um contacto perfeito do tecido com a cavidade do molde.
3. Terminado o ciclo de arrefecimento, o molde é aberto e a peça é retirada, já semi-acabada (figura 7.8).
4. A peça é seguidamente colocada numa prensa onde um cortante com a forma do desenho final desta permitirá retirar o excesso de material resultante da operação de moldação. A peça está então pronta a ser colocada no seu lugar definitivo.



Figura 7.8  
Peça semi-acabada

## 7.5.4 Moldes

O centro desta tecnologia é o molde. Este deve estar apto a permitir a introdução do revestimento, têxtil ou não.

Tal é feito por meio de agulhas, por exemplo, organizadas no molde de modo a permitir a deformação do tecido no sentido deste se adaptar à cavidade do molde quando do seu fecho.

No processo MTB, o polímero deve ser introduzido na cavidade do molde sem haver contacto desta com a periferia do revestimento, e ao mesmo tempo ser assegurada uma baixa pressão média no interior. Dependendo do tecido, a pressão no interior da cavidade do molde não poderá exceder 50 a 100 bar. De modo a obter pressões interiores baixas, é necessário reduzir o distância do fluxo de resina. Para tal, é necessária a existência de vários injectores. Quando a resina é injectada simultaneamente através de vários injectores, as frentes dos fluxos juntam-se entre os injectores. Nos locais onde as diferentes frentes de fluxo encontram as outras, provenientes de diversas direcções, a flexibilidade do tecido faz com que haja tendência ao aparecimento de vincos, ou outros defeitos de superfície. Para prevenir este fenómeno, a cavidade do molde é preenchida através de uma activação sequencial dos injectores, de forma ao segundo injector não ser activado antes da chegada à sua proximidade da frente de fluxo de polímero injectado pelo primeiro. Desta forma, evitam-se mudanças de direcção dos fluxos durante o processo de enchimento do molde. Assim, a formação de vincos, que de outra forma pode ocorrer nas linhas de união, não acontece.

Este enchimento sequencial é também conhecido por “cascade control”.

Para componentes de grandes dimensões, são usadas técnicas de injeção-compressão. Neste processo, um determinado volume de plástico é injectado num molde aberto ou parcialmente aberto, sendo posteriormente distribuído por toda a área do molde por compressão. Esta técnica permite o preenchimento do molde com uma pressão interna extremamente baixa.

Com técnicas de revestimento convencionais é possível proceder ao revestimento completo de uma peça. Apesar da tecnologia actual o permitir, o revestimento integral não é usualmente executado pelo processo MTB.

Para a maioria das aplicações, um desenho adequado da peça permite dispensar o seu revestimento integral. No entanto, se tal facto se mostra

imperativo, procede-se a uma operação posterior de acabamento numa peça parcialmente revestida por MTB.

### 7.5.5 Máquinas de injeção

O processo MTB pode ser implementado em vários tipos de máquinas de injeção, desde que algumas características especiais se verifiquem.

Na máquina de injeção, deve prestar-se especial atenção com o controlo sequencial dos injectores, que devem poder ser accionados de forma independente, através desta. Deste modo, fica assegurada a possibilidade de distribuir uniformemente e a baixa pressão o polímero na cavidade do molde.

É também necessário um mecanismo de fecho do molde lento e sensível. Tal é fundamental especialmente em moldes de cavidades profundas, de forma a moldar correctamente o tecido ao ser empurrado durante o movimento de fecho

O objectivo é atingir pressões reduzidas na cavidade, de modo a evitar o dano ou a impregnação do material de revestimento. Por outro lado, tal permite uma menor pressão de fecho do molde relativamente aos processos de injeção convencionais.

### 7.5.6 Automação

A automação do processo desde a preparação do revestimento à desmoldagem da peça é de grande importância no processo MTB, e pode resumir-se do seguinte modo:

1. O rolo de tecido é colocado na máquina
2. O tecido é automaticamente cortado nas dimensões desejadas
3. O tecido é agarrado por uma pinça
4. O tecido é transferido para o molde e fixo neste através de cavilhas
5. A peça já feita no molde é retirada (está presa à outra metade do molde) e colocada num tapete de transporte.
6. O molde fecha. Em moldes de cavidade profunda, esta operação adapta logo o tecido à cavidade.

7. O polímero é injectado sequencialmente e a baixa pressão.
8. Findo o ciclo de arrefecimento, o molde abre e o ciclo recomeça.

### 7.5.7 Tecidos de revestimento

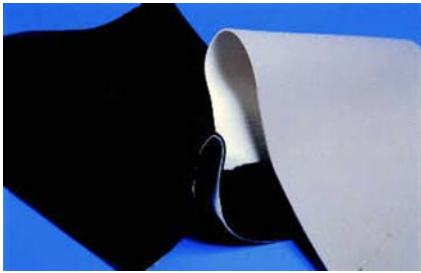


Figura 7.9  
*Tecidos usados no processo MTB*

Os tecidos usados neste processo são especialmente concebidos de forma a evitar a impregnação da face exterior da peça. Apesar da pressão no interior do molde ser baixa em comparação com as pressões usadas na generalidade dos processos de injeção, esta é suficientemente elevada para impregnar o tecido, se este não for adequado. Assim, os tecidos usados têm um não-tecido no lado que vai aderir à peça - que vai ser parcialmente impregnado - evitando assim que o termoplástico atinja a camada exterior. (figura 7.9)

### 7.5.8 Geometria das peças

Apesar dos materiais de revestimento usados serem concebidos de forma a terem uma elasticidade adequada à sua perfeita adaptação às formas da cavidade do molde, a geometria das peças é fundamental a um bom acabamento. As peças devem ser portanto desenhadas de forma a não proporcionar o aparecimento de rugas no revestimento, evitando geometrias em que o plano de tecido não possa fazer uma cobertura uniforme (superfícies esféricas, por exemplo).

### 7.5.9 Comparação do processo desenvolvido com o processo MTB

|                           | PRsICE                 | MTB           |
|---------------------------|------------------------|---------------|
| Investimento              | Baixo                  | Elevado       |
| Moldes                    | PU (ou outro isolante) | Aço           |
| Enchimento do molde       | Manual                 | Automático    |
| Tiragem                   | Pequena                | Grande        |
| Têxtil de revestimento    | Qualquer               | Especial      |
| Cadência de produção      | Baixa                  | Elevada       |
| Consumo energético        | Nulo                   | Elevado       |
| Polímero usado            | Termoendurecível       | Termoplástico |
| Ancoragem do revestimento | Muito boa              | Boa           |
| Adesivo                   | Poliestireno           | Não tem       |
| Nº de componentes         | 3                      | 2             |
| Dimensões das peças       | Qualquer               | Limitadas     |

Comparando a técnica desenvolvida com o MTB, estamos perante duas possibilidades produtivas que se colocam em situações de produção claramente distintas. Se por um lado, o MTB é muito mais eficaz em grandes séries, o grande investimento associado à sua implementação implica uma utilização dedicada à produção massiva.

No caso da técnica desenvolvida, poderão ser efectuadas - sem custos significativos de implementação tecnológica - pequenas séries para servir produções artesanais ou até para a execução de protótipos.

Visto o processo permitir o fabrico de peças de grandes dimensões, poderá ser usado em indústrias que fabriquem componentes em compósito de matriz termoendurecível revestidos, como por exemplo nos transportes públicos (tabliers de autocarros, painéis de revestimento, etc.), ou na indústria da construção civil, no fabrico de painéis decorativos, resguardos, etc.

Outra questão importante e vantajosa desta tecnologia são os moldes usados, em espuma de PU, que pelo seu baixo custo e facilidade de processamento tornam esta técnica muito acessível, tanto ao nível do custo de implementação como do know-how necessário à sua execução. O facto do

compósito ser revestido, e no caso de se tratar de peças sem grandes exigências mecânicas ou dimensionais (tolerâncias de espessura de 1 ou 2mm, por exemplo), faz com que a qualidade de acabamento superficial da concavidade do molde não seja relevante, ao contrário do MTB, o que beneficia a velocidade da sua execução e facilita o seu fabrico.

## 7.6 Comparação da ancoragem entre os processos

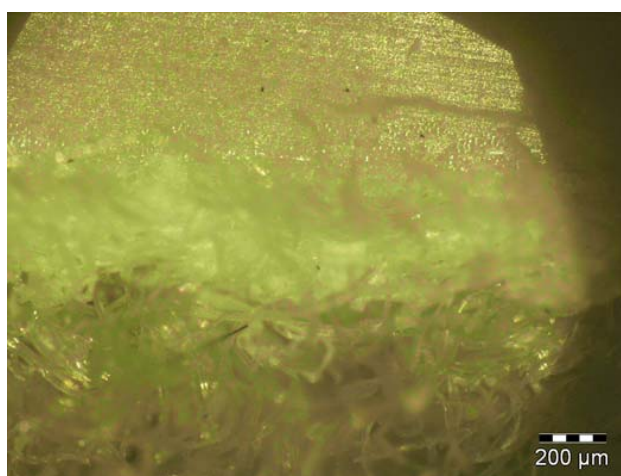


Figura 7.9  
*Ampliação da zona de ancoragem de uma peça obtida pelo processo MTB*

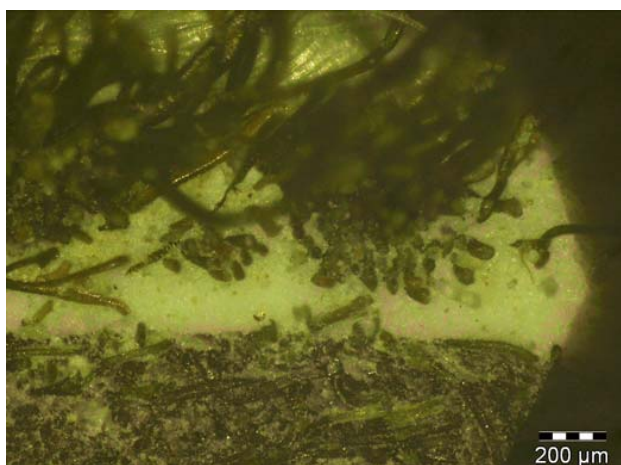


Figura 7.10  
*Ampliação da zona de ancoragem de uma peça obtida pelo processo desenvolvido*

Observadas ao microscópio óptico com uma ampliação de 75x, nota-se que em ambos os casos estamos na presença de uma boa ligação do revestimento à peça. No primeiro caso, o não-tecido utilizado no MTB é responsável por uma boa impregnação do polímero, sem no entanto deixar este impregnar o tecido exterior. No caso do processo de revestimento desenvolvido a ancoragem (mecânica) dá-se ao nível do revestimento exterior, o que apresenta a vantagem de garantir uma fixação mais eficaz deste. Pode ainda observar-se que parte das fibras de reforço, pelo facto do laminado ser produzido ao mesmo tempo que é revestido, acabam por ficar também impregnadas no termoplástico. Este facto garante uma fixação ainda mais eficaz do revestimento, visto que o termoplástico fica mecanicamente ancorado a este e ao reforço, que é também impregnado pelo termoendurecível, o que cria uma ligação extremamente eficaz entre as diferentes partes. O termoplástico cumpre assim a sua função de “barreira” que evita a impregnação da camada exterior, liga as fibras interiores com as exteriores e liga-se quimicamente ao termoendurecível.

No primeiro caso, como a fixação da camada exterior é feita através do interface em não-tecido, é muito fácil arrancar esta, o que faz com que se possa soltar com o uso prolongado da peça.

Assim sendo, e apesar do método de produção ser bastante mais rudimentar, a técnica desenvolvida apresenta uma fixação mais eficaz do revestimento à peça, para além de não requerer um tecido especial.



## 8 Caracterização mecânica de laminados com camada exterior não impregnada



## 8.1 Ensaios de tracção e flexão

### 8.1.1 Introdução

Apesar de já terem sido efectuados ensaios aos compósitos reforçados com fibras de lã, o facto da secção efectiva de compósito com matriz termoendurecível ser reduzida em percentagem de secção devido à presença da película de termoplástico e do revestimento, implicava verificar se tal facto iria alterar as características mecânicas do material. Era também importante perceber, se a existência do termoplástico iria alterar significativamente as características do material, do ponto de vista do seu desempenho. Era ainda importante verificar se o facto do compósito permanecer a elevada temperatura durante a polimerização poderia degradar ou não as suas propriedades.

### 8.1.2 Procedimento experimental

Foram realizadas placas de compósito revestido, com base no procedimento de fabrico exposto no capítulo 8. As placas foram fabricadas segundo as seguintes constituições:

| <b>Placas</b>        |           |           |           |           |           |           |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Nome                 | <b>P1</b> | <b>P2</b> | <b>P3</b> | <b>P4</b> | <b>P6</b> | <b>P7</b> |
| Reforço              | Tecido    | Tecido    | Tecido    | Tecido    | Vidro     | Tecido    |
| nºcamadas            | 4         | 5         | 6         | 6         | 12        | 8         |
| Revestimento (faces) | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 0         |
| %fibras              | 29        | 30        | 36        | 38,6      | 52,5      | 34,56     |

No caso das placas reforçadas com tecido, o revestimento foi incluído na percentagem de fibras, pelo que as placas P3, P4 e P7 dispõem efectivamente da mesma quantidade de camadas (daí a explicação para uma menor percentagem de fibras na placa P7, apesar da quantidade de reforço

mencionada ser maior). Entenda-se aqui reforço como o nº de camadas efectivamente impregnadas pela matriz termoendurecível.

Tendo a placa P6 sido reforçada com fibra de vidro numa quantidade excessiva, os dados obtidos são meramente indicativos, não podendo ser utilizados numa comparação directa de desempenho. Neste caso, o tecido de revestimento não foi incluído na percentagem das fibras de reforço, pelo que a quantidade efectiva de fibras é superior à indicada.

Após o corte dos provetes, estes foram mantidos em estufa a uma temperatura e humidade constantes, de 22º e 55% respectivamente.

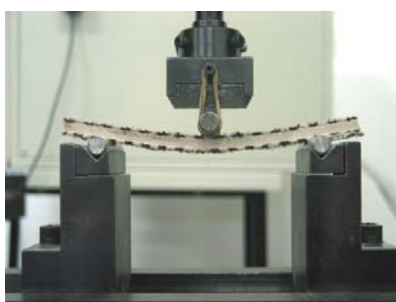


Figura 8.1  
Ensaio de flexão de um provete em vidro-poliéster revestido

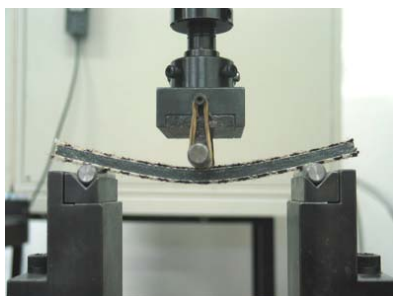


Figura 8.2  
Ensaio de flexão de um provete em lâ-epoxy revestido



Figura 8.3  
Ensaio de tracção de um provete em lâ-epoxy revestido

### 8.1.3 Parâmetros do ensaio de tracção e flexão

OS ensaios foram realizados numa máquina de ensaios universal *INSTRON 4208*, tendo sido utilizado nos ensaios de tracção um extensómetro *INSTRON 2630 – 036*. Foi utilizada uma célula de carga de 10KN.

Sendo normalizada, a velocidade usada para calcular o módulo de elasticidade à tracção e a tensão à carga máxima foi de 2mm/min.

### 8.1.4 Resultados experimentais

Dos ensaios realizados, foram obtidos os seguintes resultados:

| Tracção e flexão                            |        |        |       |        |        |       |
|---------------------------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| Placas                                      | P1     | P2     | P3    | P4     | P6     | P7    |
| <b>E (GPa)</b>                              | 2,656  | 2,706  | 3,018 | 3,1    | 10,42  | 3,612 |
| Desvio padrão                               | 0,0876 | 0,1762 | 0,069 | 0,07   | 0,16   | 0,043 |
| <b><math>\sigma_u</math> (MPa)</b>          | 27,233 | 29,213 | 30,04 | 37,183 | 193,75 | 39,25 |
| Desvio padrão                               | 1,7464 | 2,07   | 3,54  | 0,63   | 9,43   | 2,96  |
|                                             |        |        |       |        |        |       |
| <b>E - flexão (GPa)</b>                     | 1,339  | 1,39   | 1,519 | 1,557  | 4,6    | 2,84  |
| Desvio padrão                               | 0,118  | 0,018  | 0,027 | 0,204  | 0,26   | 0,085 |
| <b><math>\sigma_u</math> - flexão (MPa)</b> | 42,053 | 45,419 | 52,2  | 51,427 | 157,3  | 65,23 |
| Desvio padrão                               | 1,145  | 0,896  | 0,987 | 6,515  | 17,3   | 3,36  |

## 8.2 Rotura do compósito revestido

Quando do ensaio de tracção, verificou-se que a zona do compósito de matriz termoendurecível sofreu uma rotura frágil, em que foi acompanhada pelo termoplástico. No entanto, essa rotura não se estendeu à totalidade do revestimento, o que permite concluir que estamos em presença de uma boa adesão termoplástico/compósito. No caso do revestimento, o facto de parte das fibras não estarem ancoradas ao termoplástico, faz com que estas funcionem como retardador da rotura total, o que em caso de rotura por impacto, permitirá evitar o estilhaçamento do objecto.



Figura 8.4  
*Rotura de um provete revestido*

## 8.3 Interpretação dos resultados

Relativamente aos ensaios realizados em placas sem reforço, nota-se algum decréscimo das características mecânicas do compósito, facto que é mais notório relativamente aos resultados em flexão. Em tracção, comparando com, os resultados obtidos anteriormente, o resultado é próximo do obtido nos outros ensaios, quando comparamos placas com uma percentagem de fibras semelhante. Este resultado pode ter a ver com o dimensionamento da secção resistente do provete, em que neste caso foi tido em conta a espessura total, incluindo revestimento. Tal significa que se considerou a secção do compósito acima da sua dimensão real em cerca de 10%, o que vai forçosamente influenciar o cálculo dos resultados.

Por outro lado, sendo acelerada a reacção de polimerização relativamente a uma moldação convencional e dado que, como foi referido anteriormente, a impregnação das fibras não é fácil, pode dar-se o caso de a impregnação das fibras ser inferior a uma moldação normal, visto o tempo de contacto com a resina em estado mais viscoso ser menor.

Este facto poderá também explicar o inferior desempenho do compósito quando solicitado a esforços de flexão, visto que neste caso específico a interface fibra-matriz ser mais influente que em tracção (devido às tensões de

corte provocadas entre camadas, que deformam segundo um raio de curvatura diferente, ao contrário da tracção, em que a deformação é uniformemente distribuída pelas diferentes camadas do laminado)

## 8.4 Caracterização da adesão do revestimento ao compósito.

Para a caracterização da adesão do revestimento ao compósito, foi efectuado um ensaio de arrancamento e uma análise em microscopia óptica.

### 8.4.1 Ensaio de arrancamento

#### 8.4.1.1 Parâmetros do ensaio

Os ensaios foram realizados numa máquina de ensaios universal *INSTRON 4208*, segundo a norma ASTM D3167 [39]. Foi utilizada uma célula de carga de 1kN.

#### 8.4.1.2 Resultados experimentais

O ensaio comprovou a impossibilidade de se efectuar o arrancamento deste tipo de revestimento, visto haver uma cedência das fibras originando a rotura do tecido de revestimento junto ao local onde estas começam a agregar-se ao termoplástico. Tal indica que, para este tipo de revestimento, o tipo de colagem é adequado.



Figura 8.5  
Ensaio de arrancamento

### 8.4.2 Análise da ancoragem em microscopia óptica

A análise da ancoragem em microscopia óptica foi efectuada nas instalações do CETECOFF, com a ajuda de um microscópio óptico OLYMPUS (figuras 8.6 e 8.7).

Os resultados desta análise, por uma questão de organização, são apresentados no capítulo anterior, pelo que não são aqui mencionados.



Figura 8.6  
*Análise do provete ao microscópio*



Figura 8.7  
*Sistema de microscopia óptica*



## 9 Fabrico de uma peça revestida



## 9.1 Introdução

Apesar de verificada a eficácia da técnica desenvolvida no revestimento de peças de dimensão reduzida, era imperativo experimentar esta na elaboração de uma peça de maiores dimensões, de forma a avaliar a sua pertinência para a generalidade das aplicações.

Sendo uma das vantagens desta técnica o facto do revestimento ser colocado no molde ao mesmo tempo que a resina e o reforço, uma superfície de revestimento que ultrapasse as dimensões do molde permitirá obter uma peça com zonas rígidas e zonas flexíveis. Esta ideia permite explorar possibilidades interessantes, como peças rígidas que se embrulham nelas próprias, mantas com zonas rígidas que criam uma superfície utilizável como mesa, etc.

Tendo sido desenvolvido o trabalho com uma unidade fabril dedicada em boa parte à produção de mantas e cobertores, pareceu interessante explorar conceitos que dessem outros tipos de uso a estes artigos, sem no entanto os descaracterizar. Este era o motivo central deste trabalho.

## 9.2 Desenvolvimento da peça

A peça a executar deveria possuir as seguintes características:

- Ser um objecto utilitário;
- Manter no essencial as características dos artigos produzidos na unidade fabril, nomeadamente ao nível do toque, acabamento, cor, etc;
- Apresentar características diferenciadoras em comparação a outros artigos existentes com utilidade semelhante;
- Ter em conta a produção actual da empresa, tirando o máximo proveito possível dessa produção (i.e., não acarretar numa alteração das práticas produtivas actuais, mas sim tirar proveito destas);
- Aproveitar as vantagens oferecidas pela técnica desenvolvida, nomeadamente a possibilidade de “tridimensionalizar” um objecto bidimensional e obter num mesmo objecto zonas rígidas e flexíveis;
- Requerer o menor número possível de partes por molde;

- Requerer o menor número possível de peças, no caso de um objecto mais complexo (tirando assim partido de uma das características fundamentais dos compósitos);
- Originar poucos ou de preferência nenhuns desperdícios de material quando do fabrico;
- Possuir uma forma que permita um armazenamento e transporte otimizados;
- Ser confortável quanto ao uso específico;
- Utilizar para reforço uma percentagem elevada ou até total de fibras de lã.

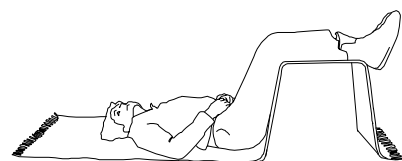


Figura 9.1



Figura 9.2

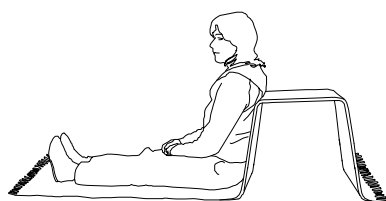


Figura 9.3



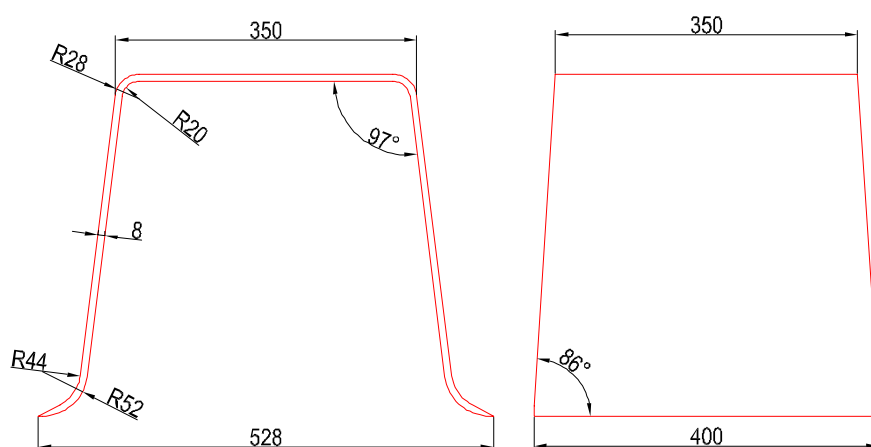
Figura 9.4

Com base nestas intenções, desenvolveu-se uma peça que pode ser usada como banco, esteira com encosto (figuras 9.3 e 9.4), acessório para a prática de exercício físico (figuras 9.1 e 9.2), suporte para pés com cobertor incorporado (figura 9.5). Pela sua configuração, o objecto facilita todas estas operações visto o banco estar ligado à manta.

O objecto remete claramente para os artigos produzidos na unidade fabril, para além de manter e aproveitar as características de conforto táctil e térmico destes, dando a ideia de uma manta que em determinado ponto se eleva do seu plano natural para formar um banco.



Figura 9.5



## 9.3 Produção da peça

Para a produção da peça, foi necessário fabricar um molde adequado à verificação da viabilidade da técnica de revestimento.

O molde foi executado com base nas dimensões da peça (na sequência da experimentação anterior, concluiu-se que era necessário o uso de uma espessura de isolamento de cerca de 100mm sobre toda a superfície da peça), o que resultou num bloco cúbico com 700mm de aresta.

Neste bloco, foi necessário cortar o perfil da peça. A dificuldade do processo prendia-se com o facto de, do mesmo bloco, serem retirados o molde, contra molde e o perfil da peça, que iria servir para definir a espessura desta no processo de fabrico. Tal implicava a necessidade de um corte preciso, executado numa única operação e que não levasse à necessidade de acabamento das várias partes.

Para este efeito, recorreu-se a uma máquina existente na empresa “Polirígido”, em que o corte é feito através de um fio abrasivo guiado por um pantógrafo. Esta tecnologia permite proceder a um corte relativamente preciso e constante em toda a espessura do bloco, sem um desperdício significativo de material que poderia comprometer o rigor dimensional nas curvas (o corte tem uma espessura de 3mm)

Numa primeira fase, foi fabricada uma matriz que serviria para guiar o pantógrafo da máquina de corte (figura 9.6).

Seguidamente, procedeu-se à fixação da matriz na máquina, de modo a ser efectuado o corte guiado pelo pantógrafo (figuras 9.7, 9.8 e 9.9).

A peça central obtida teria ainda de sofrer uma intervenção de corte, de modo a definir a forma final do objecto a fabricar (figura 9.10 e 9.11).

Procedeu-se em seguida à colocação do revestimento sobre a parte interior do molde e do contra molde, e sobre este foi colocada a folha de poliestireno (figura 9.12).

De forma a evitar a perda da peça central, esta foi revestida com filme desmoldante<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Nesta zona, o molde entra em contacto com a resina visto ser por aqui que se dá a saída do excesso desta. De modo a simplificar a operação de fabrico, esta peça deverá ser produzida noutro material que permita várias utilizações, como a silicone. Neste caso, e sendo a peça em poliuretano, um contacto com a resina levaria à destruição desta, visto ficar presa à peça.

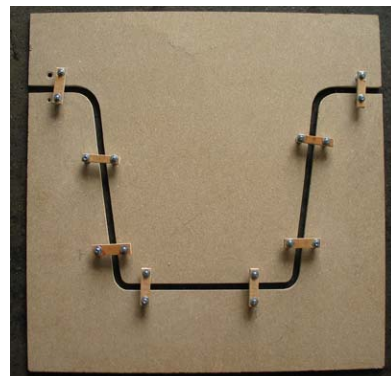


Figura 9.6  
Matriz para o pantógrafo



Figura 9.7  
Bloco e matriz na máquina de corte



Figura 9.8  
Bloco a ser cortado



Figura 9.9  
Bloco cortado



Figura 9.10  
Partes do molde separadas



Figura 9.11  
Molde



Figura 9.12  
Molde com revestimento e termoplástico



Figura 9.13  
Peça resultante da primeira experiência



Figura 9.14  
Interior da peça

Cortaram-se em seguida as mantas de reforço (em lâ), com a forma da peça a produzir. Estas foram previamente submetidas a um tratamento de secagem (4h a 105°C)

Seguiu-se a produção do laminado no interior do molde. Para o efeito, foi utilizada resina epoxy “Reapox 520”.

Apesar da facilidade de impregnação verificada no reforço, o tempo de duração da operação levou a um início da reacção de polimerização antes da conclusão do laminado. O facto de a peça estar a ser produzida sobre um material isolante levou a que esta reacção fosse mais rápida que o normal<sup>13</sup>, o que impossibilitou a conclusão da peça. As bolsas de gás criadas no interior do laminado devido à reacção acelerada impediram o fecho do molde (figura 9.13).

Apesar do aparente insucesso da experiência, aguardou-se até à cura completa da resina para verificar o estado da face inferior da peça. Ao desmoldar, verificou-se que em grande parte da superfície da peça estava devidamente revestida, apesar de não se ter exercido a pressão necessária à impregnação parcial do tecido de revestimento no termoplástico (figura 9.14).

O resultado indica portanto a viabilidade do princípio enumerado para o revestimento de peças de grandes dimensões, sendo no entanto necessária a definição de um processo produtivo eficaz.

Uma das possibilidades a explorar será a impregnação das camadas de reforço fora do molde, de forma a diminuir o volume de resina<sup>14</sup>.

De forma a reduzir o peso da peça e melhorar o seu comportamento, poder-se-á ainda produzir a peça em sanduíche, colocando no núcleo do laminado uma camada de outro material como aglomerado de cortiça.

Ainda relativamente à peça produzida, é de notar que uma parte do peso final desta pode ser retirado se for usado um tecido essencialmente unidireccional. Esta opção permitirá incrementar as qualidades mecânicas do objecto para a mesma percentagem de reforço, visto que as solicitações a que esta está sujeita serem essencialmente de flexão, no sentido longitudinal (facto também condicionado pela forma). Assim sendo, é desnecessária a procura de um comportamento isotrópico, e dispensável uma boa parte dos reforços existentes na perpendicular.

<sup>13</sup> Ao começar a reagir a resina que impregnava a primeira camada, a temperatura libertada acelerou a polimerização das camadas superiores, levando a que fossem colocadas apenas metade das camadas de reforço previstas.

<sup>14</sup> Ao longo das várias experiências efectuadas, verificou-se que o tempo de reacção varia com a quantidade de resina utilizada. Assim, quanto menor o volume de resina usada, menor é a velocidade de reacção. Para dar um exemplo, num copo cheio de resina a reacção é muito mais rápida que num tecido impregnado.

# 10 Conclusões



## 10.1 Análise crítica dos resultados

Perante o desafio assumido, os resultados obtidos são francamente animadores no sentido do cumprimento do grande objectivo deste trabalho: demonstrar ser possível sem interferir na normal produção das unidades de fabrico artesanais, aumentar a capacidade de estas unidades inovarem quanto à sua oferta de produtos.

De forma geral, foram atingidos os objectivos colocados no início do trabalho, e até ultrapassados no que se refere ao proveito que foi tirado da tecnologia dos materiais compósitos. O facto de se ter desenvolvido uma tecnologia de produção nova, aparece como um acréscimo enriquecedor deste trabalho, acabando por constituir a determinado momento o motivo mais empolgante e central desta investigação.

Do ponto de vista de caracterização dos compósitos reforçados com fibras de lã, o estudo ficou no entanto pouco aprofundado, sendo fundamental continuar esta investigação, nomeadamente no que diz respeito a uma caracterização aprofundada das fibras de lã, e da sua compatibilidade com materiais poliméricos. Os resultados obtidos, apesar de satisfazerem os objectivos deste trabalho, são no entanto (para já) pouco interessantes no que diz respeito às fibras de lã como reforço de materiais compósitos.

O facto de não se ter obtido no tempo útil deste trabalho uma peça funcional, aparece como o aspecto menos positivo em termos de satisfação pessoal. Constitui-se no entanto como um estímulo à continuidade deste projecto.

É também importante prosseguir a investigação de materiais compósitos que recorram a matrizes poliméricas oriundas de produtos não poluentes, renováveis e biodegradáveis.

## 10.2 Recomendações para trabalhos futuros

Na sequência das questões que emergiram com este trabalho, impõe-se um estudo mais aprofundado de compósitos reforçados com fibras de lã, nomeadamente:

- Caracterização mecânica das fibras
- Desenvolvimento de procedimentos de libertação das impurezas das fibras (limpeza)
- Caracterização e melhoramento da adesão na interface fibra-matriz
- Análise da combinação das fibras de lã com outros polímeros termoendurecíveis e com polímeros termoplásticos, dando prioridade aos biopolímeros de forma a obter compósitos menos nocivos ao ambiente, quer pela sua origem quer pelo seu impacto ambiental no final do ciclo de vida.
- Análise de eventuais tratamentos que melhorem as características mecânicas da fibra, bem como a sua compatibilidade com outros materiais.

Relativamente à tecnologia anunciada neste trabalho, é necessário:

- Optimização da tecnologia no que respeita à moldação de formas mais complexas
- Substituição do isolamento em PU por outro menos nocivo para o ambiente
- Experimentação da técnica com resinas oriundas de fontes renováveis
- Melhoramento das características mecânicas dos moldes, através do reforço da concavidade, por exemplo, de forma a aumentar o número de peças exequíveis utilizando o mesmo molde.
- Adaptação da técnica a outras tecnologias de produção, como o RTM ou a pultrusão (para a produção de perfis revestidos a tecido ou madeira, por exemplo)

Relativamente à associação da indústria dos lanifícios com a produção de materiais compósitos

Analisar a viabilidade da produção de fibras para reforço de materiais compósitos através da utilização de excedentes de produção, como restos de cortes e descoleccionados, recorrendo ou não a cardação de reciclagem.

## Notas bibliográficas



## Notas bibliográficas

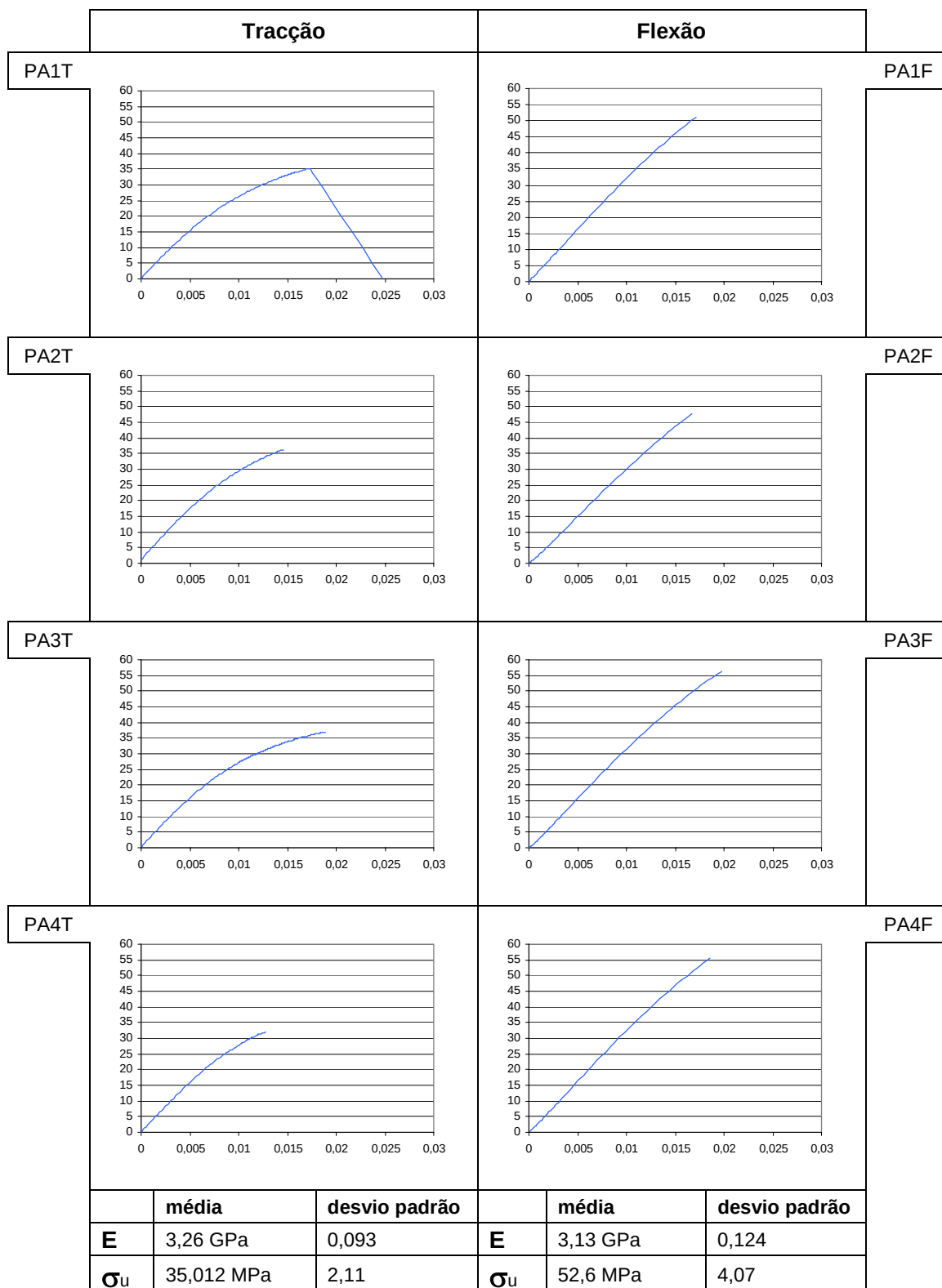
- 1] Flusser, Vilém - Petite Philosophie du design, Belfort, Editions Circé, 2002
- 2] Maldonado, Tomás, Design Industrial, Lisboa, Edições 70, 1999,
- 3] Pena, Rui; Medeiros, Carlos Laranjo, Microempresas, Artes e ofícios tradicionais e microempresas comerciais, Lisboa, Livros e Leituras, Outubro de 2001
- 4] Pinheiro, Victor - Seminários da disciplina de Métodos de projecto em design industrial, Porto, FEUP/ESAD, Novembro de 2001
- 5] Remakers, Renny; Bakker, Gijs - Droog Design ,Spirit of the nineties, Rotterdam, 010 Publishers, 1998
- 6] Neves, José de Sousa Machado Ferreira - Indústria e comércio dos têxteis, Porto, Livraria Lopes da Silva Editora, 1987
- 7] Vários – Guia Eco lan, Covilhã, ANIL+UBI, 2003
- 8] Vários, Manual de formação de técnicos especialistas de tecelagem, Covilhã, ANIL+UBI, 1990
- 9] Sandoz – La laine, un Manuel de Sandoz, Suiça, 1981
- 10] Garg, Sunil K. – Critical stress for cristallization in the treadline during high-speed spinning of polyethylene terephtalate, Wiley Interscience journal abstract, <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/abstract/104027339/ABSTRACT>
- 11] Alexander, Peter; Hudson, Robert F; Earland Christopher. – Wool, its chemistry and physics, London, Chapman & Hall LTD, 1963
- 12] Onions, W.J. – Wool, an introduction to its proprieties, varieties, uses and production, Ernst Benn Limited, London, 1962
- 13] Smith, William F.; Princípios de ciência e engenharia dos materiais, Amadora, Mc. Graw Hill, 1998
- 14] Berreur, Louis; de Maillard, Bertrand; Nosperger, Stanislas ; L'industrie française des matériaux composites, Ministère de L'économie des Finances et de l'Industrie, Paris 2002
- 15] Manzini, Ezio – A meteria da invenção, Lisboa, CPD, 1993

- 16] Leroi-Gourhan, André; Evolução e técnicas, 1 – O homem e a matéria, Edições 70, Lisboa 1994
- 17] Fitoussi, Brigitte – Eames, Paris, Editions Assouline, 1999
- 18] [www.eamesoffice.org](http://www.eamesoffice.org)
- 19] Romão, Cristina M. N.- Estudo do comportamento mecânico de materiais compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras naturais, Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Porto, FEUP, 2003
- 20] William, George; Wool Richard P. - Composites from natural fibres and soy oil resins - Applied Composite Materials, Kluwer academic publishers, 2000
- 21] Papanek, Victor - Design pour un monde réel, Poitiers, Mercure de France, 1974
- 22] Netravali, Anil ; Chabba, Shitij – Composites get greener, Materialstoday, Abril 2003
- 23] Wool, Richard P. – Affordable bio-based materials from renewable resources, Business Briefing: CPI Technology, 2003
- 24] A.S. Blicblau, R.P. Coutts, A. Sims, “Strength of raw wool polyester composites”, Swinburn University of Thecnology + CSIRO Division of Forrest Products – Melbourne – Australia
- 25] Bahlouli, Nadia – Cours composites du Dess Masi, IPST – Université de strasbourg - [www-ipst.u-strasbg.fr/nadia/courcomp/](http://www-ipst.u-strasbg.fr/nadia/courcomp/)
- 26] Oksman, K; Skrifvars, M.; Selin, JF – Natural fibres as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites; composites Science and technology, Vol.63, nº9, Julho 2003
- 27] Davim, J. Paulo, Tecnologia dos materiais plásticos, Lisboa, Universidade Aberta, 1998
- 28] Gay, Daniel – Matériaux composites, 4ª edição, Paris, Editions Hermès, 1997
- 29] Dweib, M.A. ; O'Donnell, A. ; Hu, B ; Rosas, L ; Shenton, H ; and Wool, R.P. – Natural composites materials for structural and automotive applications, ICCM 14, San Diego, July 2003
- 30] ISO 527 – Plastics – Determination of tensile properties

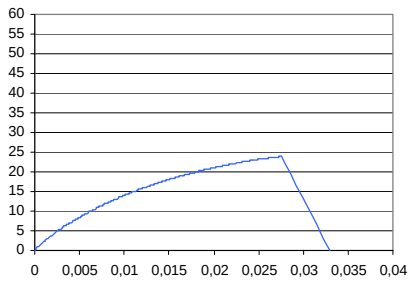
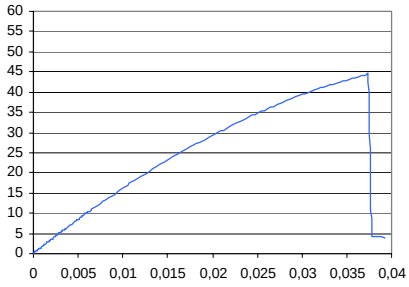
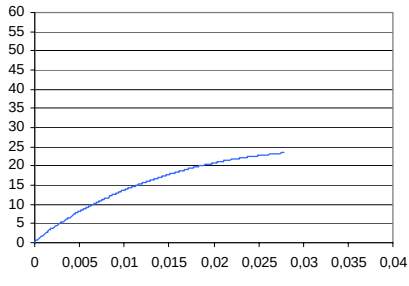
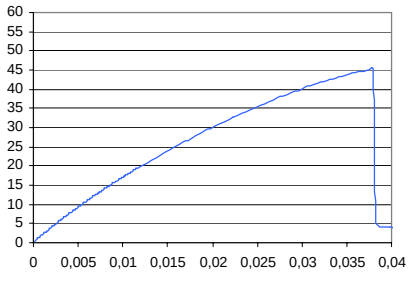
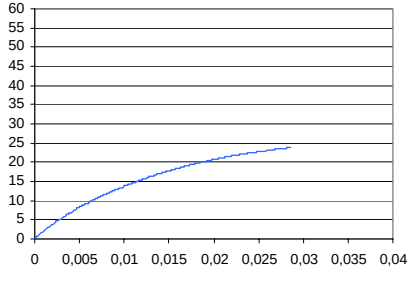
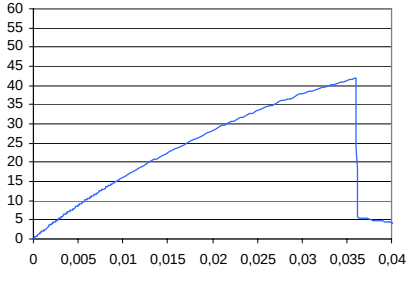
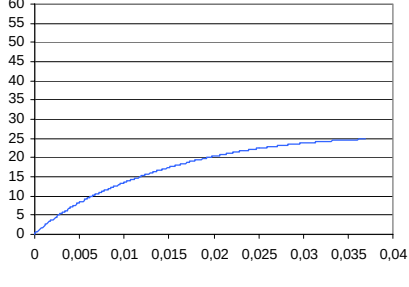
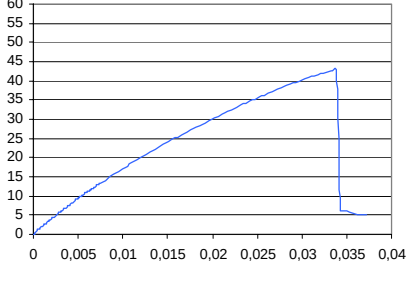
- 31] ISO 14125 – Fibre-reinforced plastic composites – Determination of flexural properties
- 32] NP 3431: 1989 – Têxteis – Fibras e fios - Determinação da massa comercial. Método de cálculo.
- 33] ISO 179-1982 (E) Plastics - Determination of Charpy impact strenght of rigid materials
- 34] Gonçalves, Sérgio; Vieira, Pedro; Esteves, José L. – Mechanical Caracterization of wool fibres for reinforcing of composite materials, Rhodes,ECCM11, 2004
- 35] Borrelly, Daniel, estudo comparativo da degradação de poliestireno e poliestireno de alto impacto por envelhecimento natural e artificial, S. Paulo, 2002 [www.teses.usp.br](http://www.teses.usp.br)
- 36] Thermoplastics, Usefulness of thermoplastics [www.me.mtu.edu](http://www.me.mtu.edu)
- 37] Résine 100% degradable BSR100 fce.development.online.fr
- 38] Battenfeld UK – Injection moulding technologies  
[http://dSPACE.dial.pipex.com/battenfeld/process\\_overm\\_mtb.htm](http://dSPACE.dial.pipex.com/battenfeld/process_overm_mtb.htm)
- 39] ASTM D3167 – Standard test method for floating roller peel resistance of adhesives

## Anexo I

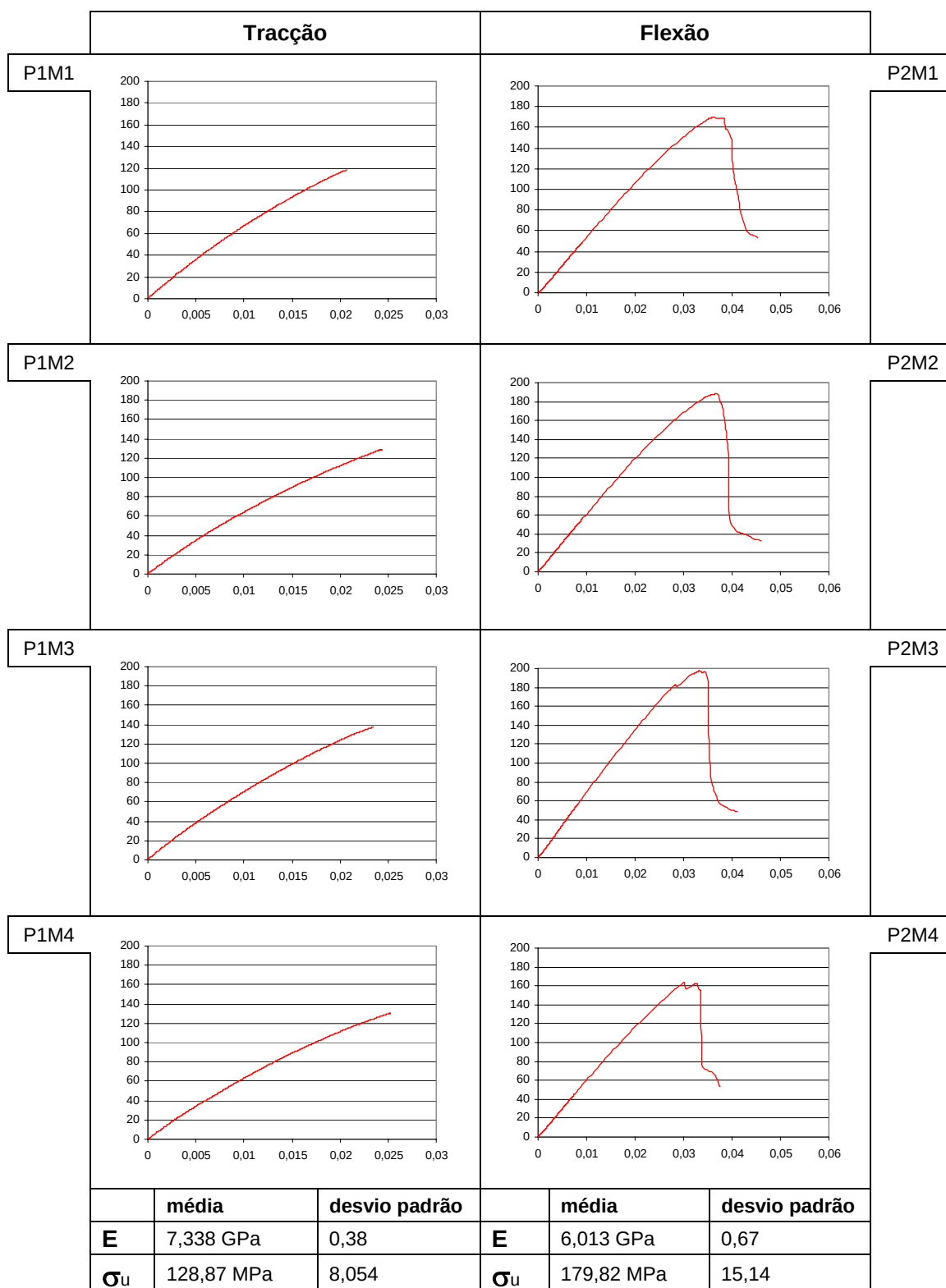
|                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| <b>Placa - PA</b>          |                             |
| Reforço (nº de camadas)    | 5                           |
| Revestimento (nº de faces) | 0                           |
| % de fibras                | 30%                         |
| Resina                     | Reapox 520 (Rea Industries) |
| Endurecedor                | D526                        |



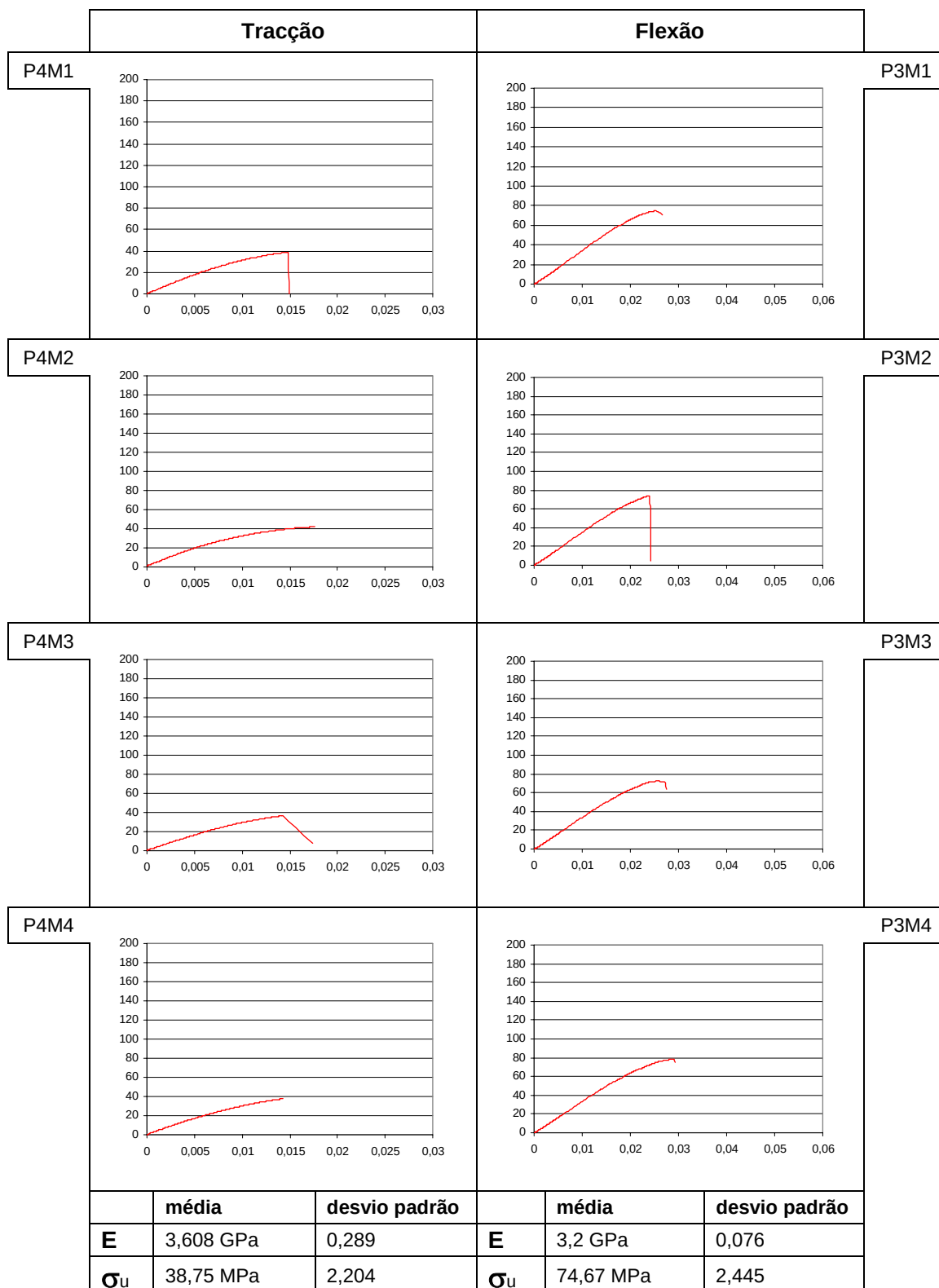
|                            |                   |
|----------------------------|-------------------|
| <b>Placa - PB</b>          |                   |
| Reforço (nº de camadas)    | 5                 |
| Revestimento (nº de faces) | 0                 |
| % de fibras                | 30%               |
| Resina                     | Quires 272 THV    |
| Acelerador e catalizador   | Cobalto 1%, MEK50 |

| Tracção                      |                                                                                     |               | Flexão                       |                                                                                      |               |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| PB1T                         |    |               | PB1F                         |    |               |
| PB2T                         |   |               | PB2F                         |   |               |
| PB3T                         |  |               | PB3F                         |  |               |
| PB4T                         |  |               | PB4F                         |  |               |
|                              | média                                                                               | desvio padrão |                              | média                                                                                | desvio padrão |
| <b>E</b>                     | 1,75 GPa                                                                            | 0,044         | <b>E</b>                     | 1,83 GPa                                                                             | 0,078         |
| <b><math>\sigma_u</math></b> | 23,96 MPa                                                                           | 0,57          | <b><math>\sigma_u</math></b> | 43,56 MPa                                                                            | 1,56715       |

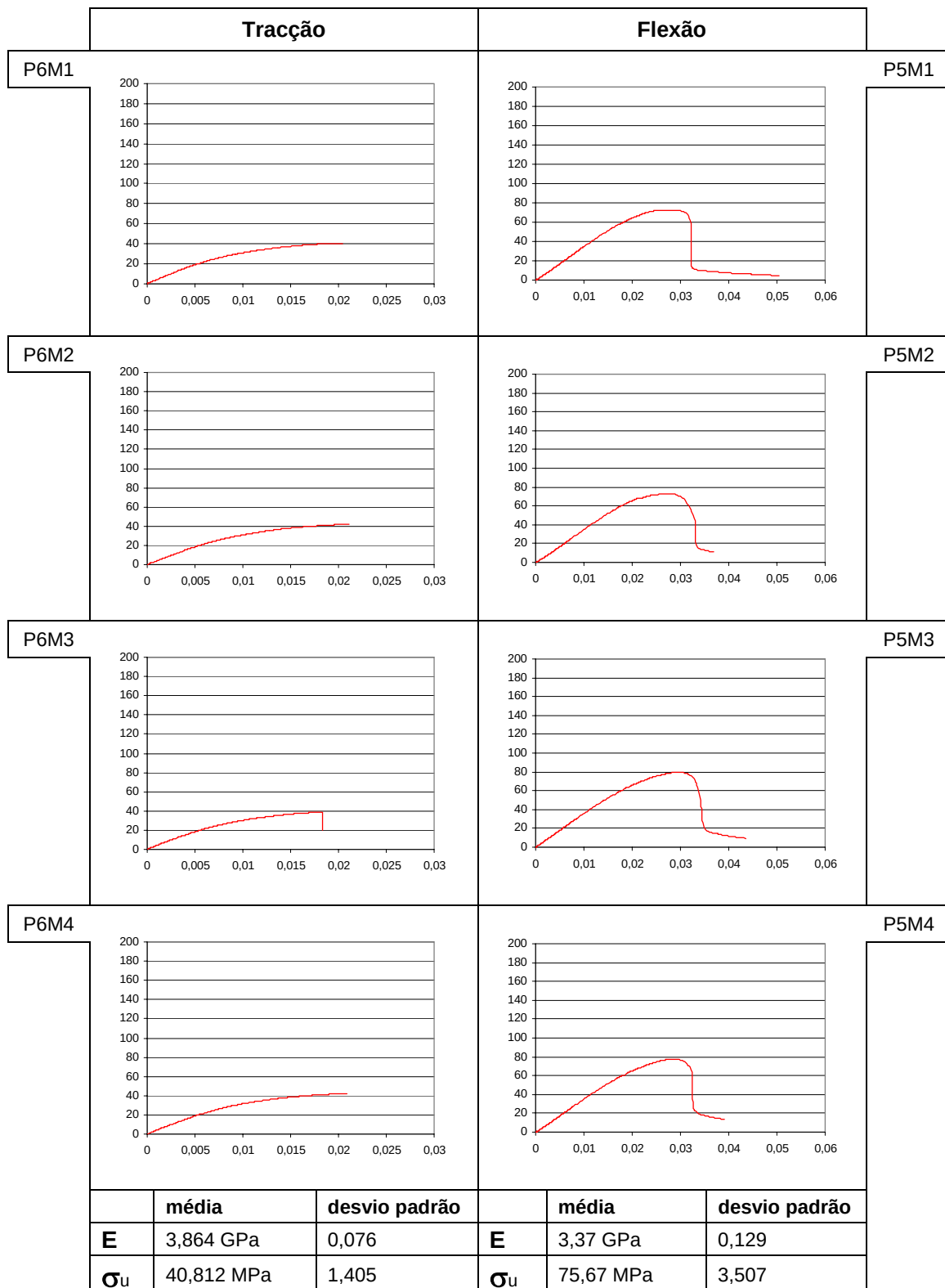
| Placa – PM1/2              |                                        |
|----------------------------|----------------------------------------|
| Reforço (nº de camadas)    | 4 (vidro E – MAT 400g/m <sup>2</sup> ) |
| Revestimento (nº de faces) | 0                                      |
| % de fibras                | 34% / 31,04%                           |
| Resina                     | Reapox 520 (Rea Industries)            |
| Endurecedor                | D526                                   |



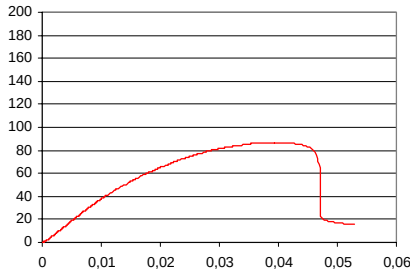
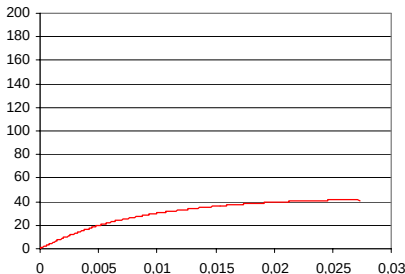
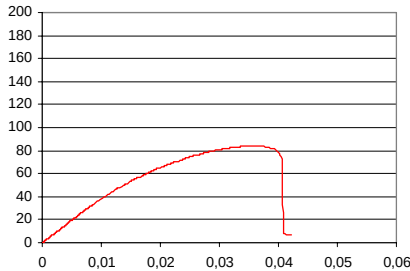
| Placa –P4M/3M              |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| Reforço (nº de camadas)    | 4 (lã)                      |
| Revestimento (nº de faces) | 0                           |
| % de fibras                | 27% / 28,63%                |
| Resina                     | Reapox 520 (Rea Industries) |
| Endurecedor                | D526                        |



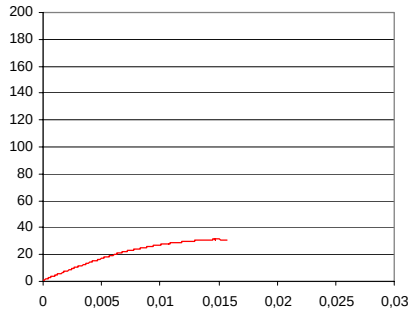
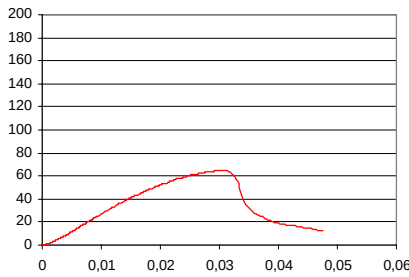
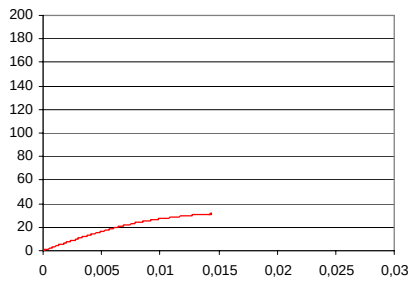
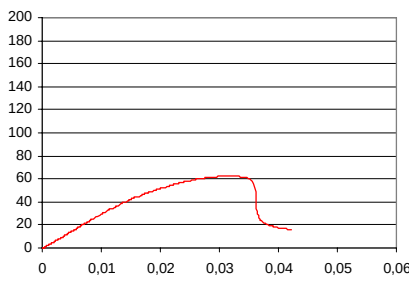
| Placa –P6M/5M              |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| Reforço (nº de camadas)    | 5 (lã)                      |
| Revestimento (nº de faces) | 0                           |
| % de fibras                | 33,03% / 34,12%             |
| Resina                     | Reapox 520 (Rea Industries) |
| Endurecedor                | D526                        |



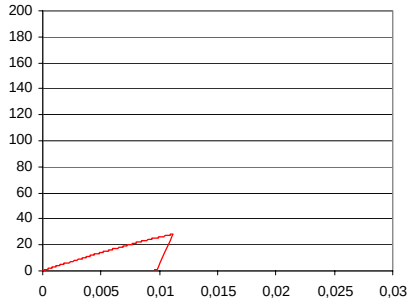
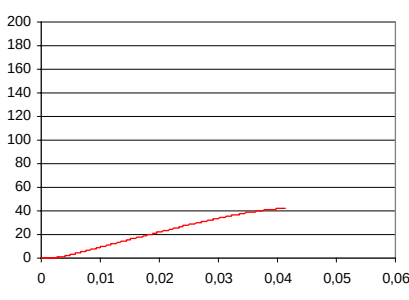
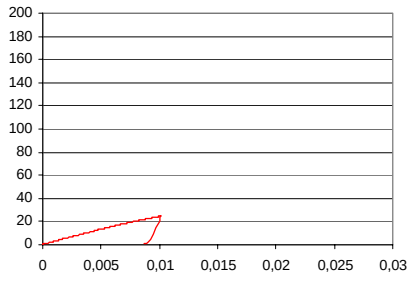
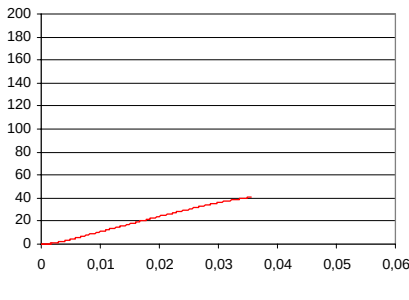
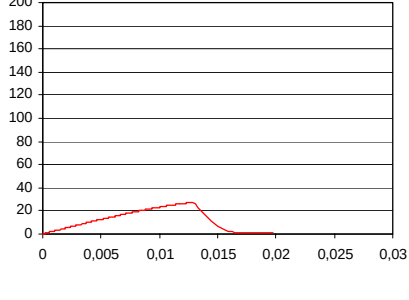
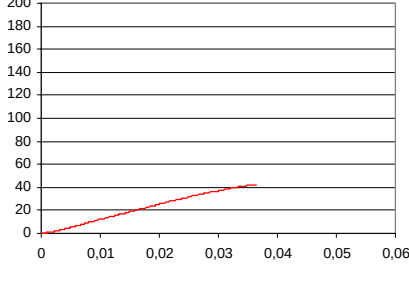
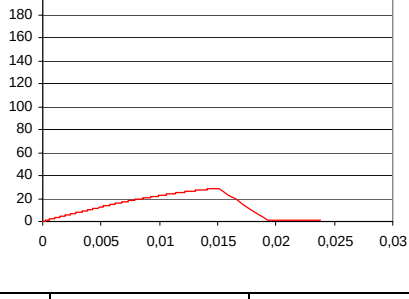
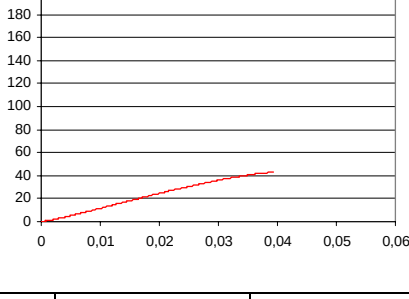
| Placa – P7M                |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| Reforço (nº de camadas)    | 6 (lã)                      |
| Revestimento (nº de faces) | 0                           |
| % de fibras                | 39,26%                      |
| Resina                     | Reapox 520 (Rea Industries) |
| Endurecedor                | D526                        |

| Tracção    |                                                                                    |               | Flexão     |                                                                                     |               |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| P7M1       | INVÁLIDO                                                                           |               | P71M       |   |               |
| P7M2       |  |               | P72M       |  |               |
|            |                                                                                    |               |            |                                                                                     |               |
|            |                                                                                    |               |            |                                                                                     |               |
|            |                                                                                    |               |            |                                                                                     |               |
|            | média                                                                              | desvio padrão |            | média                                                                               | desvio padrão |
| E          | 4,21 GPa                                                                           |               | E          | 3,83 GPa                                                                            | 0,0983        |
| $\sigma_u$ | 41,458 MPa                                                                         |               | $\sigma_u$ | 85,43 MPa                                                                           | 1,87          |

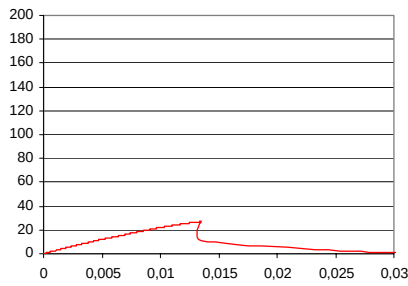
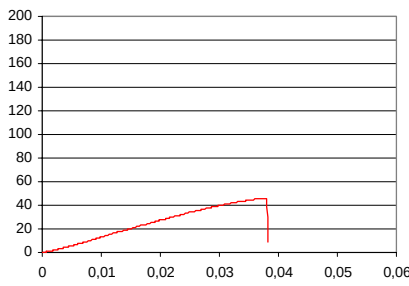
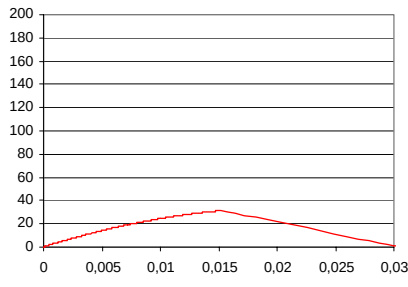
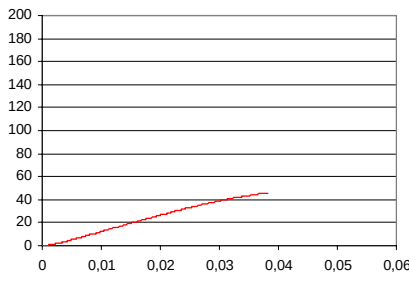
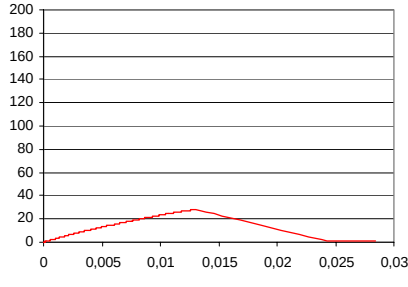
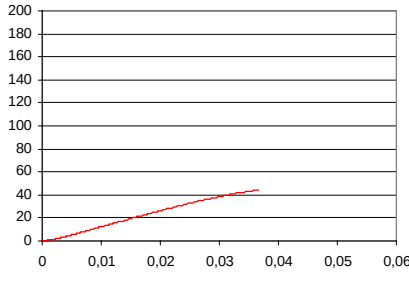
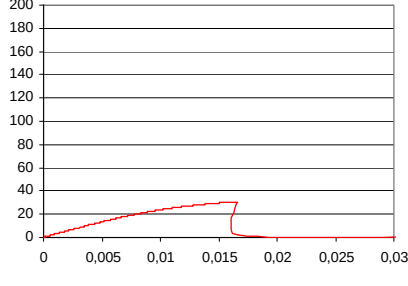
| Placa – P8M                |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| Reforço (nº de camadas)    | 6 (lã)                      |
| Revestimento (nº de faces) | 0                           |
| % de fibras                | 42,88%                      |
| Resina                     | Reapox 520 (Rea Industries) |
| Endurecedor                | D526                        |

| Tracção        |                                                                                    |               | Flexão         |                                                                                     |               |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| P8M1           |   |               | P81M           |   |               |
| P8M2           |  |               | P82M           |  |               |
|                |                                                                                    |               |                |                                                                                     |               |
|                |                                                                                    |               |                |                                                                                     |               |
|                |                                                                                    |               |                |                                                                                     |               |
|                | média                                                                              | desvio padrão |                | média                                                                               | desvio padrão |
| E              | 3,346 GPa                                                                          | 0,0038        | E              | 2,5 GPa                                                                             | 0,64          |
| σ <sub>u</sub> | 31,3 MPa                                                                           | 0,055         | σ <sub>u</sub> | 63,6 MPa                                                                            | 1,58          |

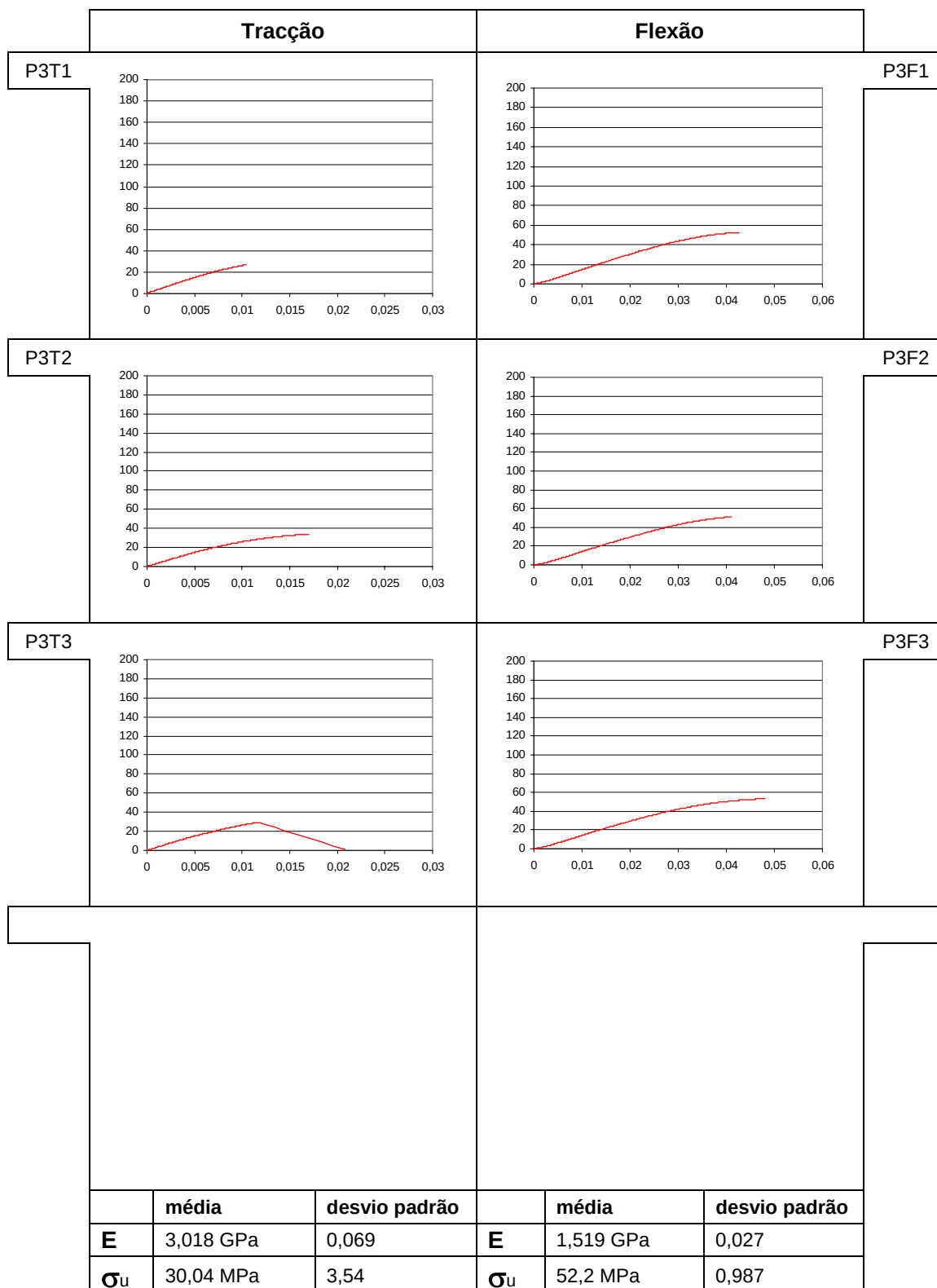
| Placa - P1                 |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| Reforço (nº de camadas)    | 4 (lã)                      |
| Revestimento (nº de faces) | 2 (lã)                      |
| % de fibras                | 29% (c/revestimento)        |
| Resina                     | Reapox 520 (Rea Industries) |
| Endurecedor                | D526                        |

| Tracção    |                                                                                     |               | Flexão     |                                                                                      |               |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| P1T1       |    |               | P1F1       |    |               |
| P1T2       |   |               | P1F2       |   |               |
| P1T3       |  |               | P1F3       |  |               |
| P1T4       |  |               | P1F4       |  |               |
|            | média                                                                               | desvio padrão |            | média                                                                                | desvio padrão |
| E          | 2,656 GPa                                                                           | 0,0876        | E          | 1,339 GPa                                                                            | 0,118146      |
| $\sigma_u$ | 27,233 MPa                                                                          | 1,746489      | $\sigma_u$ | 42,053 MPa                                                                           | 1,145484      |

| Placa – P2                 |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| Reforço (nº de camadas)    | 5 (lã)                      |
| Revestimento (nº de faces) | 2 (lã)                      |
| % de fibras                | 30% (c/revestimento)        |
| Resina                     | Reapox 520 (Rea Industries) |
| Endurecedor                | D526                        |

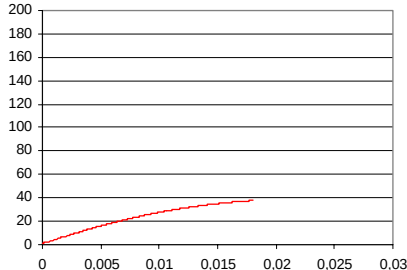
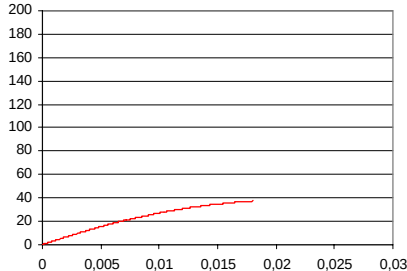
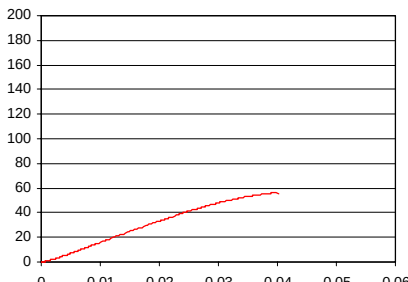
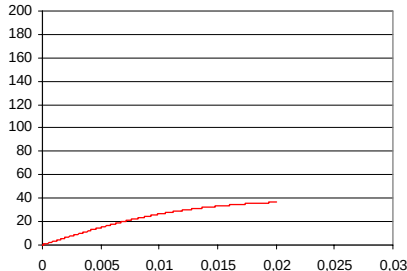
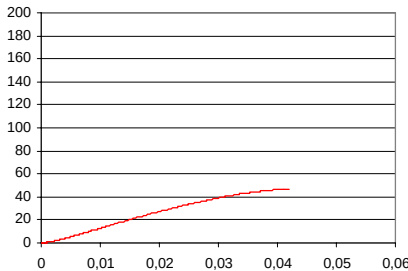
| Tracção    |                                                                                     |               | Flexão     |                                                                                      |               |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| P2T1       |    |               | P2F1       |    |               |
| P2T2       |   |               | P2F2       |   |               |
| P2T3       |  |               | P2F3       |  |               |
| P2T4       |  |               |            |                                                                                      |               |
|            | média                                                                               | desvio padrão |            | média                                                                                | desvio padrão |
| E          | 2,706 GPa                                                                           | 0,176277      | E          | 1,3924 GPa                                                                           | 0,01792       |
| $\sigma_u$ | 29,213 MPa                                                                          | 2,073264      | $\sigma_u$ | 45,419 MPa                                                                           | 0,896032      |

|                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| <b>Placa – P3</b>          |                             |
| Reforço (nº de camadas)    | 6(lã)                       |
| Revestimento (nº de faces) | 2 (lã)                      |
| % de fibras                | 36% (c/revestimento)        |
| Resina                     | Reapox 520 (Rea Industries) |
| Endurecedor                | D526                        |

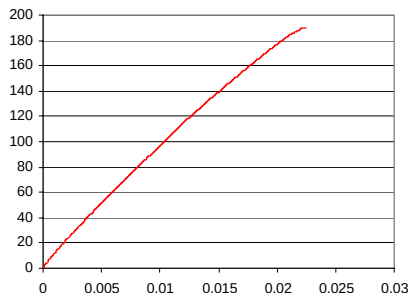
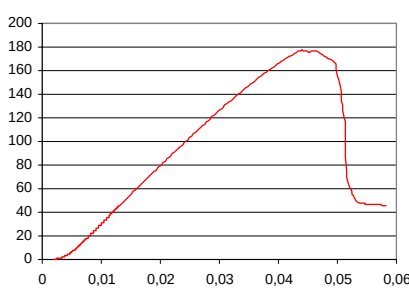
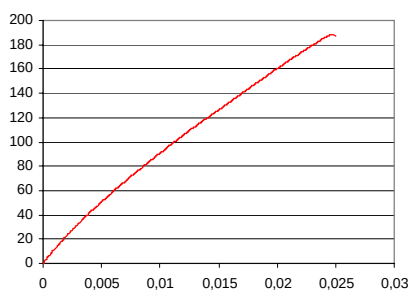
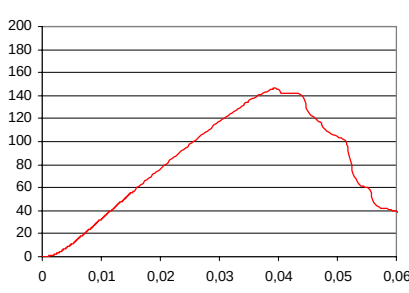
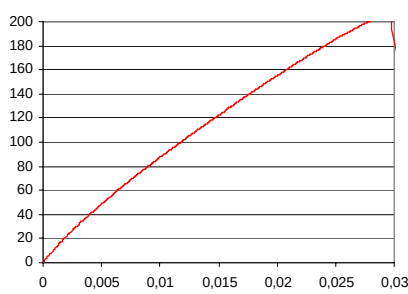
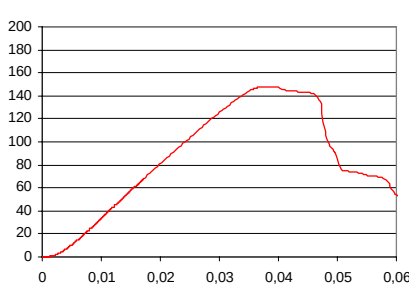


**Placa – P4**

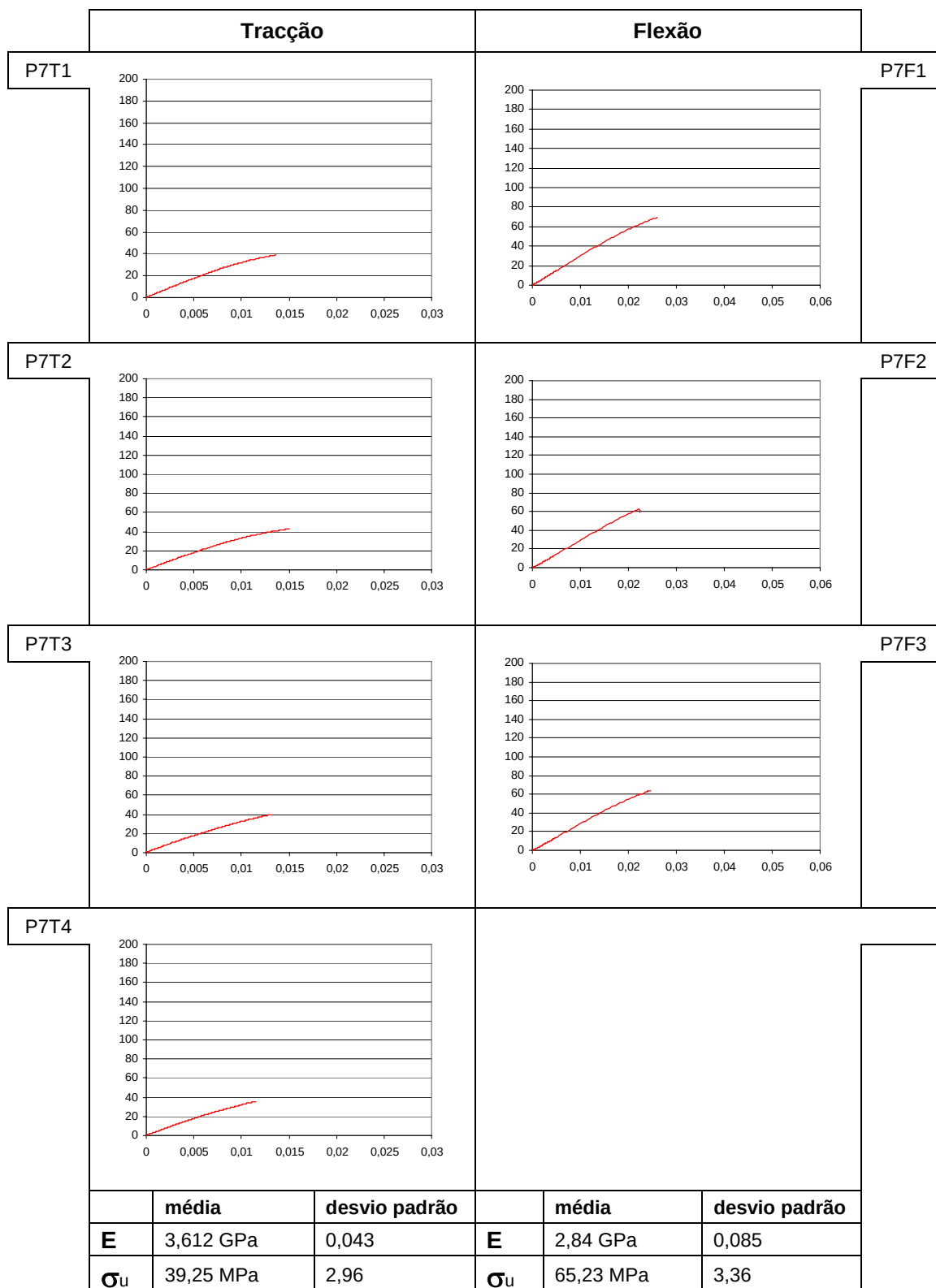
|                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| Reforço (nº de camadas)    | 6 (lã)                      |
| Revestimento (nº de faces) | 2 (lã)                      |
| % de fibras                | 38,6% (c/revestimento)      |
| Resina                     | Reapox 520 (Rea Industries) |
| Endurecedor                | D526                        |

| Tracção    |                                                                                     |               | Flexão     |                                                                                      |               |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| P4T1       |    |               | P4F1       |    |               |
| P4T2       |   |               | P4F2       |   |               |
| P4T3       |  |               | P4F3       |  |               |
|            |                                                                                     |               |            |                                                                                      |               |
|            | média                                                                               | desvio padrão |            | média                                                                                | desvio padrão |
| E          | 3,1 GPa                                                                             | 0,07          | E          | 1,557 GPa                                                                            | 0,204         |
| $\sigma_u$ | 37,183 MPa                                                                          | 0,63          | $\sigma_u$ | 51,427 MPa                                                                           | 6,515         |

|                            |                                         |
|----------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Placa – P6</b>          |                                         |
| Reforço (nº de camadas)    | 12 (vidro E – MAT 400g/m <sup>2</sup> ) |
| Revestimento (nº de faces) | 2 (lã)                                  |
| % de fibras                | 52,5% (c/revestimento)                  |
| Resina                     | Reapox 520 (Rea Industries)             |
| Endurecedor                | D526                                    |

| Tracção                      |                                                                                     |                      | Flexão                       |                                                                                      |                      |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| P6T1                         |    |                      | P6F1                         |    |                      |
| P6T2                         |   |                      | P6F2                         |   |                      |
| P6T3                         |  |                      | P6F3                         |  |                      |
|                              |                                                                                     |                      |                              |                                                                                      |                      |
|                              | <b>média</b>                                                                        | <b>desvio padrão</b> |                              | <b>média</b>                                                                         | <b>desvio padrão</b> |
| <b>E</b>                     | 10,42 GPa                                                                           | 0,160                | <b>E</b>                     | 4,6 GPa                                                                              | 0,26                 |
| <b><math>\sigma_u</math></b> | 193,75 MPa                                                                          | 9,43                 | <b><math>\sigma_u</math></b> | 157,3 MPa                                                                            | 17,3                 |

|                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| <b>Placa – P7</b>          |                             |
| Reforço (nº de camadas)    | 8(lã)                       |
| Revestimento (nº de faces) | 0                           |
| % de fibras                | 34,56% (c/revestimento)     |
| Resina                     | Reapox 520 (Rea Industries) |
| Endurecedor                | D526                        |





| Placas                         |        |       |       |        |        |       |        |        |       |        |        |       |       |       |        |        |        |
|--------------------------------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
|                                | PA     | PB    | PC    | P1     | P2     | P3    | P4     | P6     | P7    | P1M    | P2M    | P3M   | P4M   | P5M   | P6M    | P7M    | P8M    |
| Reforço                        | T      | T     | M     | T      | T      | T     | T      | V      | T     | V      | V      | T     | T     | T     | T      | T      | T      |
| nºcamadas                      | 5      | 5     | N/D   | 4      | 5      | 6     | 6      | 12     | 8     | 4      | 4      | 4     | 4     | 5     | 5      | 6      | 6      |
| Revestimento (faces)           | 0      | 0     | 0     | 2      | 2      | 2     | 2      | 2      | 0     | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      |
| %fibras                        | 30     | 30    | 30    | 29     | 30     | 36    | 38,6   | 52,5   | 34,56 | 34     | 31,04  | 28,63 | 27    | 34,12 | 33,03  | 39,26  | 42,88  |
| Resina                         | E      | P     | E     | E      | E      | E     | E      | E      | E     | E      | E      | E     | E     | E     | E      | E      | E      |
|                                |        |       |       |        |        |       |        |        |       |        |        |       |       |       |        |        |        |
| E - tracção (GPa)              | 3,26   | 1,75  | N/E   | 2,656  | 2,706  | 3,018 | 3,1    | 10,42  | 3,612 | 7,338  | N/E    | N/E   | 3,608 | N/E   | 3,864  | 4,21   | 3,346  |
| Desvio padrão                  | 0,093  | 0,044 | N/E   | 0,0876 | 0,1762 | 0,069 | 0,07   | 0,16   | 0,043 | 0,38   | N/E    | N/E   | 0,289 | N/E   | 0,076  |        | 0,0038 |
| σ <sub>u</sub> - Tracção (MPa) | 35,012 | 23,96 | N/E   | 27,233 | 29,213 | 30,04 | 37,183 | 193,75 | 39,25 | 128,87 | N/E    | N/E   | 38,75 | N/E   | 40,812 | 41,458 | 31,3   |
| Desvio padrão                  | 2,11   | 0,57  | N/E   | 1,7464 | 2,07   | 3,54  | 0,63   | 9,43   | 2,96  | 8,054  | N/E    | N/E   | 2,204 | N/E   | 1,405  |        | 0,055  |
|                                |        |       |       |        |        |       |        |        |       |        |        |       |       |       |        |        |        |
| E - flexão (GPa)               | 3,13   | 1,83  | 2,17  | 1,339  | 1,39   | 1,519 | 1,557  | 4,6    | 2,84  | N/E    | 6,013  | 3,2   | N/E   | 3,37  | N/E    | 3,83   | 2,5    |
| Desvio padrão                  | 0,124  | 0,078 | 0,39  | 0,118  | 0,018  | 0,027 | 0,204  | 0,26   | 0,085 | N/E    | 0,67   | 0,076 | N/E   | 0,129 | N/E    | 0,0983 | 0,64   |
| σ <sub>u</sub> - flexão (MPa)  | 52,6   | 43,56 | 47,4  | 42,053 | 45,419 | 52,2  | 51,427 | 157,3  | 65,23 | N/E    | 179,82 | 74,67 | N/E   | 75,67 | N/E    | 85,43  | 63,6   |
| Desvio padrão                  | 4,07   | 1,567 | 8,547 | 1,145  | 0,896  | 0,987 | 6,515  | 17,3   | 3,36  | N/E    | 15,4   | 2,445 | N/E   | 3,507 | N/E    | 1,87   | 1,58   |
|                                |        |       |       |        |        |       |        |        |       |        |        |       |       |       |        |        |        |
| U - impacto (KJ/m²)            |        |       |       |        |        |       |        |        |       | 71,075 |        | 4,347 |       | 6,779 |        | 12,728 |        |

| Resinas |           |                                                           |
|---------|-----------|-----------------------------------------------------------|
| E       | Epoxy     | Reapox 520 + endurecedor D526                             |
| P       | Poliester | Quires 272 THV + acelerador de cobalto+ catalizador MEK50 |

| Reforço |                                                       |
|---------|-------------------------------------------------------|
| V       | vidro E MAT 400g/m²                                   |
| T       | Lã cardada (tecido - fio nº35 - 1 cabo - 2400fios/m²) |
| M       | Lã lavada (em bruto)                                  |

| Ensaio charpy |         |           |       |              |        |         |         |           |             |       |           |
|---------------|---------|-----------|-------|--------------|--------|---------|---------|-----------|-------------|-------|-----------|
| Provete       | Largura | Espessura | KE    | Pêndulo (lb) | N/M    | larg(m) | esp (m) | J/m2      | média       | média |           |
| P3MT1         | 6       | 4,05      | 0,19  | 0,5          | 0,1283 | 0,006   | 0,00405 | 5279,8354 | 4499,198785 |       |           |
| P3MT2         | 6,15    | 4,05      | 0,3   | 0,25         | 0,1015 | 0,00615 | 0,00405 | 4075,0778 |             |       |           |
| P3MT3         | 6,2     | 4,05      | 0,31  | 0,25         | 0,1049 | 0,0062  | 0,00405 | 4177,6185 |             |       |           |
| P3MT4         | 6,1     | 4,05      | 0,36  | 0,25         | 0,1219 | 0,0061  | 0,00405 | 4934,2238 |             |       |           |
| P3MT5         | 6,1     | 4,05      | 0,3   | 0,25         | 0,1015 | 0,0061  | 0,00405 | 4108,4801 |             |       |           |
| P3MT6         | 6,05    | 4,05      | 0,32  | 0,25         | 0,1083 | 0,00605 | 0,00405 | 4419,9571 |             |       |           |
|               |         |           |       |              |        |         |         |           |             |       |           |
| P3ML1         | 6,1     | 4,1       | 0,31  | 0,25         | 0,1049 | 0,0061  | 0,0041  | 4194,3223 | 4196,100584 |       | 4347,6497 |
| P3ML2         | 6,1     | 4,05      | 0,32  | 0,25         | 0,1083 | 0,0061  | 0,00405 | 4383,728  |             |       |           |
| P3ML3         | 6,05    | 4,05      | 0,39  | 0,25         | 0,1321 | 0,00605 | 0,00405 | 5391,2866 |             |       |           |
| P3ML4         | 6,15    | 4,05      | 0,345 | 0,25         | 0,1168 | 0,00615 | 0,00405 | 4689,3506 |             |       |           |
| P3ML5         | 6,1     | 4,05      | 0,35  | 0,25         | 0,1185 | 0,0061  | 0,00405 | 4796,5999 |             |       |           |
| P3ML6         | 5,95    | 4,05      | 0,355 | 0,25         | 0,1202 | 0,00595 | 0,00405 | 4988,0693 |             |       |           |
| P3ML7         | 6,2     | 4,05      | 0,38  | 0,25         | 0,1287 | 0,0062  | 0,00405 | 5125,448  |             |       |           |

|       |      |      |       |      |        |         |         |           |             |           |
|-------|------|------|-------|------|--------|---------|---------|-----------|-------------|-----------|
| P5MT1 | 6,1  | 4,3  | 0,535 | 0,25 | 0,1848 | 0,0061  | 0,0043  | 7045,3679 | 5882,673617 | 6779,3143 |
| P5MT2 | 6,1  | 4,3  | 0,55  | 0,25 | 0,1917 | 0,0061  | 0,0043  | 7308,4255 |             |           |
| P5MT3 | 6,1  | 4,25 | 0,52  | 0,25 | 0,1796 | 0,0061  | 0,00425 | 6927,676  |             |           |
| P5MT4 | 6,15 | 4,3  | 0,51  | 0,25 | 0,1761 | 0,00615 | 0,0043  | 6659,1038 |             |           |
| P5MT5 | 6    | 4,3  | 0,46  | 0,25 | 0,1589 | 0,006   | 0,0043  | 6158,9147 |             |           |
| P5MT6 | 5,9  | 4,3  | 0,52  | 0,25 | 0,1796 | 0,0059  | 0,0043  | 7079,2274 |             |           |
|       |      |      |       |      |        |         |         |           |             |           |
| P5ML1 | 6    | 4,3  | 0,55  | 0,25 | 0,19   | 0,006   | 0,0043  | 7364,3411 | 7675,954952 |           |
| P5ML2 | 6,1  | 4,2  | 0,45  | 0,25 | 0,1554 | 0,0061  | 0,0042  | 6065,5738 |             |           |
| P5ML3 | 6,1  | 4,2  | 0,515 | 0,25 | 0,1779 | 0,0061  | 0,0042  | 6943,7939 |             |           |
| P5ML4 | 6,1  | 4,25 | 0,61  | 0,25 | 0,2107 | 0,0061  | 0,00425 | 8127,2903 |             |           |
| P5ML5 | 6,15 | 4,25 | 0,67  | 0,25 | 0,2314 | 0,00615 | 0,00425 | 8853,1803 |             |           |
| P5ML6 | 6    | 4,3  | 0,65  | 0,25 | 0,2245 | 0,006   | 0,0043  | 8701,5504 |             |           |
| P5ML7 | 6,15 | 4,3  | NV    | 0,25 |        | 0,00615 | 0,0043  | 0         |             |           |

|      |      |     |      |      |        |         |        |           |             |  |
|------|------|-----|------|------|--------|---------|--------|-----------|-------------|--|
| P7M1 | 6,15 | 4,4 | 0,81 | 0,25 |        | 0,00615 | 0,0044 | 0         | 12728,85847 |  |
| P7M2 | 6,1  | 4,4 | 0,41 | 0,5  | 0,2778 | 0,0061  | 0,0044 | 10350,224 |             |  |
| P7M3 | 6,15 | 4,4 | 0,37 | 0,5  | 0,2507 | 0,00615 | 0,0044 | 9264,5972 |             |  |
| P7M4 | 6,05 | 4,4 | 0,63 | 0,5  | 0,4269 | 0,00605 | 0,0044 | 16036,814 |             |  |
| P7M5 | 5,6  | 4,4 | 0,55 | 0,5  | 0,3761 | 0,0056  | 0,0044 | 15263,799 |             |  |

|      |      |      |      |     |        |         |         |           |            |  |
|------|------|------|------|-----|--------|---------|---------|-----------|------------|--|
| P8M1 | 6,25 | 4,45 | 0,35 | 0,5 | 0,2371 | 0,00625 | 0,00445 | 8524,9438 | 9141,26026 |  |
| P8M2 | 6,05 | 4,5  | 0,4  | 0,5 | 0,271  | 0,00605 | 0,0045  | 9954,0863 |            |  |
| P8M3 | 6,1  | 4,5  | 0,4  | 0,5 | 0,271  | 0,0061  | 0,0045  | 9872,4954 |            |  |
| P8M4 | 6    | 4,45 | 0,31 | 0,5 | 0,2099 | 0,006   | 0,00445 | 7861,4232 |            |  |
| P8M5 | 6,05 | 4,6  | 0,39 | 0,5 | 0,2642 | 0,00605 | 0,0046  | 9493,3525 |            |  |

|       |      |      |       |   |        |         |         |           |             |           |
|-------|------|------|-------|---|--------|---------|---------|-----------|-------------|-----------|
| PVMT1 | 6    | 4,05 | 0,55  | 2 | 1,5049 | 0,006   | 0,00405 | 61930,041 | 74107,91416 | 71075,217 |
| PVMT2 | 6    | 4,05 | 0,7   | 2 | 1,8981 | 0,006   | 0,00405 | 78111,111 |             |           |
| PVMT3 | 6    | 4,05 | 0,72  | 2 | 1,9525 | 0,006   | 0,00405 | 80349,794 |             |           |
| PVMT4 | 6,05 | 4,05 | 0,65  | 2 | 1,7625 | 0,00605 | 0,00405 | 71931,436 |             |           |
| PVMT5 | 6    | 4,05 | 0,64  | 2 | 1,7354 | 0,006   | 0,00405 | 71415,638 |             |           |
| PVMT6 | 6    | 4,05 | 0,725 | 2 | 1,9661 | 0,006   | 0,00405 | 80909,465 |             |           |
|       |      |      |       |   |        |         |         |           |             |           |
| PVML1 | 5,9  | 4,05 | 0,65  | 2 | 1,7625 | 0,0059  | 0,00405 | 73760,201 | 68042,52044 |           |
| PVML2 | 5,85 | 4,05 | 0,61  | 2 | 1,654  | 0,00585 | 0,00405 | 69811,122 |             |           |
| PVML3 | 5,95 | 4,05 | 0,665 | 2 | 1,8032 | 0,00595 | 0,00405 | 74829,339 |             |           |
| PVML4 | 6,1  | 4,1  | 0,52  | 2 | 1,41   | 0,0061  | 0,0041  | 56377,449 |             |           |
| PVML5 | 5,95 | 4,05 | 0,64  | 2 | 1,7354 | 0,00595 | 0,00405 | 72015,769 |             |           |
| PVML6 | 6,1  | 4,05 | 0,56  | 2 | 1,5184 | 0,0061  | 0,00405 | 61461,243 |             |           |