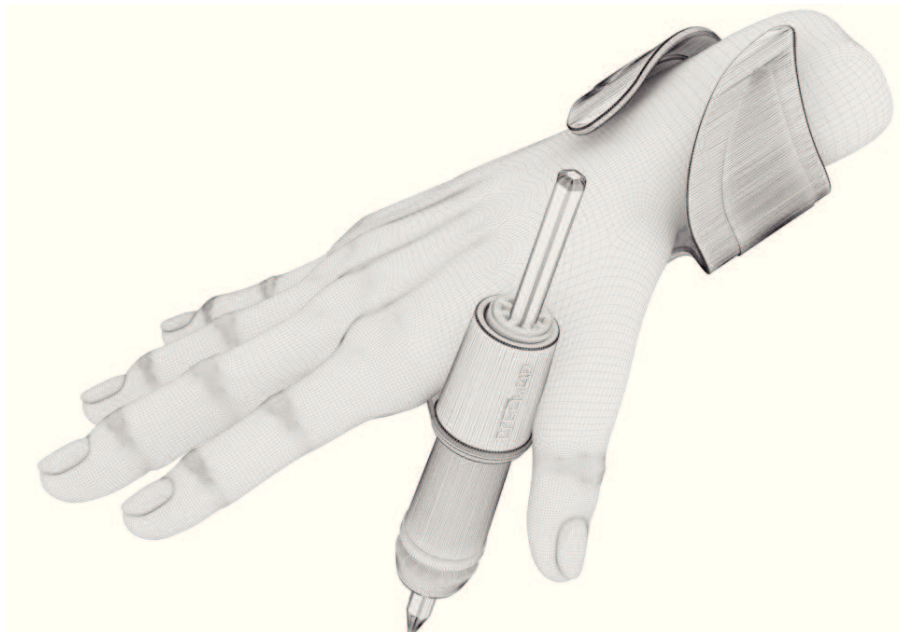


Dissertação

Mestrado em Engenharia da Conceção e desenvolvimento de Produto



Ergohelp

“Uma órtese para um design + Inclusivo”

Bruno Miguel Pereira Santos

Leiria, *Dezembro* de 2012.



Dissertação

Mestrado em Engenharia da Conceção e desenvolvimento de Produto

Ergohelp

“Uma órtese para um design + Inclusivo”

Bruno Miguel Pereira Santos

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Carlos Alexandre Bento Capela Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e coorientação do Doutor Carlos Fernando Couceiro de Sousa Neves, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, *Dezembro* de 2012.

A toda a minha família e amigos em especial á minha esposa Vânia pela paciência e apoio em todo o processo.

Agradecimentos

Durante todo o processo de aprendizagem é essencial quem nos apoie e conduza pelo caminho correto.

Agradeço, Portanto, aos orientadores científicos, Professor Carlos Capela, e ao Professor Carlos Neves, pela possibilidade da realização desta dissertação e pelo apoio e amizade demonstrado em todo o processo de desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao Professor João Mateus da ESAD – CR (Escola superior de artes e design) pelo apoio no desenvolvimento do protótipo rápido e ao Mestre Carlos Dias no suporte nos laboratórios de mecânica.

Agradeço ao Designer Luís cordeiro pelo apoio no desenvolvimento da ideia, assim como ao Designer Marcos André e Engenheiro Nuno Silva por toda a ajuda e dedicação ao projeto.

A todos os meus colegas, amigos e principalmente família, que me deram forças e motivação para que fosse possível a conclusão deste projeto.

A todos um forte abraço.

Resumo

A inclusão em termos profissionais e sociais é uma preocupação cada vez mais crescente nas áreas de projeto. Neste trabalho foi desenvolvida uma órtese que irá ser utilizada no auxílio de tarefas como agarrar um lápis ou uma caneta, para utilizadores com limitações motoras.

Todo o processo de desenvolvimento de produto tem como base as metodologias de *design*, com uma forte reflexão para a inclusividade,

No desenvolvimento da órtese foram, também desenvolvidos e processados materiais compósitos de matriz epóxida, laminados com fibras de carbono e laminados com fibras de vidro. Estes materiais foram caracterizados em termos mecânicos e físicos e obtidas as suas propriedades mecânicas.

Foi, também desenvolvido um protótipo rápido, obtido em tecnologias aditivas de prototipagem rápida, Impressão por Jato (MJT, Multi Jet Modeling). Este protótipo foi utilizado no apoio do processo de desenvolvimento de produto e suporte para o desenvolvimento da ferramenta rápida, em molde de silicone e assim foi obtido o modelo em material compósito de matriz polimérica com fibras de carbono. No processamento final da órtese utilizou-se o processo de moldação em vácuo.

Palavras-chave: Materiais compósito; Órtese; Design inclusivo; Prototipagem Rápida; Fibra; Epóxida.

Abstract

The Inclusion in professional and social terms is an ever growing concern in the areas of project.

In this work we developed a orthosis that will support tasks such as holding a pencil or pen for users with limitations in terms engines of motor disability.

The whole process of product development is based on the design methodologies, with a strong reflection for inclusiveness, also developed is a composite structural laminate of carbon fiber and fiberglass laminated with epoxy matrix, which are characterized in terms of mechanical and physical as well as treatment of the results, where they are analyzed values of elastic modulus and maximum tension in flexion and traction.

The object of this work is also developing the prototype, obtained in additive rapid prototyping technologies, by Jet Printing (MJT, Multi Jet Modeling) that provides support throughout the entire process of the product development and support for the development of fast tool in silicone mold, to be processed into the final model laminated carbon fiber CFRP through the vacuum molding process.

Keywords: **Composite materials.; Orthotics., Design, inclusive.; Rapid Prototyping.; Fibers.; Epoxy.**

Índice de Figuras

Figura 1 - Cápsulas de proteção do varão de aço construção	6
Figura 2 - Órteses estática Órteses para Membros Superiores – (A) Órteses Estáticas (de Posicionamento e Funcionais) (B) Órtese Dinâmica (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (BR), s.d.).....	8
Figura 3 - (A) Helicóptero Bell modelo 430,(Anon., s.d.), (B) C-17 <i>globemaster</i> III (Anon., s.d.) e (Moura, et al., 2008)	13
Figura 4 - Chassis do MP4-1 em CFRP e XX <i>Maclaren</i> MP4-1 (A) (Anon., s.d.) (B) (Anon., s.d.).....	13
Figura 5 - Geometria dos materiais compósitos. (a) Dispersão aleatória de Partículas numa matriz contínua; (b) Repetição regular de filamentos alinhados; (c) Laminado contínuo, fibras contínuas unidirecionais; (d) Geometria irregular, Fibras contínuas unidirecionais. Adaptação (Hele, 1994)	15
Figura 6 - Organograma da classificação dos materiais compósitos (MATTHEWS & RAWLINGS, 1994).....	16
Figura 7 - Classificação dos materiais compósitos quanto à matriz Adaptado de (Mueller, 2004).....	18
Figura 8 - Exemplo de arranjos de materiais compósitos reforçados por fibras e partículas. (a) Partículas aleatórias (b) fibras descontínuas unidirecionais (c) fibras descontínuas aleatórias (fibras contínuas unidirecionais (MATTHEWS & RAWLINGS, 1994).....	23
Figura 9 - Efeito da deformação ao redor da fibra na matriz sob tensão (a) fibra contínua, (b) fibra descontínua. (MATTHEWS & RAWLINGS, 1994).....	24
Figura 10 - gráfico de tensão X posição (comprimento da fibra é igual ao comprimento crítico (CALLISTER, 2008).....	25
Figura 11 - Gráfico de tensão X posição (comprimento da fibra é Maior que o comprimento crítico) (CALLISTER, 2008)	25
Figura 12 - É menor do que o comprimento crítico em que a tensão à tração é igual à resistência à tração da fibra (σ_f^* .) (CALLISTER, 2008)	26
Figura 13 - Estiramento de fibra de vidro extrudida. Adaptado de (Moura, et al., 2008)	29
Figura 14 - Estrutura cristalina do grafite. (Anon., s.d.).....	31
Figura 15 - Processo de obtenção de fibras de carbono a partir de poliacrilonitrilo (PAN), adaptado de (Berthelot , 1998) e (Moura, et al., 2008).....	32
Figura 16 - Bobine de <i>roving</i> (2.bp, s.d.)	35
Figura 17 - Manta CSN e Manta CRM (Anon., s.d.)	36
Figura 18 - Diferentes tipos de padrão das fibras 2D, adaptado de (Berthelot , 1998) ..	37
Figura 19 - Exemplo de uma malha com varias camadas cozidas entre si, retirado de (R. Böhm, 2011)	38
Figura 20 - modelo de um tecido 3D. (Mário & Raul Fangueiro, 2008,)	39
Figura 21 - Fabricação de um tecido 3d (Mário & Raul Fangueiro, 2008,).....	40
Figura 22: Processo por moldação manual. Adaptado de (Pereira, 2003)	41
Figura 23 - Processo de moldação por projeção, adaptado de (Pereira, 2003).....	42
Figura 24 - aplicação da técnica de moldação por projeção. (nodyapi, 2010)	43
Figura 25 - Processo de moldação por Vácuo, adaptado de (Pereira, 2003).....	43
Figura 26 - Processo de moldação por Vácuo. A) Deposição do roving B) Deposição manual da resina C) Fecho do molde D) O vácuo é acionado para fechar o molde E)	

Peça antes de ser desmoldada e a resina no canal de excesso F) Peça final com 2 faces lisas. (owenscorning, s.d.)	44
Figura 27 - Etapas comuns da moldação assistida por vácuo.....	45
Figura 28 - Representação da moldação por compressão, adaptado de (Berthelot , 1998)	46
Figura 29 - moldação por injeção, Adaptado de (Berthelot , 1998)	47
Figura 30 - Chassis de um carro de turismo em CRFP, obtido através moldação por injeção. (tecnológica, 2011).....	48
Figura 31 - (a) Gráfico de tensão deformação, matriz/reforço; (b) Gráfico de tensão deformação, matriz/reforço/compósito, Adaptado de (Thomas, 2010).....	49
Figura 32 - Provette para ensaios de tração, adaptado de (CALLISTER, 2008).....	50
Figura 33 - a) Flexão em 3 pontos (b) flexão em 4 pontos, adaptado d (Moura, et al., 2008).....	51
Figura 34 - Módulos de operação de um conjunto DMA a) compressão; b) fadiga; c) oscilação com carga estática; d) tração e) flexão em três pontos, adaptado de (Gomes, 2007).....	53
Figura 35 - Composição de um laminado, (CALLISTER, 2008)	54
Figura 36 - Composição de um painel sanduiche, Adaptado de (CALLISTER, 2008) .	54
Figura 37 - Diferentes tipos de núcleos. Adaptado de (Berthelot , 1998)	55
Figura 38 - Sistema local (1,2,3) e global (x,y,z) de coordenadas (HYER, 1998).....	56
Figura 39 - Processo de Estereolitografia (SL ou SLA) (Anon., s.d.).....	63
Figura 40 - Esquema do processo de Fabricação de Objetos por Camadas. (Anon., s.d.)	64
Figura 41 - funcionamento do sistema FDM, (Upcraft & Fletcher, 2003).....	65
Figura 42 - esquema de funcionamento da tecnologia SLS. (tate, s.d.)	66
Figura 43 - <i>Manta de fibra de carbono e fibra de vidro “ pailn weave” (tecido biaxial)</i>	69
Figura 44 - Delimitação da área moldante com fita de vácuo e aplicação da película desmoldante (PVA).	72
Figura 45 - Impregnação das fibras com resina (auxilio de uma trincha).	73
Figura 46 - Processo de moldação manual assistido a vácuo.	74
Figura 47 - Processo de moldação manual assistido por vácuo.	75
Figura 48 - Placas de laminado de fibra de carbono e laminado de fibra de vidro	75
Figura 49 - Balança eletrônica de precisão para a determinação de densidades referencia AG 204 da marca Metter toledo	77
Figura 50 - Variação da densidade da água em função da temperatura. (Gomes & Clavico, 2005)	78
Figura 51 - Curva de tensão – deformação de material compósito com duas camadas de carbono.	79
Figura 52 - Provetes 2CFC7,8 e 9, para os ensaios de tração.	81
Figura 53 - Equipamento Zwick Z100 utilizado nos ensaios de tração.	82
Figura 54: Equipamento de análise DMA, Perkin Elmer DMA 8000	83
Figura 55 - Provetes 2CFC1, 2 e 3 para o ensaio de DMA	85
Figura 56 – Resistência em tração (valores experimentais e teóricos) versus fração volumétrica (V_f).	89
Figura 57 – Resistência à tração versus fração volumétrica (V_f). Para o material compósito de fibra de carbono de duas, três e seis camadas	89
Figura 58 – Valores de módulo em tração versus fração volumétrica (V_f) para os materiais compósitos com fibra de carbono de duas, três e seis camadas.....	90
Figura 59 – Valores de módulo em tração (teóricos e experimentais) versus fração volumétrica (V_f).	91

Figura 60 – Valores de resistência à tração versus fração volumétrica (V_f) para os materiais compósitos de fibra de vidro de três e seis camadas.....	92
Figura 61 – Valores de resistência à tração versus fração volumétrica (V_f) para os materiais compósitos de fibra de vidro de três e seis camadas.....	93
Figura 62 – Valores de módulo à tração versus fração volumétrica (V_f). Para o material compósito de fibra de vidro de três e seis camadas.....	93
Figura 63 – Valores de módulo à tração (experimentais e teóricos) versus fração volumétrica (V_f) para os materiais compósitos de fibra de vidro de três e seis camadas...	94
Figura 64 – Curvas de variação do módulo à flexão versus temperatura, para os materiais compósitos de fibra de carbono de três e seis camadas.	95
Figura 65 – Curvas de variação do Tan delta versus temperatura, para os materiais compósitos de fibra de carbono de três e seis camadas.	95
Figura 66 – Valores de módulo à flexão (valores experimentais obtidos nos ensaios de DMA e valores teóricos) versus fração volumétrica de fibra.	96
Figura 67 – Curvas de variação do módulo à flexão versus temperatura, para os materiais compósitos de fibra de carbono de três e seis camadas.	97
Figura 68 – Curvas de variação do Tan delta versus temperatura, para os materiais compósitos de fibra de carbono de três e seis camadas.	97
Figura 69 – Valores de módulo à flexão (valores experimentais obtidos nos ensaios de DMA e valores teóricos) versus fração volumétrica de fibra.	98
Figura 70 - Base artesanal.	100
Figura 71 - Luís cordeiro a Utilizar a base.....	100
Figura 72 - Metodologia projectual segundo (Munari, 1981).....	104
Figura 73 - Órtese Ergohelp em Laminado CRFM e EPDM, pormenor da inserção do 2º material.....	108
Figura 74 - Anatomia da órtese.....	109
Figura 75 - Colocação da órtese.....	110
Figura 76 - Anatomia do adaptador.....	111
Figura 77 - “Paleta” de trabalho.....	112
Figura 78 - Esquema da colocação do adaptador na órtese.....	113
Figura 79 - Bases mais junção.....	114
Figura 80 - Arco criado pela junção.....	115
Figura 81 - Pormenor do encaixe do adaptador à base.....	115
Figura 82 - Encaixe da prótese na base de repouso.....	116
Figura 83 - Pormenor do encaixe na base de repouso.....	116
Figura 84 - Pormenor do macho da base de repouso.....	117
Figura 85 - Visualização da malha triangular no ficheiro STL.....	119
Figura 86 - Etapas comuns nos processos de PR, Modelo CAD, STL, SLI, Protótipo físico.....	120
Figura 87 - Protótipo da órtese Ergohelp obtido com recurso a tecnologias aditivas.	121
Figura 88 - Anatomia do molde para a obtenção da ferramenta rápida.....	124
Figura 89 – Equipamento de preparação (mistura em vácuo).....	125
Figura 90 - Tanque após enchimento com silicone líquida.....	126
Figura 91 - Sistema de vácuo (MCP).....	126
Figura 92 - Molde de silicone.....	127
Figura 93 - Interior após remoção do modelo em PR.....	127
Figura 94 - Modelo obtido em PR para fabricação de FR, parte A e B.....	128
Figura 95 - 2º Molde após cura.....	128
Figura 96 - 2º molde, interior amovível das palhetas.....	129
Figura 97 - 2º molde, interior amovível das palhetas (aberto).....	129
Figura 98 - obtenção da Ferramenta rápida por o molde protótipo em silicone Vacuum Casting.....	130

Figura 99 - Molde protótipo em silicone (Vacum Casting).....	131
Figura 100 - Aplicação de desmoldante nas superfícies moldantes do molde em silicone utilizado no fabrico da órtese.....	132
Figura 101 – a) tecido 2D de carbono; b) representação esquemática do processamento utilizado no fabrico da órtese.....	132
Figura 102 - Molde em silicone utilizado no fabrico da órtese	133
Figura 103 - Modelo da órtese <i>Ergohelp</i> fabricado com fibra de carbono.....	134
Figura 104 - Processo de fabrico das abas de fixação da órtese.....	135

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Classes dos materiais, adaptado de (Jones, F. Ashby, 2005),	5
Tabela 2 - Cronologia da evolução dos polímeros, adaptada de (PADILHA, 1997).....	11
Tabela 3 - Exemplos de materiais compósitos. Adaptado de (Berthelot , 1998)	14
Tabela 4 - características mecânicas das resinas epóxicas adaptado de (Berthelot , 1998)	21
Tabela 5 - Características mecânicas das resinas fenólicas adaptado de (Berthelot , 1998).....	22
Tabela 6 - características mecânicas das resinas de poliéster insaturadas adaptado de (Berthelot , 1998).....	22
Tabela 7 - Propriedades mecânicas de fibras naturais convencionais, adaptado de (Bledzki, 1999).....	27
Tabela 8 - características dos reforços mais usados nos mercados do compósito, adaptado de (Daniel & V. Hoa, 2007).....	28
Tabela 9 - Definição das diferentes fibras de vidro, características gerais e propriedades mecânicas, adaptado de (Berthelot , 1998) e (Moura, et al., 2008).....	30
Tabela 10 - Propriedades mecânicas das fibras de carbono, adaptado de (Moura, et al., 2008).....	33
Tabela 11 - Propriedades mecânicas das fibras de carbono comparativamente às fibras de vidro “E-glass” adaptado de (Berthelot , 1998).....	33
Tabela 12 - propriedades mecânicas de alguns tipos de fibra Aramídicas, adaptado de, (Moura, et al., 2008).....	34
Tabela 13 - Dimensionamento dos provetes segundo a norma ASTM D3039. (CALLISTER, 2008).....	50
Tabela 14 - dimensões recomendadas para os provetes pela norma ISSO 14125, adaptado de (CALLISTER, 2008).....	52
Tabela 15 - vantagens e desvantagens das tecnologias de PR.....	68
Tabela 16 - Propriedades das fibras utilizadas	70
Tabela 17 - características da resina SD 1500 e endurecedor SD 25036 (Materials, 2012)	70
Tabela 18 - Propriedades mecânicas da resina SD 1500 e endurecedor SD 25036 (Materials, 2012)	71
Tabela 19 - Provetes de duas, três e seis camadas, nomenclatura, material e dimensão:76	
Tabela 20 – Dimensões dos provetes utilizados nos ensaios de tração de 2 e 3 camadas.	80
Tabela 21 – Referências e dimensões dos provetes utilizados nos ensaios de DMA.....	84
Tabela 22 – Valores de densidades dos compósitos de matriz epóxida com fibras de carbono e compósitos de matriz epóxida com fibras de vidro	87
Tabela 23 - Resultados dos ensaios à tração, para os materiais compósitos de fibra de carbono com duas, três e seis camadas de fibra.	88
Tabela 24 - Resultados dos ensaios à tração, para os materiais compósitos com fibra de vidro de três e seis camadas de fibra.	91

Lista de Siglas

Acrónimo	Descrição
CAD	Computer aided design
DMA	Dynamical mechanical analysis
$E_{\text{flexão}}$	Módulo de elasticidade à flexão [MPa]
FRF	Fabrico rápido de ferramentas
GPa	Giga Pascal
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
SLA	Estereolitografia
$\tan \delta$	Tangente de perda
μm	Micro metros
$\sigma_{\text{maxflexão}}$	Tensão à flexão
ν	Coefficiente Poisson
PAN	Poliacrilonitrilo

Índice

Resumo	v
Abstract	vii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xiii
Lista de Siglas	xv
Índice	xvii
Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 Considerações iniciais	1
1.2 Objetivos Globais	1
1.3 Estrutura Geral	2
Capítulo 2 - Revisão da literatura	5
2.1 Materiais: Decisões projetuais.	5
2.2 Materiais e as órteses:	7
2.3 Materiais Compósitos	12
2.3.1 Definição e Características Gerais.	12
2.3.2 Classificação dos materiais compósitos.	16
2.3.3 Constituintes dos materiais compósitos. Matrizes e fibras.	17
2.4 A Matriz	19
2.4.1 Matrizes Termoendurecíveis.	20
2.4.2 Resinas epóxicas	20
2.4.3 Resinas Fenólicas	21
2.4.4 Resinas de Poliésteres	22
2.5 Reforço (Fibras)	23
2.5.1 Fibras de Vidro	29
2.5.2 Fibras de carbono	30
2.5.3 Fibras de Aramídicas	34
2.6 Formas dos reforços (arquitetura)	35
2.6.1 Roving	35
2.6.2 Mantas	36
2.6.3 Tecidos 2D	37

2.6.4	<i>Malhas</i>	38
2.6.5	<i>Tecidos 3D</i>	39
2.7	<i>Processos de fabrico dos materiais compósitos:</i>	40
2.7.1	<i>Moldação por contacto</i>	40
2.7.1.1	<i>Moldação Manual</i>	41
2.7.1.2	<i>Moldação por projeção</i>	42
2.7.2	<i>Moldação por vácuo</i>	43
2.7.3	<i>Moldação Manual assistida por vácuo</i>	45
2.7.4	<i>Moldação por Compressão: a frio e quente</i>	46
2.7.5	<i>Moldação por injeção</i>	47
2.8	<i>Considerações e propriedades mecânicas dos materiais compósitos</i>	48
2.8.1	<i>Ensaio mecânicos</i>	49
2.9	<i>Materiais compósitos estruturais</i>	53
2.9.1	<i>Compósitos laminados</i>	53
2.9.2	<i>Compósitos sanduíches</i>	54
2.10	<i>Leis constitutivas da Camada (Lâmina)</i>	55
2.11	<i>Prototipagem</i>	60
2.12	<i>Processos de prototipagem rápida</i>	63
Capítulo 3 - Materiais e procedimentos experimentais		69
3.1	<i>Materiais e Métodos</i>	69
3.1.1	<i>Materiais utilizados</i>	69
3.2	<i>Provetes</i>	71
3.2.1	<i>Laminados de Fibra de Carbono e de fibra de vidro de duas, três e seis camadas:</i>	
3.3	<i>Determinação de densidades</i>	77
3.2	<i>Ensaio mecânicos</i>	79
Capítulo 4 – Apresentação e Discussão de Resultados		87
4.1	<i>Determinação das Densidades</i>	87
4.2	<i>Ensaio de tração</i>	88
4.3	<i>Ensaio de DMA</i>	94
Capítulo 5 - Órtese Ergohelp, descrição e desenvolvimento do caso de estudo		99
5.1	<i>Motivação:</i>	99
5.2	<i>Design é inclusão.</i>	101
	<i>“Definição e metodologia no caso de estudo”</i>	101
5.2.1	<i>O conceito de design.</i>	101
5.3	<i>Metodologia de design</i>	102

5.4	<i>O conceito de inclusividade</i>	105
5.4.1	<i>Os sete princípios do design universal</i>	106
5.5	<i>Ergohelp, a estrutura:</i>	108
5.5.1	<i>Colocação da órtese:</i>	110
5.5.2	<i>O Adaptador:</i>	111
5.5.3	<i>A base dos adaptadores:</i>	114
5.5.4	<i>A base de repouso para a Órtese:</i>	116
5.6	<i>Órtese Ergohelp, processo de obtenção em prototipagem rápida</i>	118
5.6.1	<i>Transformação de dados:</i>	118
5.7	<i>Fabricação do Modelo protótipo</i>	122
5.8	<i>Fabricação da ferramenta rápida (Molde protótipo)</i>	124
5.9	<i>Fabricação do modelo em CFRP (fibra de carbono/epóxido)</i>	131
Capítulo 6- Conclusão e desenvolvimentos futuros		137
6.2	<i>Desenvolvimentos Futuros</i>	137
Capítulo 7 - Bibliografia		139

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Considerações iniciais

A inclusão em termos social e profissional é uma preocupação crescente na nossa sociedade. O *design* tenta, cada vez, mais eliminar a subcategoria de inclusivo, sendo o processo de design uma ferramenta também para a inclusão sem haver distinção. Toda a metodologia tem que ter este pensamento de *design* universal.

No presente trabalho será apresentada a metodologia e motivação que deram origem ao documento em causa. Será também objeto deste estudo o desenvolvimento de uma órtese que irá tornar possível, mais comodo ou mesmo mais funcional o desempenho de funções tais como agarrar um lápis, uma caneta ou mesmo uma *pen* digitalizadora para utilizadores mais condicionados, tornando possível a inclusão destes no mercado profissional.

1.2 Objetivos Globais

Com a realização deste trabalho pretende-se estudar os materiais compósitos a incluir na órtese a desenvolver, as técnicas de processamento de compósitos e analisar o comportamento mecânico e físico destes materiais.

Deste modo, pretende-se desenvolver uma órtese para a mão, em material compósito com fibras de carbono, que servirá para o apoio de utilizadores com movimentações condicionadas.

O conceito da órtese em desenvolvimento será validado em termos ergonómicos, funcionais e comerciais. O produto será fabricado em material compósito com fibras de carbono ou fibras de vidro com recurso às técnicas de moldação em vácuo.

Assim, neste trabalho, pretende-se desenvolver os seguintes pontos:

- 1- Desenvolver um laminado de fibras de carbono e fibras de vidro utilizando técnicas de processamento em vácuo.
- 2- Estudar o comportamento mecânico e físico dos materiais processados a incluir no desenvolvimento da órtese.
- 3- Desenvolver o conceito da órtese Ergohelp e o conceito de *design* inclusivo, que deverá ser sempre uma preocupação projectual e não uma ramificação do design, sendo por omissão uma parte deste e não uma sua subcategoria
- 4- Construir o modelo em prototipagem rápida, para apoio no desenvolvimento da ferramenta rápida e posteriormente a edificação do modelo em material compósito processado em moldação por vácuo.

1.3 *Estrutura Geral*

O presente trabalho incide no desenvolvimento de uma órtese em material compósito com fibras de carbono e de vidro. Neste trabalho foi realizada uma abordagem aos materiais compósitos, com especial destaque aos compósitos de matriz epoxídica reforçados com fibras. Todos os resultados experimentais e teóricos são objeto de análise e são apresentados neste documento.

O caso de estudo é, como referido, o desenvolvimento de uma órtese para a mão, com o objetivo de auxiliar os movimentos e ações como são os que envolvem a escrita, o desenho, etc., em utilizadores com movimentos condicionados.

O trabalho de dissertação desenvolvido está organizado em 6 capítulos da seguinte forma:

Capítulo 1 – Introdução

Neste capítulo é feita uma nota preliminar ao estudo do *design* como ferramenta de inclusão. É referido o conceito de órtese que levou ao desenvolvimento da Ergohelp, e ao processamento e estudo dos materiais compósitos, a incluir no seu fabrico.

Capítulo 2 - Revisão da literatura

Neste capítulo foi feita uma revisão bibliográfica relativamente aos materiais compósitos, técnicas de processamento, ensaios de caracterização mecânica e leis constitutivas da camada.

Capítulo 3 - Materiais e procedimentos experimentais

Neste ponto são apresentados os materiais compósitos processados, características dos componentes utilizados, geometria e dimensões dos provetes e técnicas de processamento em vácuo utilizadas. São também apresentados os equipamentos e os procedimentos utilizados na realização dos vários ensaios mecânicos e físicos.

Capítulo 4 - Apresentação e discussão de resultados

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados referentes ao estudo do comportamento mecânico e físicos dos materiais compósitos processados.

Capítulo 5 - Caso de estudo: Órtese Ergohelp

Neste capítulo é apresentado o conceito do produto desenvolvido e a motivação que originou a oportunidade deste projeto. Assim é apresentado o estudo de concepção e desenvolvimento de um protótipo de fabrico em material compósito com fibras de carbono.

Capítulo 6 - Conclusões e desenvolvimentos futuros:

São expostas as principais conclusões do trabalho apresentado, enunciando pontos futuros a desenvolver

Capítulo 7 – Bibliografia

São apresentadas as referências consultadas para a realização do trabalho.

Capítulo 2 - Revisão da literatura

2.1 Materiais: Decisões projetuais.

Para o desenho de qualquer estrutura, ou qualquer objeto, encontra-se ao dispor do projetista, engenheiro ou designer, um vasto leque de materiais. Assim, é importante colocar a questão, de como escolher o material mais indicado para uma determinada aplicação? Para se ter uma visão global da panóplia de materiais que o projetista tem ao seu dispor, Jones e Ashby categorizam as classes dos materiais de acordo com a Tabela 1 (Jones, F. Ashby, 2005)

Tabela 1 - Classes dos materiais, adaptado de (Jones, F. Ashby, 2005),

Classe dos materiais			
Metais	Polímeros	Cerâmicas e vidros	Compósitos
Ferro e aço	Polietileno (PE)	Alumina (AL ₂ O ₃)	Madeira
Cobre e ligas de cobre	Polimetacrilato de metilo (PMMA)	Magnésio (MgO)	Fibra de vidro (GFRP)
Níquel e ligas de níquel	Nylon	Sílica (SiO ₂) vidros e silicatos	Fibra de carbono reforçada com polímero (CFRP)
Titânio e ligas de titânio	Poliestireno (PS)	Carboneto de silício (SiC)	Fibras de polímeros
	Poliuretano (PU)	Nitreto de silício (Si ₃ N ₄)	<u>Cernets</u>
	Polivinilpirrolidona (PVC)		
	Borrachas		

Como referência o autor Jones e Ashby (Jones, F. Ashby, 2005) no livro “engineering materials 1”, as turbinas do rolls Royce rb211 *turbofan aero engine* utilizadas no Jumbo

jets são consideradas a partir da sua produção em ligas de titânio que tem um módulo suficientemente alto e boa resistência à fratura. Contudo um metal também deve ser resistente à fadiga (devido às rápidas cargas flutuantes), deve ter uma boa resistência ao desgaste da superfície (abrasão), devido às gotas de água a alta velocidade, e uma boa resistência à corrosão (característica importante quando se desloca no mar). Identificar as características dos materiais é importante para uma escolha mais eficiente do material.

Deste modo, é importante enumerar as condicionantes do projeto para conseguir facilmente escolher o material mais indicado, como por exemplo, quando consideramos um material para um protetor de aço de construção usado em construção civil, representado na Figura 1.



Figura 1 - Cápsulas de proteção do varão de aço construção

Consideramos que o objeto deverá ter uma superfície lisa, as suas palhetas interiores deverão ser resistentes mas flexíveis para se ajustarem às diversas medidas dos varões, ser resistente mas dúctil, um custo de produção baixo uma produção rápida e pouco dispendiosa, ser resistente à corrosão e à fadiga. Pelas condicionantes em cima enumeradas o material mais indicado seria o material polimérico como o polietileno, em baixo referem-se as principais propriedades dos polímeros que reforçam a escolha do material acima mencionado.

Principais propriedades dos materiais polímeros:

- Elevada processabilidade – facilmente moldáveis isto é, a facilidade de converter o material numa determinada forma;
- Resistentes à rotura e ao desgaste;
- Resistente a ação dos agentes atmosféricos, não quebram, não formam

Pontes e não estilhaçam;

- Elásticos;
- Peso reduzido – são mais leves que os metais e que o vidro (3* mais leves que o alumínio);
- Lubrificações – são materiais de baixo atrito;
- Isolação – tem excelentes propriedades de isolamento elétrico e acústico;
- Baixo custo de produção;
- Possibilidade de serem usadas no fabrico de peças nas mais variadas formas, tamanhos e cores;
- A maioria é reciclável.

(Almeida & Magalhães, 2004)

Estas propriedades, juntamente com a fácil obtenção a baixas temperaturas justifica e viabiliza a produção em grande escala (Kroschwitz, 1985), que é fator fundamental para a viabilização de toda a industrialização do produto.

2.2 Materiais e as órteses:

Comummente, quando se caracteriza uma órtese para se definir qual o material mais adequado a usar, o projetista depara-se com um problema de globalização de características, pois as órteses são por vezes muito específicas e adaptadas de utente para utente, consoante as propriedades e anomalias a corrigir.

As órteses também podem ser pensadas como abrangentes, podendo-se adaptar uma determinada órtese a um maior número de utentes, contudo esta terá que ser mais adaptativa e versátil para responder às necessidades do utilizador.

Pode-se definir órtese como dispositivos aplicados externamente ao segmento corpóreo, com finalidade de proporcionar o melhoramento funcional devido a algum tipo de disfunção ou necessidade de suporte, auxiliando numa recuperação mais segura, rápida e eficaz junto de pacientes com comprometimento neuro-musculo-esqueléticos, alterações funcionais temporárias ou permanentes. (CARVALHO, 2005)

As órteses podem ser categorizadas como pré-fabricadas, incluindo nesta categoria todas as que podem ser adquiridas em lojas e em órteses sob medida, cujo molde é o próprio “membro” do utilizador, respeitando a conformabilidade de cada, adequando-se melhor às necessidades peculiares de cada utilizador. Todas que por motivos específicos do doente tenham que ser adaptados pelo terapeuta ocupacional, para que esta seja completamente adequada à situação específica que esta venha a corrigir ou auxiliar.

As órteses também podem ser classificadas quanto à função, sendo estáticas, quando são imobilizantes, limitam e posicionam as articulações, ou dinâmicas que são compostas de varias partes para promoverem movimentação articular, neutralizar forças deformantes e na manutenção e fortalecimento da musculatura envolvida (Sauron, 2003). A Figura 2 exemplifica as órteses estáticas e dinâmicas, respectivamente.



(A)



(B)

Figura 2 - Órteses estática Órteses para Membros Superiores – (A) Órteses Estáticas (de Posicionamento e Funcionais) (B) Órtese Dinâmica (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (BR), s.d.)

O autor (WILTON, 1997) especifica e determina os requisitos necessários ao projetista\terapeuta ocupacional, para que a órtese tenham sucesso na sua função, que se descreve nos seguintes pontos:

- Conhecer a patologia, a anatomia e a cinesiologia.
- Ter conhecimentos relativos aos procedimentos da intervenção da terapêutica, onde órtese é apenas mais uma modalidade,
- Conhecimento das funções que envolvem os modelos e confecção da órteses.
- Conhecimento dos procedimentos para a confecção de uma órtese.

A órtese poderá ser concebida para corrigir deformidades, substituir musculatura paralisada, proteger áreas que estão em risco de deformação, imobilizar, proteger e estabilizar áreas que estão comprometidas, por doenças crônicas. Podem também ser concebidas para imobilizar estabilizar e proteger áreas, que devido a cirurgias, necessitam de auxílio para, como referido, imobilizar estabilizar e proteger a cicatrização. (WILTON, 1997)

Segundo (Donald, 1998) para a escolha de um material, que se possa adequar ao caso de estudo, a Ergohelp, deveram ser consideradas as seguintes características: Rigidez, para suportar a posição adequada, volume para que não tenha dispositivos muito espessos, flexibilidade: para o ajuste aos movimentos, ser fácil de limpar e permitir limpeza para proporcionar higiene e durabilidade, fácil utilização e manuseamento, que não é de todo só uma condicionante do material mas também da forma da própria órtese. Têm que ser economicamente viáveis, para que não seja um produto muito restrito e resistente às temperaturas. Devem, também ser considerados aspetos como resistência à corrosão, deformação, desgaste e toxicidade.

É importante ter em consideração a forma do produto e torna-lo equilibrado para que o utilizador se sinta bem em usa-lo, não é um adereço, em que o sentido estético está em realço, mas terá que ter formas harmoniosas, para que não haja discriminação visual.

Segundo (BREGGER-LEE & WILLIAM, 1991). na Década de 40 as órteses apresentavam as estruturas em aço e alumínio até que, em 1964, foi desenvolvido uma o termoplástico de baixa temperatura, que é ainda hoje um material bastante utilizado quando se trata de órteses fabricadas sob medida, favorecendo a modelação e adaptando-se às necessidades particulares do utilizador.

Antes deste advento, as ligas de alumínio eram bastante utilizadas devido à sua resistência à tensão e baixo peso específico (quando comparado com o aço) em órteses em que era necessário esta característica, como as dos membros superiores, enquanto para os membros inferiores o material mais usado era o aço. (Vanalle, 1987)

As ligas de magnésio e titânio, são mecanicamente mais eficientes que o aço e o alumínio, pois possuem mais resistência à corrosão e baixo peso específico, apresentando uma menor densidade. Estes materiais foram utilizados em órteses onde era necessária maior resistência à corrosão e pequeno peso específico. Devido ao seu valor comercial ser bastante alto a sua presença era mais diminuta nas órteses. (Vanalle, 1987)

O gesso é também um material com alguma tradição na fabricação das órteses, pela sua fácil modelação e pela facilidade como se obtém o resultado, sem ser necessário aquecimento, contudo este material não é lavável, sendo de difícil higienização e bastante frágil. Para combater essa fragilidade, desenvolveu-se um compósito de gesso com fibras, em malha, de algodão, aumentando assim a sua facilidade de modelação que, ainda hoje é um material bastante usado na confecção de aparelhos de imobilização (órteses), devido ao seu baixo custo e baixo peso específico. (Capelo, 2000)

Uma das formas de combater as dificuldades apresentadas pelas órteses desenvolvidas em gesso, foi desenvolvida a fabricação de gesso “sintético” obtido através de ligaduras de gesso impregnadas em resina de poliuretano. É um processo mais caro mas aumenta a resistência em cada camada, contudo verifica-se uma maior dificuldade de modelação, pois este compósito solicita uma maior rapidez na sua conceção. (Rossi, 1987)

Os polímeros são normalmente leves, flexíveis e apresentam uma boa resistência à corrosão, (PADILHA, 1997). Este grupo de materiais é um dos mais usados para a fabricação de órteses, como mostra o exemplo da “borracha” que começou a ser usada como revestimento das estruturas metálicas das órteses, dando conforto e absorvendo os impactos.

A evolução na criação dos polímeros fora vertiginosa, desde a primeira substância plástica obtida na primeira década do século XX (PADILHA, 1997). A Tabela 2 representa a cronologia da evolução dos polímeros.

Tabela 2 - Cronologia da evolução dos polímeros, adaptada de (PADILHA, 1997)

Polímeros	Data de sintetização
Fenolformaldaido	1907
Silicone	1930
Acrílicos	1932
Poliestireno	1933
Nylon	1935
Polietileno	1939
PVC	1940
ABS	1946
Teflon	1948
Policarbonato	1958
Polipropileno	1959
Poliacetal	1960
PPO	1964

A partir dos anos 60 a indústria dos polímeros chegou à sua maturidade, (PADILHA, 1997) podendo esta expandir-se para os mercados das órteses a partir dos anos 70 e 80, devido à expansão do conhecimento nas áreas mencionadas e pela grande expansão das cirurgias da mão. (Melvin, 1995.)

Dentro dos materiais poliméricos, os materiais termoplásticos de alta temperatura e os termoplásticos de baixa temperatura são os mais utilizados na fabricação das órteses e próteses.

Os termoplásticos de alta temperatura tornam-se moldáveis quando aquecidos entre uma temperatura de 149°C e 177°C, ficando bastante resistentes quando estabilizados à temperatura ambiente. Nas próteses e órteses, um material bastante utilizado é o polipropileno. A técnica de confecção assenta no engessamento do segmento do corpo que receberá o aparelho, é aquecida a placa do material e reveste-se o molde positivo já obtido. (Silveira, 1981) As classes dos termoplásticos de baixa temperatura é usada na confecção de próteses e órteses, quando estas necessitam/exijam altas tensões. Estes materiais são usados na confecção de órteses e próteses dos membros superiores, são aquecidos em água entre 60°C e 77°C, podendo ser moldados diretamente sobre o utilizador, reaquecidos e reajustados, no caso de algum engano ou ajuste (Toyofuko. M. H & Toyoda. C.Y, 2000)

2.3 Materiais Compósitos

2.3.1 Definição e Características Gerais.

A escolha dos materiais compósitos deve-se, em primeiro lugar, às suas características mecânicas. Procuram-se características como baixa densidade, módulo à flexão e tração alto e um preço que não seja proibitivo, como afirma (Berthelot , 1998).

Na indústria espacial o alto desempenho é um dos objetivos principais, tendo em conta que o custo do material terá que ter um impacto reduzido no orçamento global do projecto. Em contraste na indústria automóvel, incrementar a performance não pode aumentar nem prejudicar o valor do produto final, tendo assim o preço um impacto elevado na desição da escolha do material a utilizar.

A utilização das fibras, como elemento de reforço, remonta, como referencia (J. P. Nunes, et al., 2003) ao tempo dos egípcios, dos incas e dos maias, pois juntavam fibras naturais, cortadas, ao tijolo para reduzir as frágeis propriedades que este tinha sem o reforço que as fibras proporcionavam.

Os materiais compósitos alargam substancialmente a escolhas que o projetista tem ao seu dispor. É portanto natural que os materiais compósitos se encontrem em várias áreas de atividade onde se incluem indústrias como a aeronáutica e a espacial, bem como os sectores dos transportes e da construção civil (Moura, et al., 2008)

Na Figura 3 são apresentados dois exemplos da aplicação de materiais compósitos na indústria aeronáutica, como o modelo Bell 430, que utiliza materiais compósitos nas pás e no garfo que as sustenta, e o avião C-17 *globemaster* III que apresentava partes importantes da estrutura em materiais compósitos.



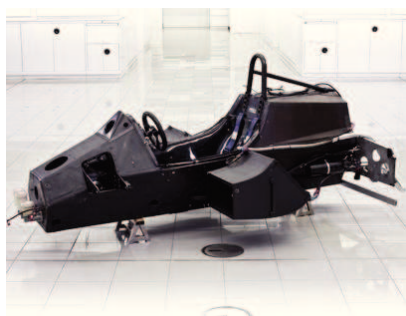
(A)



(B)

Figura 3 - (A) Helicóptero Bell modelo 430,(Anon., s.d.), (B) C-17 *globemaster III* (Anon., s.d.) e (Moura, et al., 2008)

Na indústria automóvel os materiais compósitos também têm as suas aplicações, se analisarmos um caso específico como a competição automóvel, denota-se uma grande evolução como explica (Moura, et al., 2008), exemplificando a evolução do chassis de formula 1, que nos inícios dos anos 50 era produzido em perfil tubular de alumínio e que a introdução dos materiais compósitos, fez com que fosse possível a produção de uma forma mais complexa, sem perder a viabilidade económica e técnica. Nos anos 80, quando se formou a *McLaren* internacional, a introdução pela primeira vez de materiais compósitos de fibra de carbono no chassis do modelo Mp4-, (Figura 4), permitiu um aumento de rigidez torsional estimada em 66% e uma considerável redução de peso.



(A)



(B)

Figura 4 - Chassis do MP4-1 em CFRP e XX *Maclaren* MP4-1 (A) (Anon., s.d.) (B) (Anon., s.d.)

Um material compósito é constituído pela união de vários materiais, dois ou mais, diferentes, resultando o conjunto num material de característica superior do que analisando individualmente os seus constituintes.

Segundo (Reinhart & Clements, 1987) os materiais compósitos são definidos e caracterizados como uma combinação macroscópica de dois ou mais materiais distintos, havendo uma interface reconhecível entre eles. Estes não se descaracterizam, atuam em conjunto, aumentando o desempenho do resultado em contraste do verificado quando analisando os constituintes em separado. Como demonstrou (Griffith, 1920) pela primeira vez, o vidro na sua forma maciça possui tensões de rutura de cerca de 170Mpa, enquanto as fibras de vidro com cerca de 20 µm de diâmetro conseguiam alcançar tensões de rutura de 3500Mpa. Comprova-se o acréscimo de resistência que as fibras transmitem no material compósito.

O material compósito tem, tipicamente, uma ou mais fases descontínuas envolvidas por uma fase contínua.

A Fase contínua é chamada matriz (aglomerante) e a fase descontínua toma o nome de reforço ou material de reforço. A Tabela 3 refere alguns exemplos de materiais compósitos.

Tabela 3 - Exemplos de materiais compósitos. Adaptado de (Berthelot , 1998)

	Constituintes	Áreas de Aplicação
1 Compósitos de matriz orgânica.		
- Papel, cartão	- Resina/Fibras de celulose	- Embalagem, impressão
- Aglomerado de Partículas	- Resina/Aparas de madeira	- Carpintaria
- Painéis de fibra	- Resina/Fibras de madeira	- Construção
- Revestimento de tela (coated Canvas)	- Elastómero/Têxteis	- Coberturas, construção
- Pneu	- Borracha/tela/Aço	- Automóvel
- Laminado	- Resina/partículas/Fibra de vidro, fibra de carbono etc...	- Múltiplas áreas.
2 Compósito de Matriz mineral		

- Betão	- Cimento/areia/brita	- Engenharia Civil
- Compósito de carbono	- Carbono/Fibras de carbono	- Aviação, desportos biomedicina etc.
- Compósitos cerâmicos	- Cerâmicas/ fibra cerâmicas	- Termomecânica
3 Compósitos de matriz metálica		
- Alumínio/Fibras de boro		- Aeroespacial
- Alumínio/Fibras de carbono		
4 Compósitos sandwichs		
- Skins	- Metais, laminados, etc.	- Múltiplas áreas
- Cores	- Espuma, estrutura em favos, balsa.	

As propriedades dos compósitos resultam das propriedades dos materiais que os constituem, pelas suas interações e pela sua distribuição geométrica. Para podermos descrever um material compósito é necessário, especificar a natureza dos seus constituintes, a geometria do reforço e a natureza do interface matriz/reforço. (Berthelot , 1998)

A geometria do reforço é caracterizada pela sua forma, tamanho, concentração e a sua orientação. A figura 5 representa os vários arranjos da geometria dos materiais compósitos.

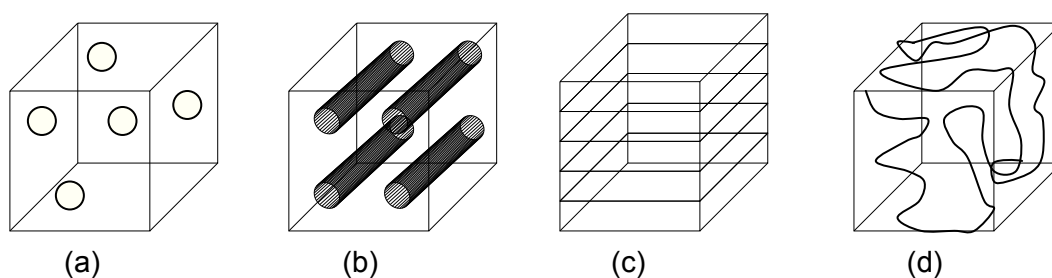


Figura 5 - Geometria dos materiais compósitos. (a) Dispersão aleatória de Partículas numa matriz contínua; (b) Repetição regular de filamentos alinhados; (c) Laminado contínuo, fibras contínuas unidirecionais; (d) Geometria irregular, Fibras contínuas unidirecionais. Adaptação (Hele, 1994)

Uma característica marcante dos compósitos (BROUTMAN, 1990) é que eles têm suas propriedades fortemente influenciadas pela distribuição, interação e propriedades dos seus constituintes.

2.3.2 Classificação dos materiais compósitos.

Os materiais compósitos podem descrever-se ou classificar-se pela forma dos componentes ou pela natureza dos mesmos. Podem igualmente ser classificados quanto à natureza dos seus constituintes.

Relativamente à classificação quanto à forma dos constituintes ou componentes, esta pode ser feita através de duas grandes famílias, Materiais com fibras e materiais com partículas.

A Figura 6 representa em organograma os materiais compósitos, separando-os, como supracitado, por materiais reforçado por fibras e materiais reforçados por partículas.

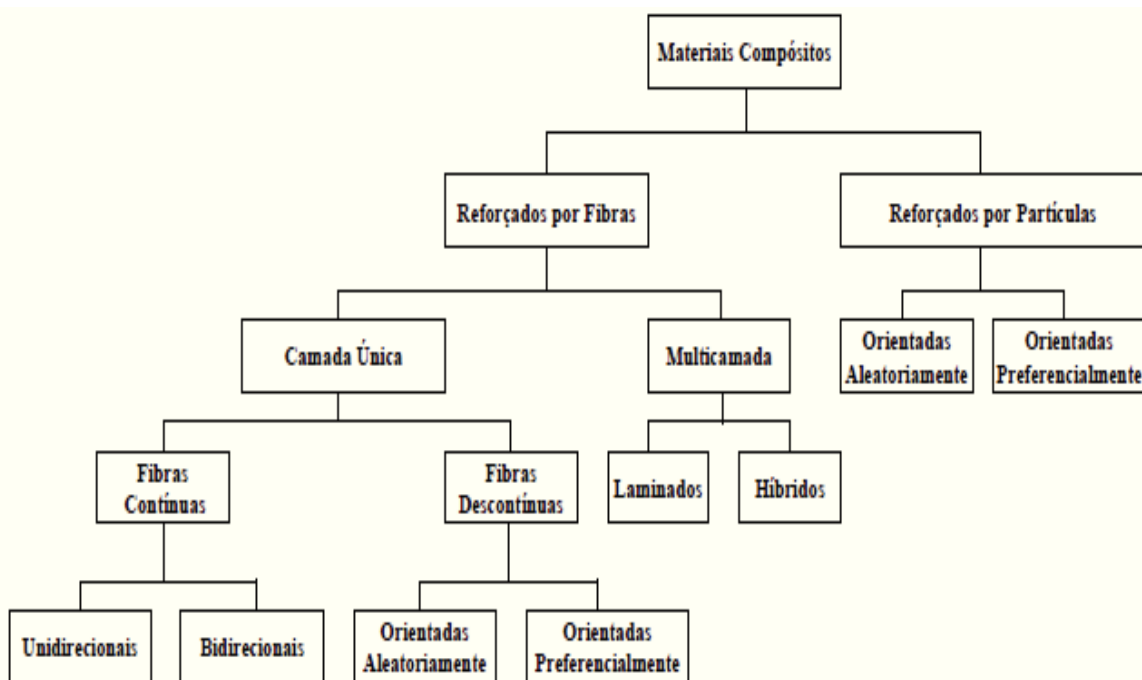


Figura 6 - Organograma da classificação dos materiais compósitos (MATTHEWS & RAWLINGS, 1994)

Um material compósito é um compósito de fibras quando este é constituído por fibras contínuas ou descontínuas, longas ou curtas. O arranjo das fibras e a sua orientação podem proporcionar a variação entre um material anisotrópico e um material isotrópico, podendo ajustar as propriedades físicas do material apenas alterando a natureza dos constituintes, a proporção e a orientação das fibras (Berthelot , 1998)

Um material compósito de partículas, ao contrário dos materiais com fibras, não dá privilégio a qualquer direção. As partículas são normalmente usadas nos materiais compósitos para tornar as propriedades mecânicas destes mais otimizadas. Como exemplifica (Berthelot , 1998) a escolha da associação partículas\matriz dependem das propriedades que queremos, como a rigidez, comportamento com a temperatura, a resistência à abrasão e decréscimo da retração. Em alguns casos é apenas uma forma de reduzir o preço da matéria sem com isto haver perdas das características do material.

Os materiais compósitos, podem, também ser categorizados pelas naturezas dos seus constituintes. De acordo com a natureza da sua matriz, os materiais compósitos são normalmente divididos em **quatro grandes categorias**:

Compósito de matriz polimérica (**CMP**), Compósito de matriz metálica (**CMM**), compósito de matriz cerâmica (**CMC**) e compósito de matriz carbono\carbono (**CCC**).

2.3.3 Constituintes dos materiais compósitos. Matrizes e fibras.

As resinas usadas nos materiais compósitos têm o objetivo de transferir para o reforço as cargas e simultaneamente proteger as fibras do ambiente exterior. As resinas devem, portanto, oferecer uma boa compatibilidade com as fibras e ter um fácil processamento. Contudo a resistência dos materiais plásticos à tração é relativamente baixa apresentando valores, por vezes inferiores a 70 MPa. (Smith, 1998)

Característica importante destes materiais é o facto dos materiais termoplásticos se tornarem mais processáveis sofrendo um amaciamento gradual com o aumento da temperatura.

A matriz dos compósitos, como já enunciado, pode ser um polímero, um metal ou mesmo cerâmica. O Compósito de matriz polimérica tem, ao longo do tempo, sido explorado devido às suas inúmeras aplicações no mercado.

O polímero pode ser termoplástico ou termoendúrecível, constituindo a fase contínua.

A escolha da matriz polimérica depende das propriedades que se pretende obter, quer sejam estas físicas ou mecânicas, assim como do processo de fabricação escolhido e do orçamento associado ao projeto. A matriz tem o papel de manter a integridade estrutural do compósito através da ligação simultânea da fase contínua com a fase dispersa. Outra das características da matriz é a transferência do esforço para a fase dispersa e simultaneamente a proteção da mesma do ataque do meio ambiente exterior.

A geometria da fase descontínua é um dos principais fatores a considerar, pois as propriedades mecânicas dependem da disposição, forma e dimensão desta fase. (Mueller, 2004)

A Figura 7 classifica os materiais compósitos relativamente ao tipo de matriz.

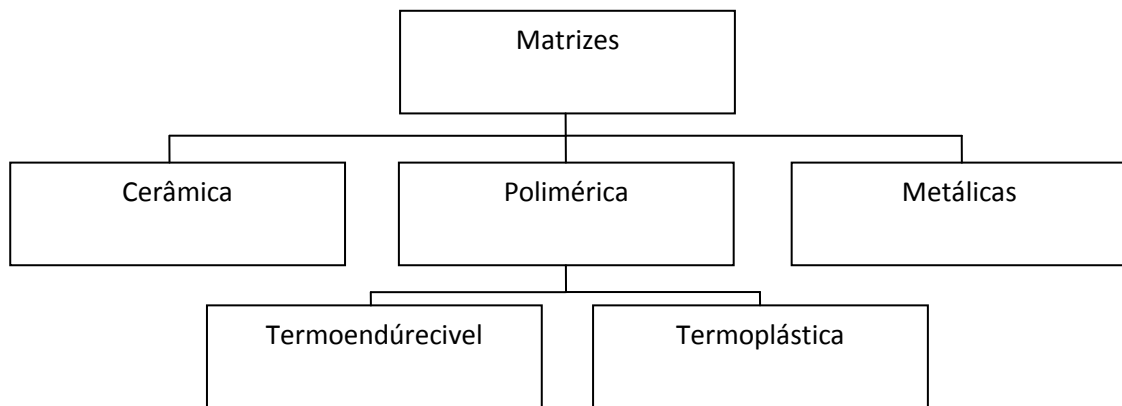


Figura 7 - Classificação dos materiais compósitos quanto à matriz Adaptado de (Mueller, 2004)

2.4 A Matriz.

As matrizes, como referido por (BROUTMAN, 1990) podem ser de materiais metálicos, cerâmicos ou poliméricos.

Devido ao facto das matrizes poliméricas terem uma boa resistência e baixo peso específico, aleado a uma boa processabilidade e baixo custo, são as mais usadas. Contudo, o baixo módulo de elasticidade e a temperatura de serviço baixa limitam em alguns pontos o seu uso.

No caso de estudo da órtese Ergohelp a matriz utilizada é uma matriz polimérica, a resina epóxida. Analisar-se-ão de forma geral algumas resinas, consideradas mais importantes, pelas suas utilizações e aplicações.

Como referencia (BROUTMAN, 1990) as matrizes poliméricas têm uma taxa de degradação elevada por meio de exposição prolongada à luz ultravioleta e a alguns solventes, não podendo assim “proteger” as fibras ou partículas dessas agressões. Estas matrizes estão separadas em duas grandes famílias: as termoplásticas e as termoendurecíveis.

Como explica (Moura, et al., 2008) as matrizes de natureza termoplásticas salientam-se por apresentarem maior resistência ao impacto, maior tenacidade, quando comparados com os polímeros termoendurecíveis

Outra característica realçada por este autor é a facilidade de processamento destes materiais, facilitando assim a sua produção industrial. Contudo salienta-se a dificuldade de impregnação no reforço, que condicionou a sua expansão no mercado. Ainda assim estima-se que atualmente represente 35% do mercado mundial dos materiais compósitos, como afirma o autor.

(Reinhart & Clements, 1987) referenciam que o papel principal da matriz ou fase contínua é manter a integridade estrutural do conjunto a fim de transferir para as fibras as forças que lhe são aplicadas. Tem também como papel importante proteger as fibras/partículas do meio exterior, de ataques como a corrosão ou abrasão. A matriz mantém as fibras na posição correta e na orientação adequada para poderem resistir aos carregamentos solicitados, distribuindo uniformemente as cargas pelas fibras.

Devido a este facto (CALLISTER, 2008) afirma que as forças adesivas da interface da fibra-matriz tem que ser robustas. A resistência à rutura de um compósito depende do da adesão ser adequada, maximizando assim a transferência das forças (carregamento) para as fibras.

2.4.1 Matrizes Termoendurecíveis.

As matrizes termoendurecíveis são constituídas por uma estrutura molecular polimérica bastante rígida, o que não permite ao contrário dos termoplásticos o reprocessamento destes materiais. Comummente estes materiais são fornecidos para serem processados em três componentes: A resina, o acelerador e o catalisador. Quando juntos de forma e nas quantidades corretas, dá-se a polimerização (Moura, et al., 2008), Nos pontos seguintes descrevem-se de forma sumária algumas resinas usadas comercialmente para a obtenção de materiais compósitos.

2.4.2 Resinas epóxicas

As resinas epóxicas, como refere (Moura, et al., 2008), são normalmente formadas por uma grande variação de formações químicas, baseando-se a maior parte delas no diglicidiléter de bisfenol (DGEBA). A cura destas resinas é feita através de um catalisador apropriado, como por exemplo as aminas alifáticas.

(Berthelot , 1998) afirma que as resinas epóxicas representam somente 5% de utilização no mercado dos compósitos, pois como refere, são extremamente caras, na ordem de 5 vezes mais caras que as resinas de poliéster.

Devido às suas propriedades mecânicas, esta resina também é também usada sem fibras, sem reforço, mas em compósito este material apresenta características muito superiores, sendo utilizado em indústrias tão exigentes como a aeroespacial.

De forma geral as características mecânicas das resinas epóxicas são as referidas na Tabela 4

Tabela 4 - características mecânicas das resinas epóxicas adaptado de (Berthelot , 1998)

-Densidade	1.100-1.500 Kg/m ³
-Módulo de tensão	3-5 GPa
-Resistência à tração	60-80 MPa
-Resistência à flexão	100-150 MPa
-Resistência de Cisalhamento	30-50 MPa
-Temperatura de deflexão térmica ou teste de distorção	290°C

2.4.3 Resinas Fenólicas

As resinas fenólicas são as resinas que há mais tempo se usam, sendo a baquelite a mais conhecida dentro deste grupo. (Berthelot , 1998)

As resinas fenólicas resultam da reação de fenol com o formaldeído em condições ácidas ou alcalinas conforme a resina que se pretende. (Moura, et al., 2008)

As resinas supracitadas podem apresentar-se no estado líquido (resóis) ou no estado sólido (novolacs), as variações de condições resultam da proporção de reagente e tempo de polimerização. O processo de obtenção de resóis verifica-se por meio alcalino, usando-se quando se pretende resinas translúcidas ou de cor muito clara. Característica geral destas resinas é o facto destas entrarem em processo de cura sem adição de um outro material. Já as resinas sólidas (novolacs) obtêm-se pelo processo designado por ácido e a sua reticulação faz-se por meio de um agente aditivo/endurecedor e calor, obtendo-se uma resina que se comporta muito bem à moldação por compressão e transferência, estas resinas normalmente apresentam uma coloração escura, (Moura, et al., 2008). Como afirma o autor, a libertação de gases voláteis na cura faz com que seja pouco usada em compósitos de elevado desempenho.

As características gerais das resinas fenólicas são referidas na Tabela 5

Tabela 5 - Características mecânicas das resinas fenólicas adaptado de (Berthelot , 1998)

-Densidade	1.200 Kg/m ³
-Módulo de tensão	3 GPa
-Resistência à tração	40 MPa
-Tensão de alongamento	2.5 %
-Resistência à compressão	250 MPa
-Temperatura de deflexão térmica ou teste de distorção	120°C

2.4.4 Resinas de Poliésteres

(Moura, et al., 2008), agrupa as resinas de poliéster em duas grandes classes, designadas por saturadas e insaturadas, no primeiro grupo estão os poliéster que se comercializam sob a forma de filme ou fibras, no segundo grupo encontram-se os poliésteres insaturados, que, devido ao seu baixo custo, facilidade de processamento e boas características mecânicas. Desta forma são os mais usados para a fabricação de materiais compósitos, (Moura, et al., 2008)

Na Tabela 6 são apresentadas as características gerais desta resina, após cura.

Tabela 6 - características mecânicas das resinas de poliéster insaturadas adaptado de (Berthelot , 1998)

-Densidade	1.200 Kg/m ³
-Módulo de tensão	2.8-3.5 GPa
-Módulo de flexão	3- 4.5 MPa
- Resistência à tração	50-890 MPa
- Resistência à flexão	90-130 MPa
- Alongamento	2-5%
- Alongamento à flexão	7-9%
- Resistência à compressão	90-200 MPa
- Resistência ao cisalhamento	10-20 MPa
- Temperatura de deflexão térmica	60-100°C

2.5 Reforço (Fibras)

As fibras são os elementos constituintes que conferem as características mecânicas como a rigidez ou resistência à rotura ao material compósito. (Berthelot , 1998)

Conforme a classificação de (MATTHEWS & RAWLINGS, 1994) relativamente aos reforços dos compósitos, os agentes de reforço podem assumir diferentes formas, como fibras alinhadas contínuas, fibras descontinuas, cristais alongados ou, partículas, organizando-se em diversas geometrias arquitetónicas. A Figura 8 apresenta, de forma esquemática alguns exemplos de arranjos de materiais compósitos reforçados por fibras e por partículas.

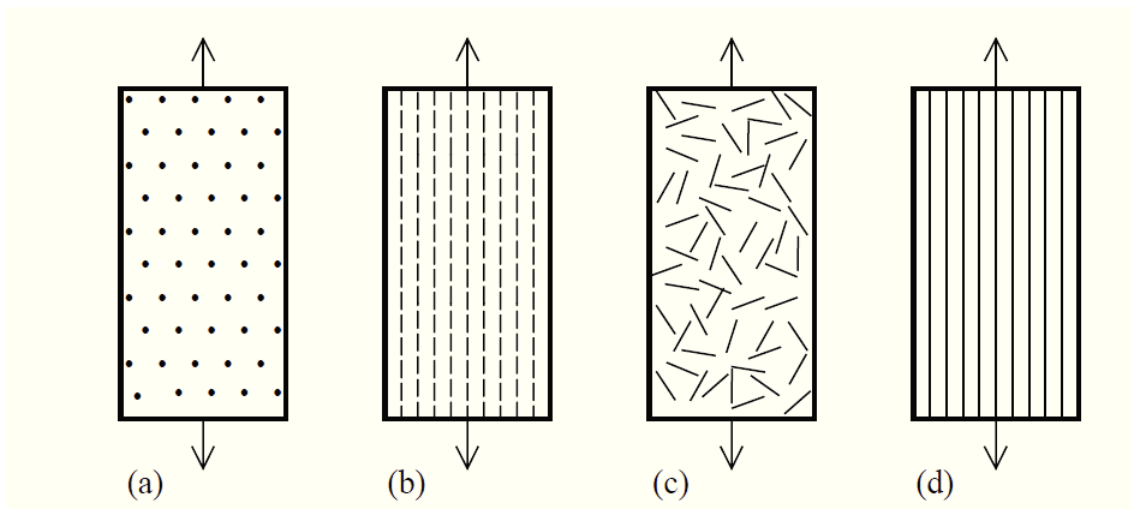


Figura 8 - Exemplo de arranjos de materiais compósitos reforçados por fibras e partículas. (a) Partículas aleatórias (b) fibras descontinuas unidireccionais (c) fibras descontinuas aleatórias (fibras contínuas unidireccionais (MATTHEWS & RAWLINGS, 1994)

(CALLISTER, 2008) considerou que as propriedades mecânicas de um material compósito não dependem unicamente das propriedades das fibras, mas também da forma como um certo carregamento é transmitido para as fibras por meio da matriz, esta transmissão de carregamentos é representada na Figura 9 onde o evento é em função do comprimento da fibra e da adesão ao interface (fibra / matriz). Portanto é necessário estabelecer um comprimento mínimo que garanta a rigidez e a resistência do compósito.

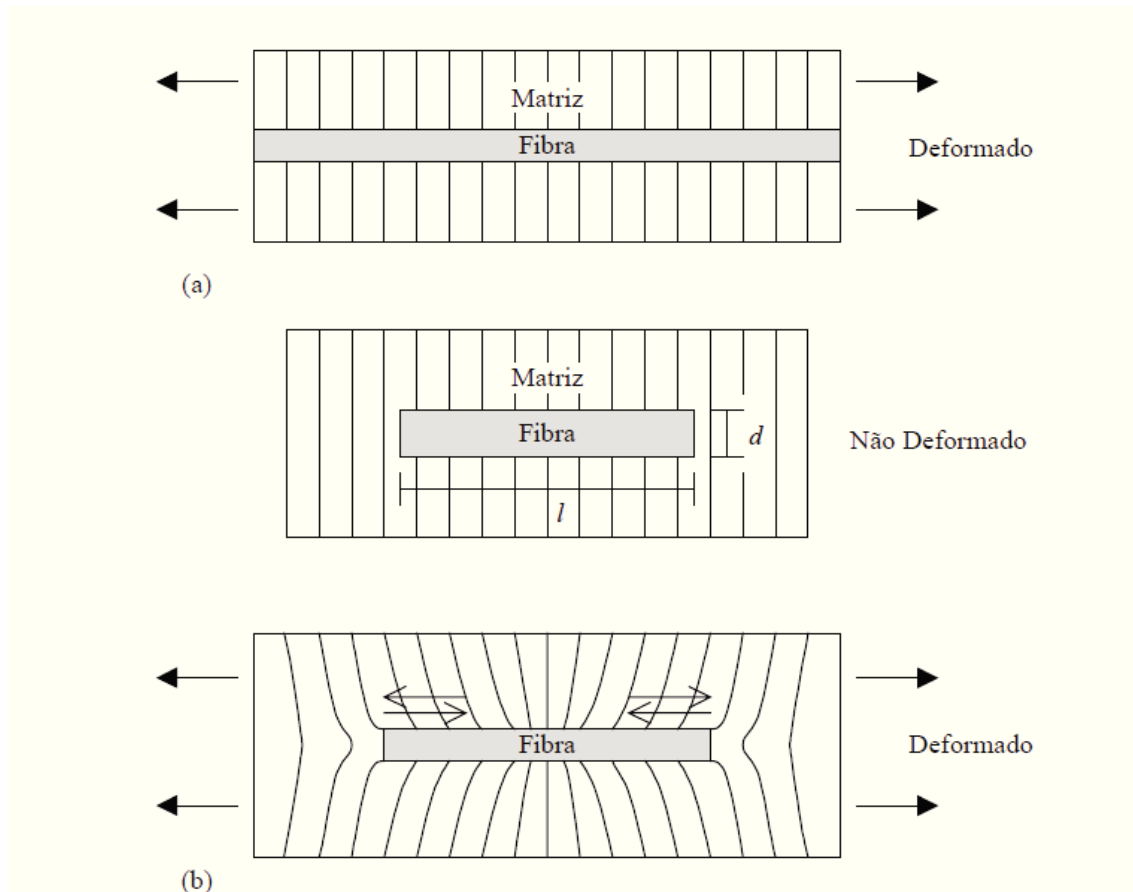


Figura 9 - Efeito da deformação ao redor da fibra na matriz sob tensão (a) fibra contínua, (b) fibra descontínua. (MATTHEWS & RAWLINGS, 1994)

Define-se o comprimento crítico como sendo o comprimento mínimo da fibra, sempre relativo a um determinado diâmetro, que admita a tensão de ruptura à tração da fibra em lugar da tensão de ruptura ao corte da interface.

Como afirma (CALLISTER, 2008) para um grande número de compósitos de fibra de vidro e carbono o comprimento crítico da fibra é de 1 mm, que varia entre 20% e 150% o diâmetro da fibra, respectivamente.

Quando uma tensão igual à resistência à tração de ruptura da fibra é aplicada à fibra, cujo comprimento é igual ao comprimento crítico, o perfil de posição da

tensão/carregamento máximo é apenas no centro do eixo da mesma (Figura 10), quando este é maior ou igual que o comprimento crítico, apresenta-se como representado na Figura 11 e Figura 12

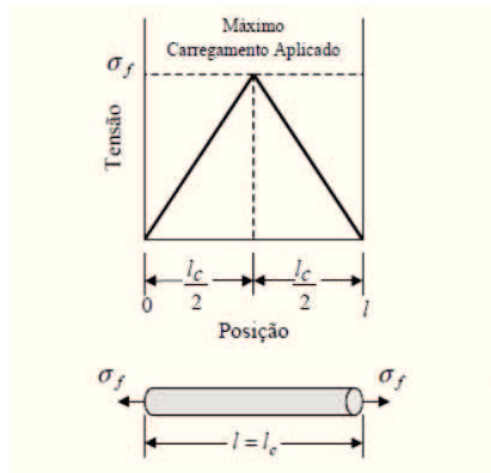


Figura 10 - gráfico de tensão X posição (comprimento da fibra é igual ao comprimento crítico (CALLISTER, 2008)

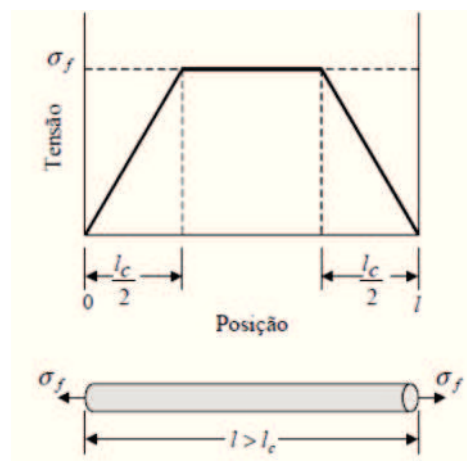


Figura 11 - Gráfico de tensão X posição (comprimento da fibra é Maior que o comprimento crítico) (CALLISTER, 2008)

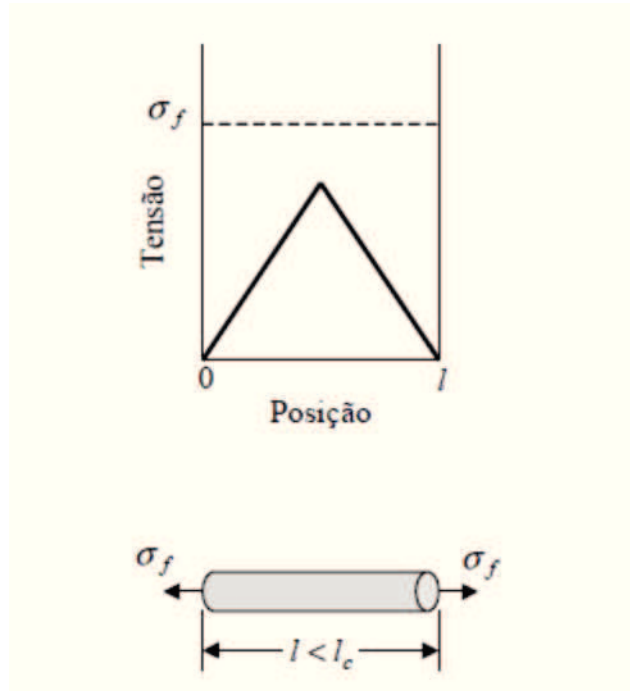


Figura 12 - É menor do que o comprimento crítico em que a tensão à tração é igual à resistência à tração da fibra (σ_f^*). (CALLISTER, 2008)

Com o aumento do comprimento da fibra, a eficiência do reforço aumenta pois o carregamento é distribuído pela fibra.

As fibras apresentam como característica fundamental uma elevada resistência à tração. Isto é são necessárias tensões muito elevadas para que se exibam deformações significativas, o que se deve ao alinhamento das macromoléculas numa direção paralela ao eixo da fibra. (Pouzada & Bernardo, 1983)

A Tabela 7 apresenta as propriedades mecânicas de uma seleção de fibras naturais de entre as, mais utilizadas como material de reforço nos materiais compósitos, observando-se uma grande oscilação das características de resistência e de elasticidade das fibras naturais.

Tabela 7 - Propriedades mecânicas de fibras naturais convencionais, adaptado de (Bledzki, 1999)

Tipo de fibra	Massa específica (g/cm³)	Alongamento (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Coco	1,2	30,0	175	4,0-6,0
Algodão	1,5-1,6	7,0-8,0	287-597	5,5-12,6
Juta	1,3	1,5-1,8	393-773	26,5
Linho	1,5	2,7-3,2	345-1035	27,6
Cânhamo	-	1,6	690	-
Rami	-	3,6-3,8	400-938	61,4-128
Sisal	1,5	2,0-2,5	511-635	9,4-22,0

Na Tabela 8 apresentam-se as características dos reforços mais usados nos mercados do compósito destacando entre elas as seguintes: (Daniel & V. Hoa, 2007)

- Fibra de vidro
- Aramid ou Kevlar® (muito leves)
- Fibras de carbono (módulo elevado ou alta resistência)
- Boro (módulo elevado ou alta resistência)
- Fibras de carboneto de silício (alta resistência à temperatura)

Tabela 8 - características dos reforços mais usados nos mercados do compósito, adaptado de (Daniel & V. Hoa, 2007)

Reforço	Diâmetro da fibra	Densidade P(kg/m ³)	Módulo de elasticidade (MPa)	Módulo de corte (MPa)	Coefficiente de Poisson	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)	Coefficiente de expansão térmica (°c ⁻¹)	Coefficiente de condutibilidade de térmica (W/M°c)	Capacidade térmica (j/kg°c)	Limite de temperatura útil (°c)	Preço (\$Kg)
“R” Fibra de vidro Performance	10	2500	86.000	-	0.2	3200	4	0.X10 ⁻⁵	1	800	700	14
“E” fibra de vidro comum	16	2600	74.000	30.000	0.25	2500	3.5	0.5X10 ⁻⁵	1	800	700	2
Kevlar 49	12	1450	12.000	12000	0.4	2900	2.3	-0.2X10 ⁻⁵	0.03	1400	-	70
“HT” grafite de alta Resistência	7	1750	230.000	50.000	0.3	3200	1.3	0.02X10 ⁻⁵	200(20°c) 60 (800°c)	800	>1500	70
“HM” grafite de alto módulo	6.5	1800	390.000	20.000	0.35	2500	0.6	0.08X10 ⁻⁵	200(20°c) 60 (800°c)	800	>1500	140
Boro	100	2600	400.000	-	-	3400	0.8	0.4X10 ⁻⁵	-	-	500	500
Alumínio	20	3700	380.000	-	-	1400	0.4	-	50 (20°c) 7 (800°c)	900	>1000	-
Silicato de alumínio	10	2600	200.000	-	-	3000	1.5	-	-	-	-	-
Carboneto de silício	14	2550	200.000	-	-	2800	1.3	0.5X10 ⁻⁵	-	-	1300	600
Polietileno	-	960	100.000	-	-	3000	-	-	-	-	150	-

2.5.1 Fibras de Vidro

Segundo (Moura, et al., 2008) as fibras de vidro constituem o reforço mais utilizado. A técnica mais comum de fabricação da fibra de vidro é o estiramento de vidro fundido através de uma fieira em liga de platina-ródio com orifícios de dimensões muito precisas. (Figura 13)

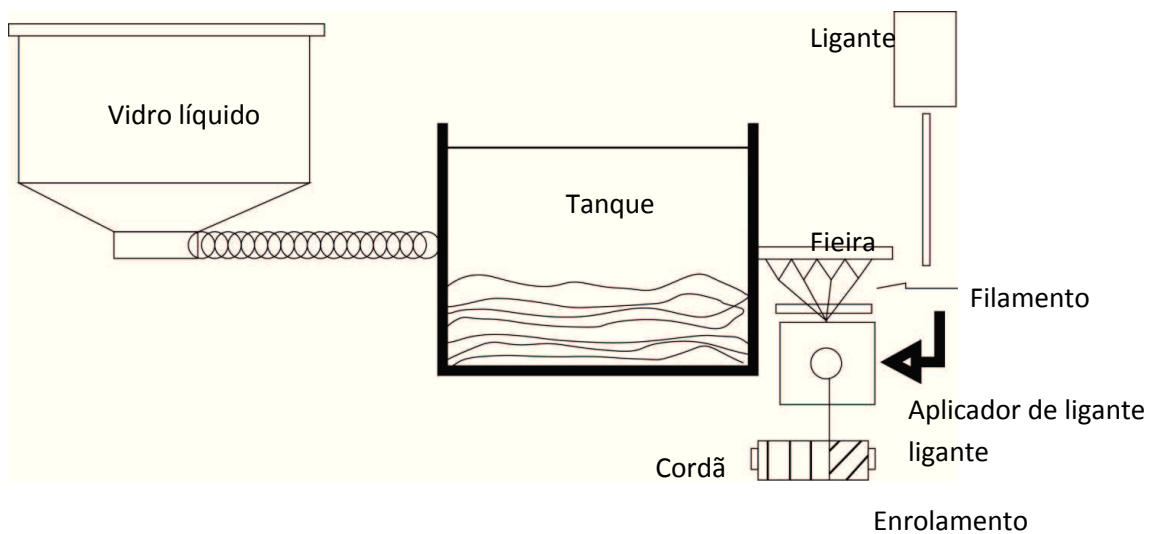


Figura 13 - Estiramento de fibra de vidro extrudida. Adaptado de (Moura, et al., 2008)

A temperatura de fusão da fibra ronda por norma 1260°C, sendo posteriormente à saída da fieira sujeita a tratamentos superficiais, que variam consoante a utilização, como o autor (Moura, et al., 2008) exemplifica, pode ter um revestimento têxtil para fabrico de tecidos sem possibilidade de danificar a fibra ou um revestimento plástico para permitir a compatibilização da fibras com várias matrizes orgânicas.

Atualmente produzem-se vários tipos de fibras de vidro, tendo aplicações distintas. A Tabela 9 define as diferentes fibras de vidro assim como as características gerais e propriedades mecânicas das mesmas.

Tabela 9 - Definição das diferentes fibras de vidro, características gerais e propriedades mecânicas, adaptado de (Berthelot , 1998) e (Moura, et al., 2008)

Tipo	Características Gerais	Densidade (g/cm ³)	Módulo de Young	Tensão de rotura (MPa)	Deformação na rotura	Coefficiente de expansão térmica (10 ⁻⁶ /°C)
E	Utilizações gerais, boas características elétricas	2.6	73.0	3400	4.4	5.0
D	Altos valores dielétricos	-	-	-	-	-
A	Alto conteúdo alcalino	-	-	-	-	-
C	Boa resistência química	-	-	-	-	-
R ₁	Alta resistência mecânica	2.55	86.0	4400	5.2	4.0
S	Alta resistência mecânica	2.49	85.5	4580	5.3	2.9

2.5.2 Fibras de carbono

O grafite tem uma estrutura hexagonal de carbono disposta em paralelismo com os planos cristalográficos, (Figura 14). Estes planos, como refere (Berthelot , 1998), estão dispostos de forma a que um átomo de carbono esteja no meio do hexágono dos planos vizinhos: As ligações entre os átomos de carbono e a estrutura hexagonal vizinha é fraca, dando ao grafite boas propriedades de condutibilidade térmica e elétricas.

Em contraste, as ligações entre átomos vizinhos no mesmo plano são muito fortes transmitindo altas propriedades mecânicas na direção paralela aos planos cristalográficos, podendo-se prever, como refere (Berthelot , 1998), um módulo de Young de 1.200 GPa e uma resistência à tração de 20.000 MPa, sendo a densidade menos de 2.000 Kg/m³

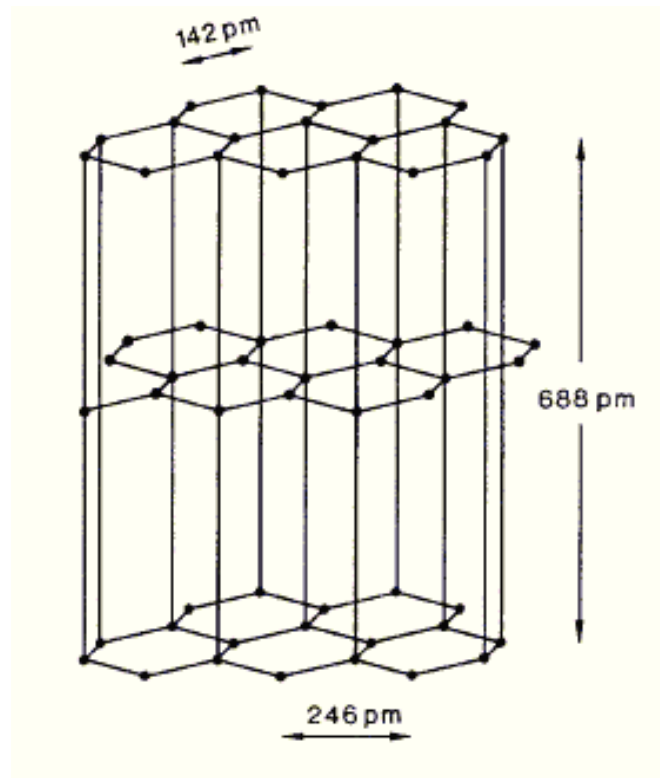


Figura 14 - Estrutura cristalina do grafite. (Anon., s.d.)

As fibras de carbono, segundo (Moura, et al., 2008), são classificadas em duas vertentes, as fibras de carbono, propriamente ditas, que contêm de 80 a 95% de carbono e as fibras de grafite onde a percentagem de carbono chega aos 100%, sendo estas aplicadas em compósitos de elevado desempenho como a indústria aeroespacial.

(Berthelot , 1998) e (Moura, et al., 2008) afirmam que a tecnologia para a produção de fibras de carbono centra-se na decomposição de essencialmente três precursores orgânicos, como a celulose, dando origem às “rayon fibers” o poliacrilonitrilo (PAN) e o alcatrão (“pitch”) seguindo algumas características específicas como possuir resistência apropriada e características de manuseamento que permitam estas ficarem unidas durante todo o processo de conversão em carbono, não fundir em qualquer parte do processo e não volatilizar completamente durante o processo de pirólise.

Segundo (Moura, et al., 2008) a produção a partir da celulose foi o primeiro processo usado, contudo as baixas propriedades mecânicas fez com que este processo caísse em desuso. Mesmo melhorado posteriormente, o processo solicitava grandes temperaturas o que o tornava muito dispendioso.

O processo, por contraste, mais usado pela indústria automóvel é o de obter as fibras a partir de precursor de alcatrão. Com características inferiores ao processo anteriormente descrito esta indústria foca a sua utilização pelo seu baixo preço de fabricação (Berthelot , 1998) e (Moura, et al., 2008)

O processo atualmente mais utilizado na indústria é o poliacrilonitrilo com as seguintes etapas: Oxidação;> **Carbonização**;> **Grafitização** e **Tratamento superficial**. (Figura 15)

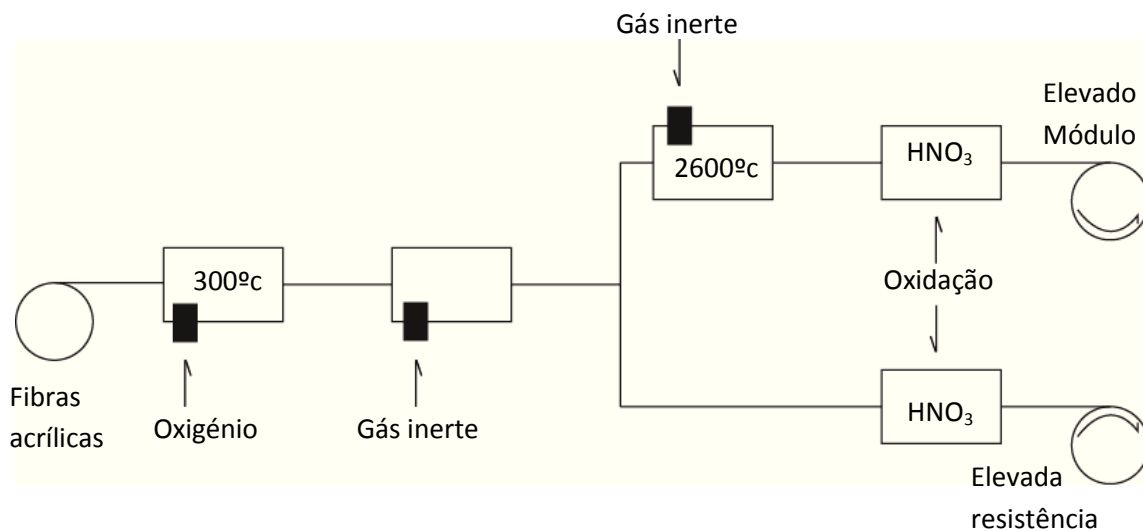


Figura 15 - Processo de obtenção de fibras de carbono a partir de poliacrilonitrilo (PAN), adaptado de (Berthelot , 1998) e (Moura, et al., 2008)

As fibras de carbono segundo (Donnet & BAnsal, 1990) são classificadas com base na sua resistência mecânica e comercializadas segundo as seguintes designações:

UHM (ultra high modulus) fibras com módulos superiores a 500 GPa;

HM (High modulus) fibras com módulos superiores a 300 GPa e o rácio de resistência mecânica/módulo em tração inferior a 1%;

IM (intermediate modulus) para fibras com módulos até 300 GPa e o rácio de resistência mecânica/módulo de cerca de 1%;

HS (High strength) para fibras com módulos até 3 GPa e o rácio de resistência /rigidez entre 0.015 e 0.02.

A Tabela 10 refere as propriedades mecânicas das fibras de carbono obtida por os processos acima descritos.

Tabela 10 - Propriedades mecânicas das fibras de carbono, adaptado de (Moura, et al., 2008)

Propriedades	PAN	Alcatrão “Pitch”	“Rayon Fibers”
Densidade (g/cm ³)	1.8	2.0	1.7
Módulo de Young	200-400	300-700	415-680
Tensão de rotura (MPa)	2480-5600	1900-2200	2070-2760
Deformação na rotura	0.6-1.2	1-1.5	0.5-0.6
Coefficiente de expansão térmica axial (10 ⁻⁶ /°c)	-0.7 a -0.5	-1.6 a -0.9	-

A Tabela 11 refere as propriedades mecânicas das fibras de carbono comparativamente às fibras de vidro “E-glass”

Tabela 11 - Propriedades mecânicas das fibras de carbono comparativamente às fibras de vidro “E-glass” adaptado de (Berthelot , 1998)

Propriedades	E-glass	HR carbono	HM carbono	UHM carbono	HM Carbono (Pitch) ¹
Densidade ρ (Kg/m ³)	2.600	1.750	1.810	1.950	2.000
Diâmetro (μ m)	10-20	5-7	5-7	5-7	12
Módulo de Young E_f (GPa)	73	230	400	600	280
Modulo específico E_f/ρ (MN m/kg)	28	130	210	310	140
Tensão de rotura (kN m/kg)	3.400	3.000-4.000	2.800	2.000	2.000-2.400
Força específica	1.300	1.710-2.290	1.550	1.030	1.000-1.200
Preço de referência	1* ²	10-15	30-50	200-400	50-100

¹ Hm (Pitch): Fibras obtidas por Pitch

² 1* = 15F/kg in 1996

2.5.3 Fibras de Aramídicas

As fibras aramídicas podem ser de origem orgânica e sintética, obtidas por trefilagem de poliamidas aromáticas (benzeno). São normalmente designadas pelo nome comercial de KEVLAR da empresa *dupont*, que comercializou pela primeira vez esta fibra em 1972. (Moreira, 2009) e (Moura, et al., 2008).

Na produção desta fibra a solução polimérica é mantida a baixa temperatura entre os -50 e -80°C sendo posteriormente extrudada a 200°C fazendo com que a cadeia molecular fique alinhada conseguindo-se melhores propriedades mecânicas, (Moura, et al., 2008), apresentando uma excelente resistência química, uma ótima relação rigidez-peso, boa resistência ao impacto e à fadiga, tendo também uma boa capacidade de absorção e amortecimento de vibrações, sendo o seu coeficiente de dilatação muito semelhante ao da fibra de carbono. (Mazumdar, 2002.)

A Tabela 12 representa as propriedades mecânicas de alguns tipos de fibra Aramídicas.

Tabela 12 - propriedades mecânicas de alguns tipos de fibra Aramídicas, adaptado de, (Moura, et al., 2008)

Propriedades	Kevlar® 29	Kevlar® 49	Twaron®
Densidade (g/cm ³)	1.44	1.45	1.44
Módulo de Young	60	129	60
Tensão de rotura (MPa)	3000	3000	2600
Deformação na rotura	3.6	1.9	3
Coefficiente de expansão térmica axial (10 ⁻⁶ °C)	-2.0	-2.0	-

2.6 Formas dos reforços (arquitetura)

Os reforços podem apresentar diferentes formas, desde rolo (roving), mantas, tecidos 2D, malhas e tecidos 3D. Mediante o processo de fabrico para a obtenção do material compósito, a escolha da forma do reforço é seleccionada.

2.6.1 Roving

O *roving* trata-se de um cordão de filamentos enrolados de forma contínua. Por norma o *roving* é constituído por fibras com diâmetros de 9 ou 13 μm . podendo ser usado para a produção de fibras curtas, para modelação por projecção, ou mesmo para produção de entrelaçados, de mantas, de malhas ou híbridos. (Figura 16) (Moura, et al., 2008)

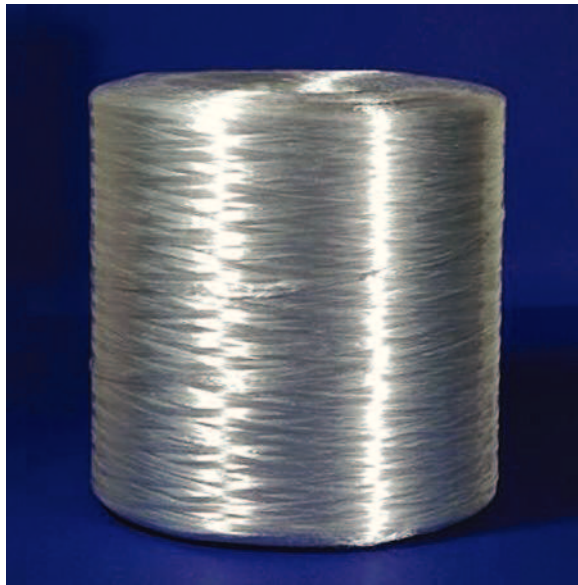


Figura 16 - Bobine de *roving* (2.bp, s.d.)

2.6.2 Mantas

As mantas podem ser fabricadas de fibras contínuas ou descontínuas, alinhadas ou dispostas aleatoriamente no plano, agregadas por um ligante em emulsão ou em pó. A grande diferença entre as mantas de fibras curtas e as de fibras contínuas assenta essencialmente no grau de deformabilidade, sendo a primeira difícil de deformar e a segunda permite-nos obter curvas complexas num desenho regular em todas as direções. Este tipo de manta contínua é particularmente utilizada para moldes com cavidades fundas e formas complexas, usadas em processos de produção como moldagem por vácuo, por pressão ou até mesmo por injeção. (Berthelot , 1998)

As mantas podem ser fundamentalmente de três tipos: Designadas de **CSN** (*chopped strand mat*) quando se trata de mantas com filamentos cortados; **CRM** (*continuous random mat*) quando se trata de filamentos contínuos e **mantas de superfície** cujo comprimento típicos são inferiores a 50mm. (Moura, et al., 2008) (Figura 17)

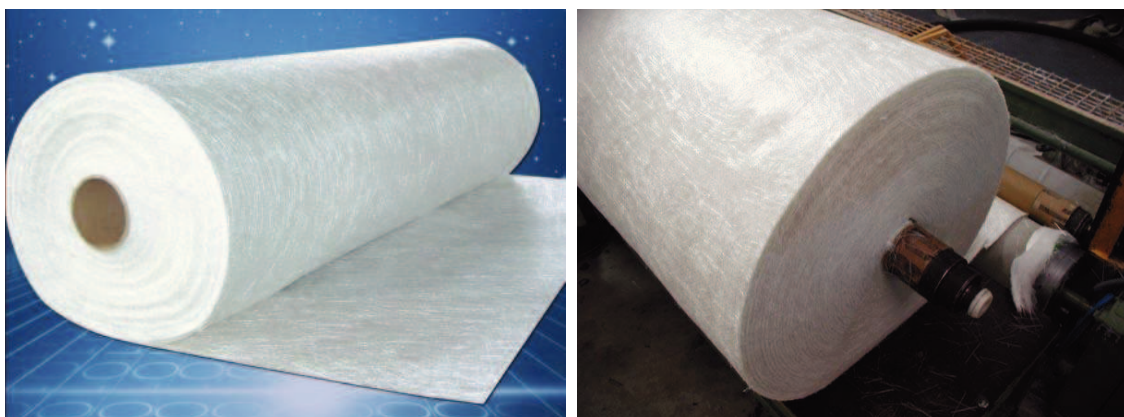


Figura 17 - Manta CSN e Manta CRM (Anon., s.d.)

2.6.3 Tecidos 2D

OS tecidos podem ser do tipo 2D e 3D, definindo-se, como refere (Moura, et al., 2008), como a confecção de uma ligação entre feixes de fibras longas, podendo ser de carbono vidro ou aramida, sendo possível a combinação destas. Os tecidos existem em várias larguras, espessuras e resistências mecânicas, devendo ser estáveis para o manuseamento, para o corte e aplicação, mantendo contudo um grande grau de conformação ao molde, propriedade intitulada de *drapability*.

Os tecidos entrelaçados, comercialmente intitulados de *woven fabrics*, são produzidos pelo entrelaçamento de fibras em direções perpendiculares, apresentando vários padrões possíveis. (Berthelot , 1998) identifica cinco tipos de padrões,o *pailn weave*;o *serge weave*; *8-shafl satin weave*; *cross-ply weave* e *unidirecional weave*.. (Figura 18)

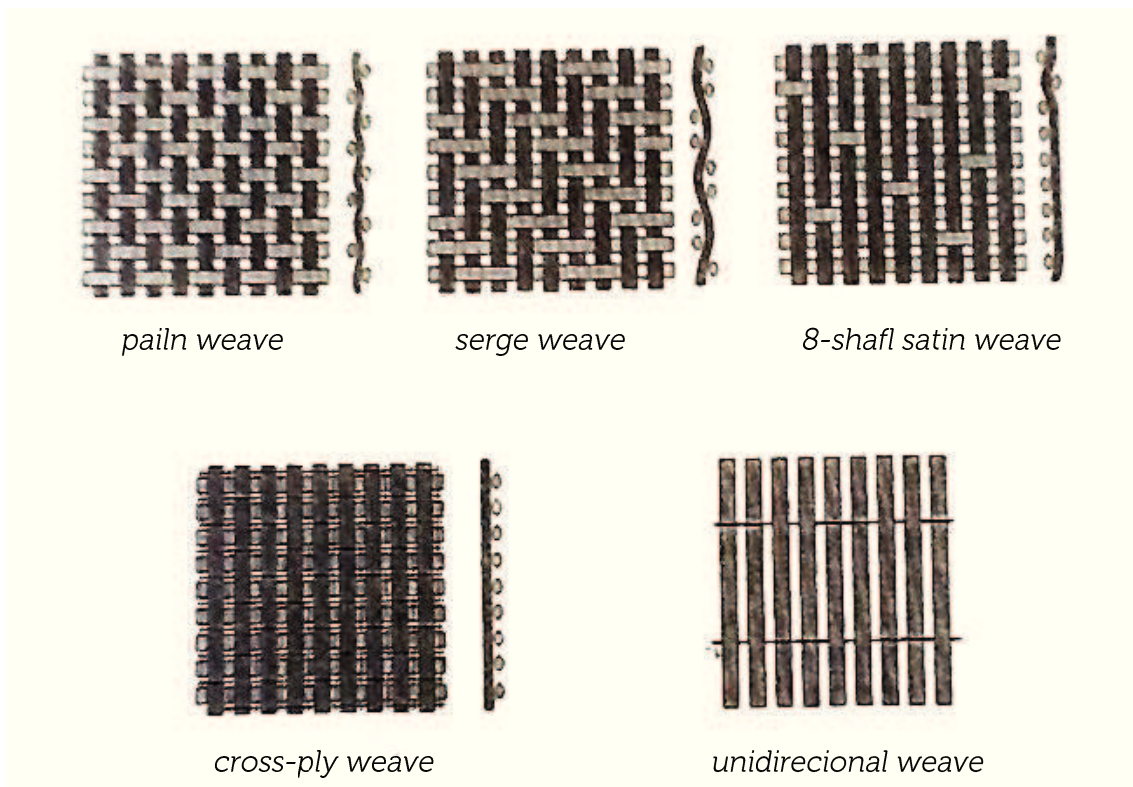


Figura 18 - Diferentes tipos de padrão das fibras 2D, adaptado de (Berthelot , 1998)

Como referido anteriormente é possível a combinação de vários tipos de fibras, quando se pretende uma resposta mecânica mais eficaz, a combinação destas fibras em tecidos 2D intitula-se de tecidos híbridos. Juntando as características favoráveis de cada fibra. A utilização de tecidos híbridos permite confeccionar compósitos com algumas vantagens, nomeadamente a minimização de distorções de origem térmica, um melhor compromisso de resistência mecânica e ainda redução de peso e custo. (Moura, et al., 2008)

2.6.4 Malhas

As malhas são produzidas pela ligação de camadas sucessivas de fibras alinhadas, Na Figura 19 representa-se um exemplo de uma malha com várias camadas cozidas entre si. Com este tipo de reforço e com a utilização de diferentes orientações da fibra consegue-se, como refere (Moura, et al., 2008), um reforço quase isotrópico.

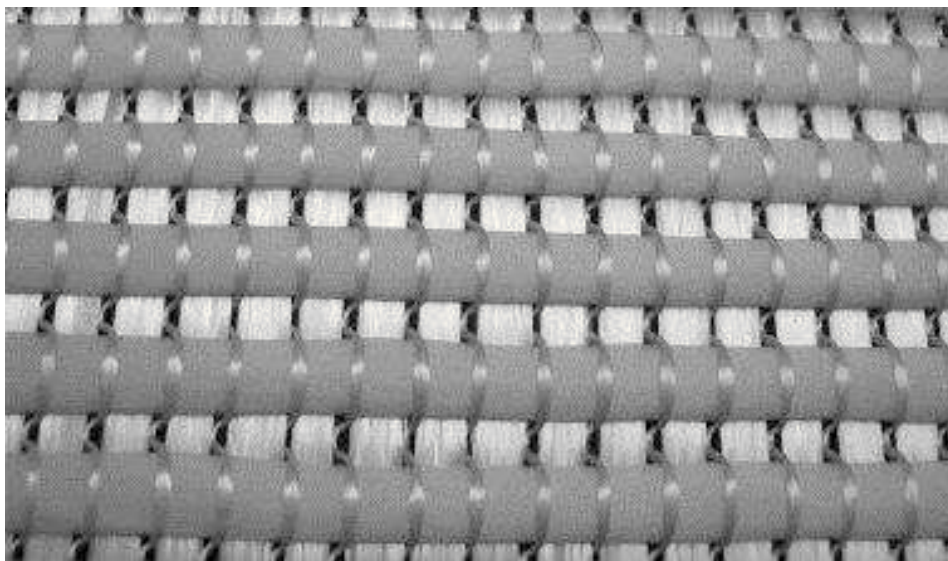


Figura 19 - Exemplo de uma malha com varias camadas cozidas entre si, retirado de (R. Böhm, 2011)

2.6.5 Tecidos 3D

Os tecidos 3d, *Multidirectional Woven structures*, consistem em uma ou mais camadas de *layers* de fibras longas, agregadas entre si por uma banda de rodagem de costura secundária não estrutural.

As fibras principais podem ser qualquer tipo de fibras ou mesmo combinação entre várias, o fio de costura que agrega o conjunto é por norma fio de poliéster, devido ao seu baixo custo e adaptabilidade na combinação/adequação às fibras do tecido 3D. Este processo permite uma variedade na orientação das fibras, para além do 0/90° que encontramos nos tecidos simples. Na Figura 20 apresenta-se o modelo de um tecido 3D. (Mário & Raul Fanguero, 2008,)

Os tecidos 3D são geralmente mais caros devido ao seu processo de confecção representado na Figura 21. Estes estão disponíveis em forma tubular ou plana, apresentando uma boa conformabilidade, e podendo ser utilizados como reforço no fabrico de produtos como raquetes de ténis ou pás de hélices de avião. (Moura, et al., 2008)

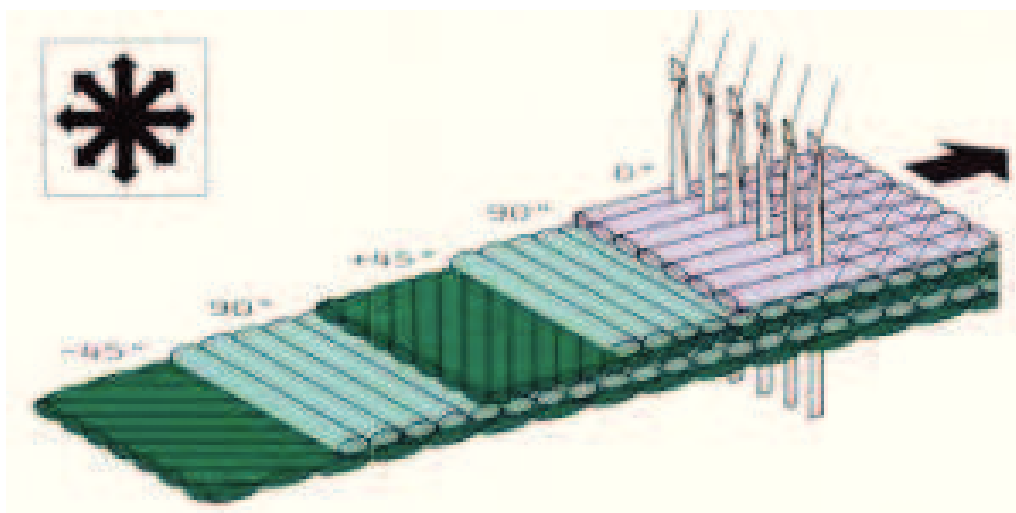


Figura 20 - modelo de um tecido 3D. (Mário & Raul Fanguero, 2008,)

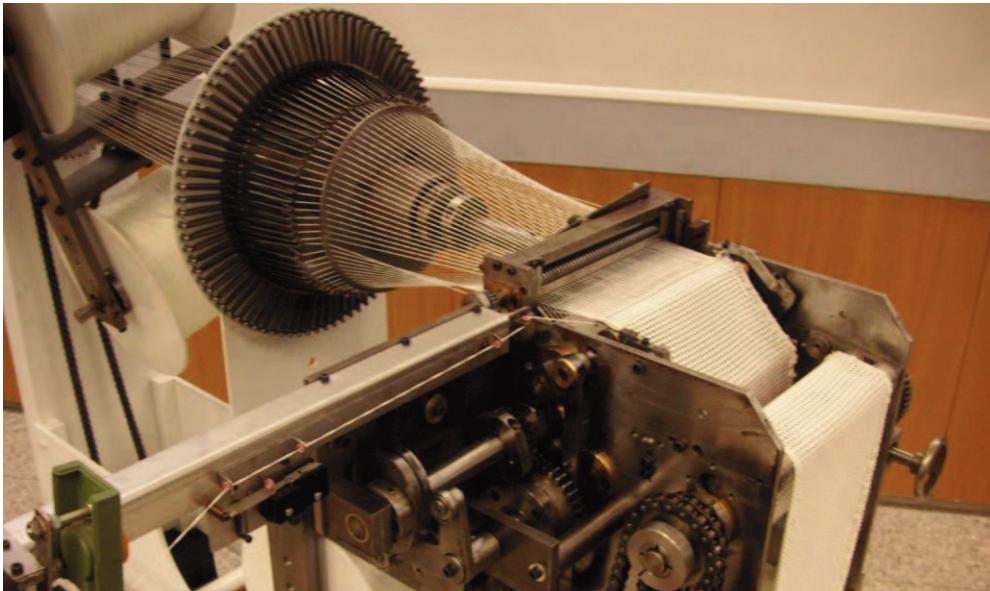


Figura 21 - Fabricação de um tecido 3d (Mário & Raul Fanguero, 2008,)

2.7 Processos de fabrico dos materiais compósitos:

Os processos de fabricação de materiais compósitos são inúmeros, devendo ser selecionados segundo requisitos como as propriedades mecânicas, a complexidade da peça, taxa de produção e dimensão.

(Moura, et al., 2008) afirma que, geralmente, os processos de fabricação de materiais compósitos são classificados em: Processamento em molde aberto e processamento em molde fechado.

2.7.1 Moldação por contacto

A moldação por contacto trata-se de um processo a molde aberto, que tem duas variantes possíveis; a moldação manual e a moldação por projeção. Este tipo de processo tem como princípio o empilhamento e a impregnação de camadas sucessivas de reforço, podendo ser tecido ou mesmo manta.

2.7.1.1 *Moldação Manual*

A moldação manual consiste, segundo (Pereira, 2003) na aplicação de um desmoldante sobre a cavidade do molde, posteriormente aplica-se uma resina, sendo as fibras depositadas sobre o molde, em seguida são impregnadas com resina e compactadas com um rolo. O processo repete-se com a colocação de lâminas sucessivas. Como afirma o autor a cura da resina pode ser feita com ou sem o molde, dependendo da geometria da peça, sendo possível a cura ser feita à temperatura ambiente ou acelerada em estufa à temperatura de 80°C /120°C. Após a cura e desmoldagem a peça esta pronta para acabamentos.

(Moura, et al., 2008) refere esta técnica como adequadas para a produção de pequenas séries abaixo das 1000 peças. As principais vantagens do processo são a simplicidade, o investimento inicial reduzido e poucas restrições formais da peça. Como desvantagem o autor refere a necessidade de mão-de-obra, que pesa bastante em todo o processo, o acabamento superficial, que é só possível numa das faces, sendo ainda sempre necessário rebarbar e dar um bom acabamento superficial. As aplicações habituais, segundo (Moura, et al., 2008), são a fabricação de pequenos barcos de recreio e reparações /reforço de pontes. Na Figura 22 é representado de forma esquemática o processo por moldação manual.

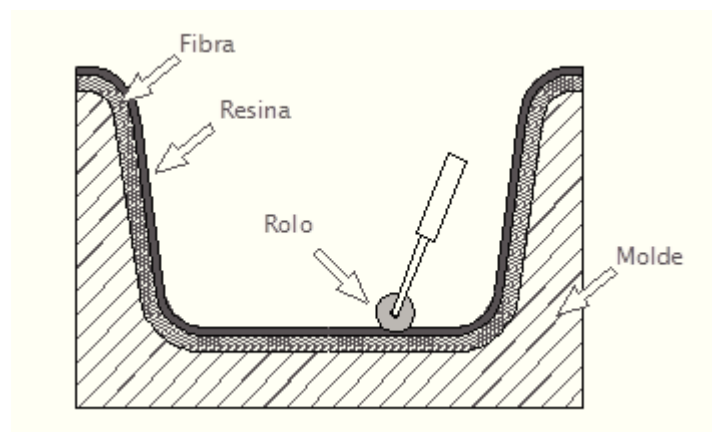


Figura 22: Processo por moldação manual. Adaptado de (Pereira, 2003)

2.7.1.2 Moldação por projeção

A moldação por projeção consiste na aplicação em simultâneo de resina e fibra sobre um molde. Esta projeção é feita através de uma pistola, processo representado na Figura 23. Por norma a fibra utilizada está sob a forma de *roving*, cortada com a dimensão pretendida na ponta da pistola, onde é projetada num jacto de resina. Neste processo pode ser utilizado um contramolde para a obtenção de faces lisas, proporcionando uma melhor compactação entre as lâminas.

A vantagem deste processo em relação ao anterior é, como afirma (Pereira, 2003) permitir uma produção em série das peças. No entanto, as características mecânicas das peças são mais reduzidas devido ao facto das fibras serem cortadas na saída da projeção.

O processo de moldação manual, (Figura 23 e Figura 24), adequa-se a pequenas séries, cerca de 1000 peças (Moura, et al., 2008) (Berthelot , 1998)

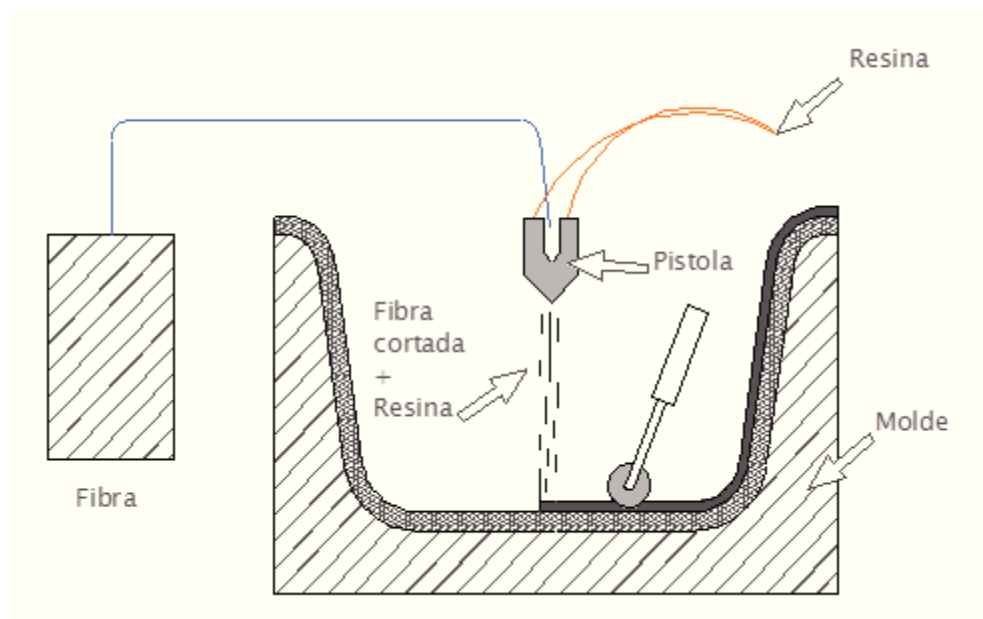


Figura 23 - Processo de moldação por projeção, adaptado de (Pereira, 2003)



Figura 24 - aplicação da técnica de moldação por projeção. (nodyapi, 2010)

2.7.2 *Moldação por vácuo*

A moldação por vácuo, semelhante à prensagem a frio, tem como vantagem exigir um menor investimento em moldes e equipamentos. (Moura, et al., 2008) No processo representado Figura 25, a resina é injetada a baixa pressão no interior do molde ou alternativamente as fibras e a resina podem ser colocadas manualmente como na moldagem sem pressão, ou automaticamente por projeção simultânea. Neste caso um contramolde e uma bomba a vácuo são utilizados para permitir uma melhor compactação e evitar a formação de bolhas, este processo permite a obtenção de superfícies mais lisas nas duas faces reduzindo as bolhas de ar e admite até 70% de volume de fibras (Pereira, 2003) e (Moura, et al., 2008)

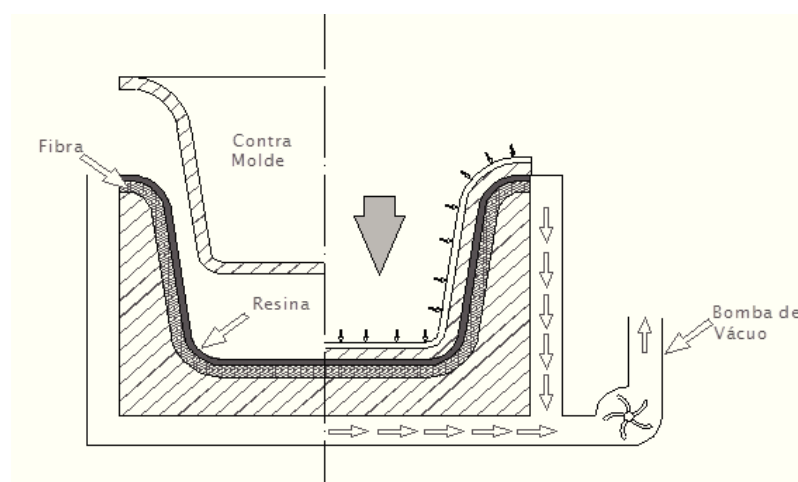


Figura 25 - Processo de moldação por Vácuo, adaptado de (Pereira, 2003)

No caso de estudo da órtese Ergohelp, o processo utilizado fora a moldação por vácuo que irá ser objeto de análise no capítulo 3, cuja ferramenta para edificação do modelo fora obtida por fabricação rápida abordada no capítulo 5, explicando a obtenção da mesma. A Figura 26 representa os paços gerais para a obtenção de uma peça por moldação por vácuo. A sequência da imagem seguinte ilustra passo a passo o processo acima referido

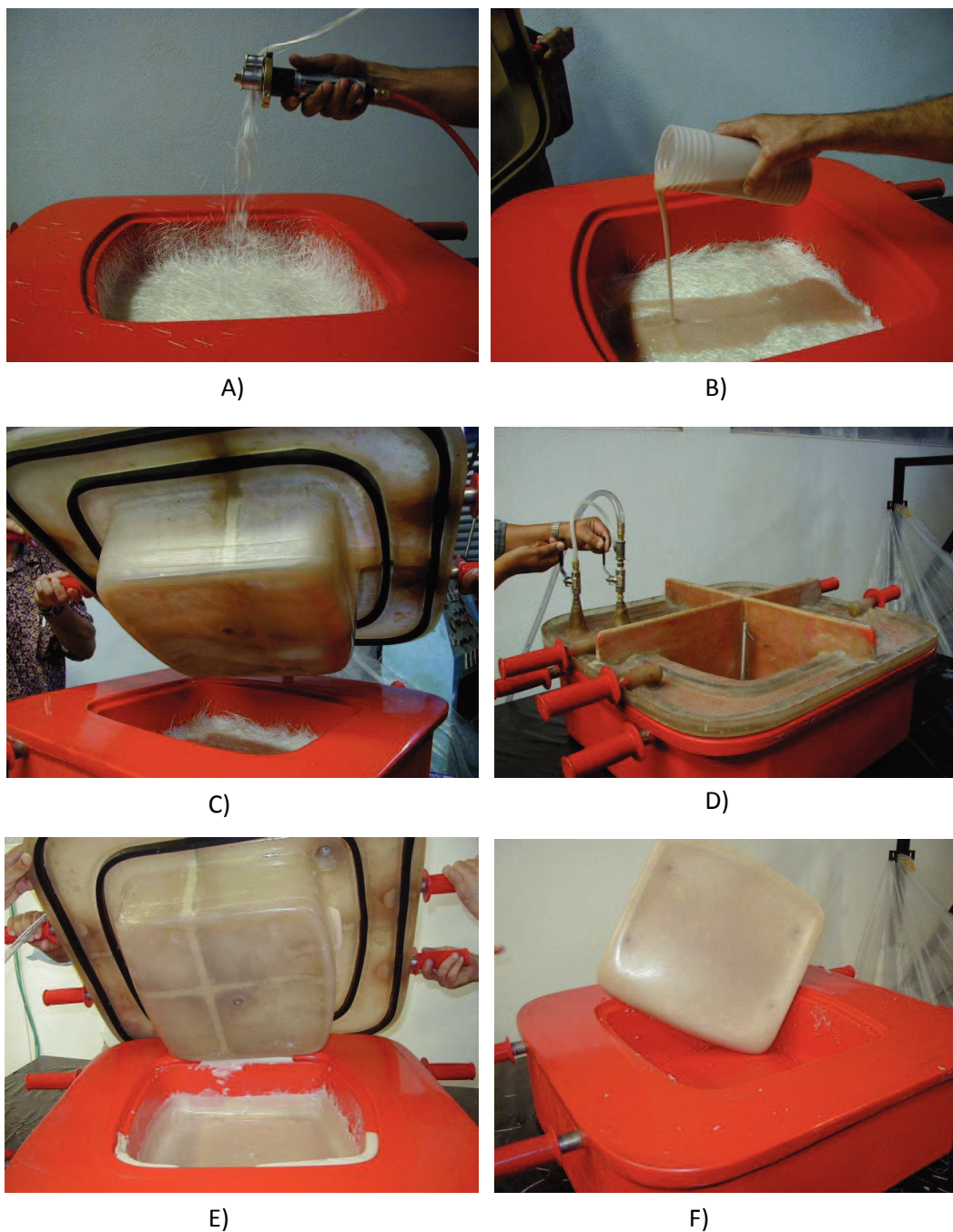


Figura 26 - Processo de moldação por Vácuo. A) Deposição do roving B) Deposição manual da resina C) Fecho do molde D) O vácuo é acionado para fechar o molde E) Peça antes de ser desmoldada e a resina no canal de excesso F) Peça final com 2 faces lisas. (owenscorning, s.d.)

2.7.3 *Moldação Manual assistida por vácuo*

A moldação manual assistida por vácuo, é como refere (Ramos, 2006) uma extensão do processo de moldação manual, em que o ar é extraído através de uma bomba de vácuo criando dentro do filme de vácuo uma atmosfera controlada para a cura do laminado. Com este processo é possível processar laminados com um volume de fibras até 70% (Moura, et al., 2008) A Figura 27 refere as etapas do processo.

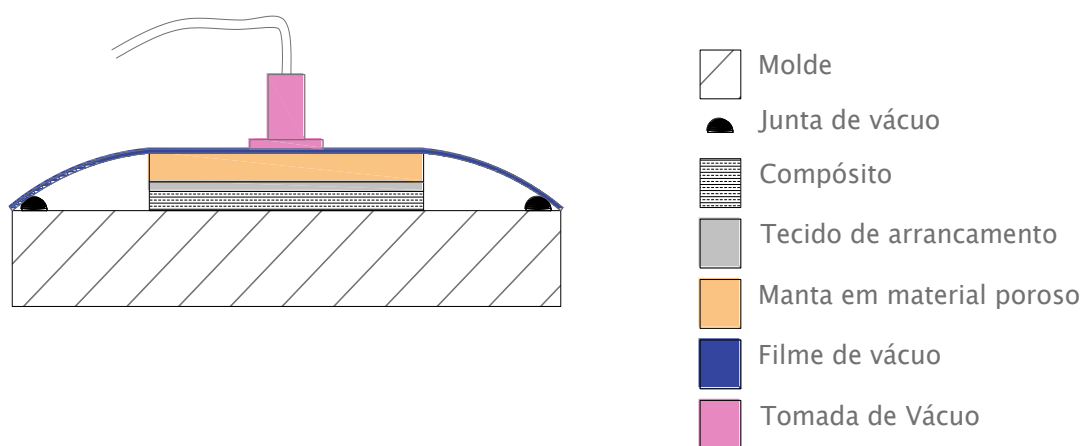


Figura 27 - Etapas comuns da moldação assistida por vácuo.

O processo é indicado para peças com geometria pouco complexas ou produções limitas, a resina é uniformemente distribuída pelas fibras, compactando-as através da pressão criada pela bomba de vácuo, este processo permite pelo processo referido a produção de laminados com boas características mecânicas associado a custos de produção reduzidos.

As etapas deste processo consistem na criação de um molde que é delimitado por uma junta de vácuo que irá selar a atmosfera de vácuo. No centro do molde é criada a área onde as fibras são impregnadas, e de seguida colocado o tecido de arrancamento, constituído de fibra de vidro, poroso e impregnado de material desmoldante, a porosidade do material permite a saída do excesso de resina que é absorvida pela manta em material poroso que simultaneamente absorve a resina em excesso e uniformiza a compactação, por último é colocado o terminar de vácuo antes do filme de vácuo que

sela o molde. De seguida é encaixada a tomada de vácuo e inicia-se o processo de cura em ambiente controlado, onde a consolidação da estrutura é feita pela pressão criada pela atmosfera de vácuo,

2.7.4 *Moldação por Compressão: a frio e quente*

A moldação por compressão, pode ser feita a quente ou a frio dependendo da necessidade de aquecimento ou não do molde. De forma geral os produtos produzidos são peças aplicadas nas carroçarias automóveis, componentes da indústria automóvel, materiais sanitários como as banheiras e até mobiliário urbano. (Moura, et al., 2008).

Neste processo a resina é injetada sob pressão no espaço entre o molde e o contra-molde podendo a cura ser feita à temperatura ambiente ou em uma estufa. Nos casos em que o molde e o contra-molde são aquecidos, o processo é chamado de compressão a quente em que a cura da resina é feita no próprio molde. (Pereira, 2003) (Figura 28)

No processo a frio as pressões são baixas e as temperaturas na ordem dos 30 a 45°C o que permite usar prensas leves e moldes mais baratos. A desvantagem mais evidente é a taxa de contração ser elevada o que não permite uma precisão dimensional garantida, não sendo a técnica produtiva mais indicada para geometrias que tenham ângulos “vivos” ou nervuras verticais relativamente à superfície do molde. (Moura, et al., 2008) e (Berthelot , 1998)

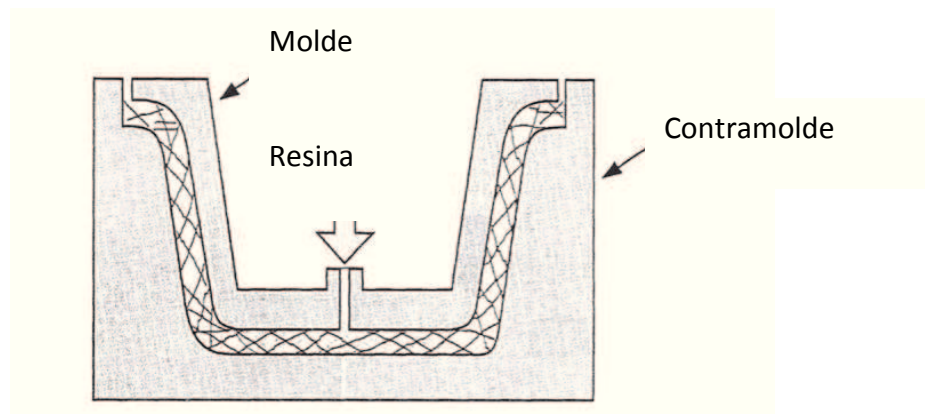


Figura 28 - Representação da moldação por compressão, adaptado de (Berthelot , 1998)

No processo a quente o interior do molde e contra-molde é aquecido, no entanto o princípio do processo é o mesmo que no processo a frio.

2.7.5 Moldação por injeção

O processo de moldação por injeção, segundo (Pereira, 2003) consiste em injetar as fibras impregnadas a partir de um parafuso sem fim (helicoidal) no molde aquecido. (Figura 29)

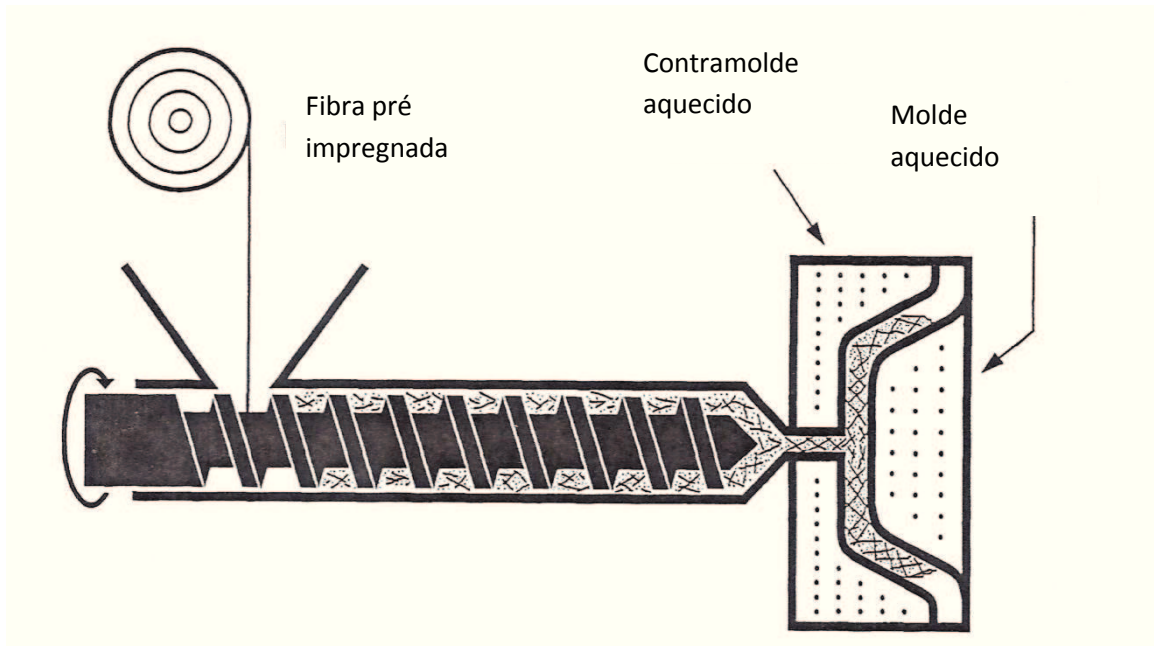


Figura 29 - moldação por injeção, Adaptado de (Berthelot , 1998)

A principal vantagem referida por (Moura, et al., 2008), é o facto do comprimento da fibra de cerca de 6 a 12 mm permitir a obtenção de compósitos com características mecânicas elevadas. Uma das maiores desvantagens referidas pelo mesmo autor é o facto da possibilidade de ocorrência de anisotropia do material, resultante da forma com este flui no interior do molde bem como todo o custo associado a esta técnica produtiva, como moldes e maquinaria de injeção.

Como exemplo de peças produzidas por esta técnica menciona-se o chassis de um carro desenvolvido pela empresa japonesa teijin, (www.teijin.co.jp/english) (Figura 30) que desenvolveu o processo construtivo de modo que fosse viável a produção em massa do mesmo, visto que este material já é usado para a produção de chassis de carros desportivos mas o processo de moldagem do material é muito demorado, inviabilizando o seu uso para a produção de veículos em massa. A nova tecnologia desenvolvida pela Teijin resolve o problema produtivo, viabilizando a possibilidade de fabricação de

inúmeros produtos, além dos monoblocos dos carros de turismo, cabines de caminhões ou cascos de barcos. (tecnológica, 2011) (teijin, 2011)



Figura 30 - Chassis de um carro de turismo em CRFP, obtido através moldação por injeção. (tecnológica, 2011)

2.8 Considerações e propriedades mecânicas dos materiais compósitos

Segundo (Thomas, 2010), as propriedades mecânicas dos materiais são obtidas e caracterizadas quando estes são submetidos a ensaios mecânicos, quer sejam estáticos ou dinâmicos.

Os compósitos, como referido anteriormente são compostos pela combinação de materiais que por vezes podem ser a mistura de um material dúctil com um material frágil, (Moura, et al., 2008), (Figura 31 (a)), pelo que, para colmatar esse problema usam-se reforços cujo módulo de elasticidade seja relativamente mais alto, ficando o material compósito mais equilibrado em termos mecânicos como representado na (Figura 31 (b)) (Thomas, 2010)

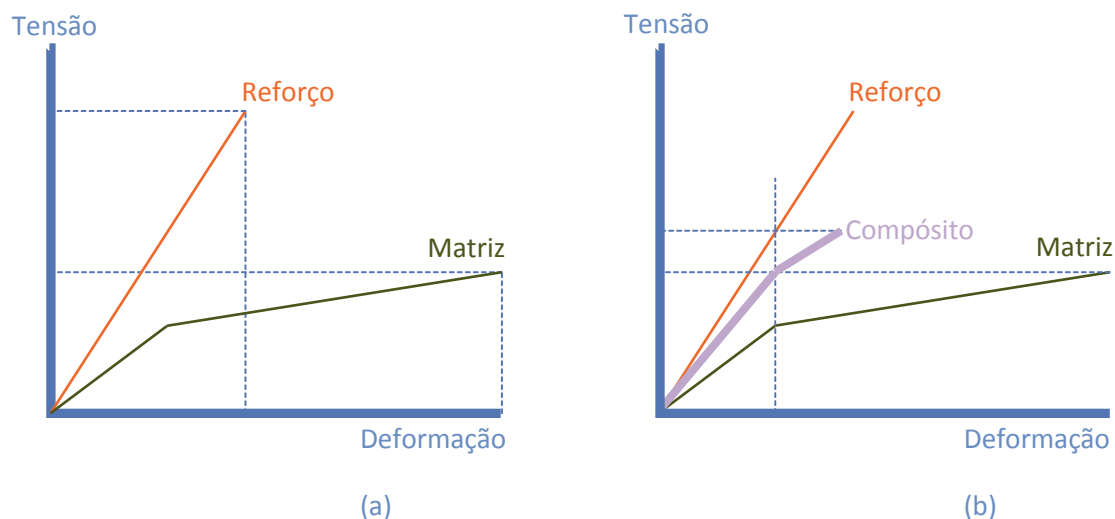


Figura 31 - (a) Gráfico de tensão deformação, matriz/reforço; (b) Gráfico de tensão deformação, matriz/reforço/compósito, Adaptado de (Thomas, 2010)

Como afirma (Moura, et al., 2008), a utilização de materiais tem tido como base de suporte a realização de ensaios prévios, uma avaliação rigorosa do desempenho do material, sendo como afirma (Júnior, 2003), resistência à tração, dureza e tenacidade à fratura, compressão, flexão, impacto, fadiga, abrasão as propriedades mecânicas a considerar para análise.

2.8.1 Ensaios mecânicos

Ensaios de tração

Os Ensaios à tração, como refere (Moura, et al., 2008), são principalmente aplicados a compósitos unidirecionais do tipo $[0]_n$ e $[90]_n$, tendo como principal objetivo a determinação da resistência à tração uniaxial, a deformação e o módulo de elasticidade. Resultando num gráfico onde se obtém um comparativo da curva tensão em relação à deformação.

Comummente, para a realização destes ensaios são utilizados provetes de secção retangular, (Figura 32), com forma e dimensionamento padrão sendo estes objeto de

normas internacionais, como a ISO 527 representada na Tabela 13 e a norma ASTM D3039.(CALLISTER, 2008)

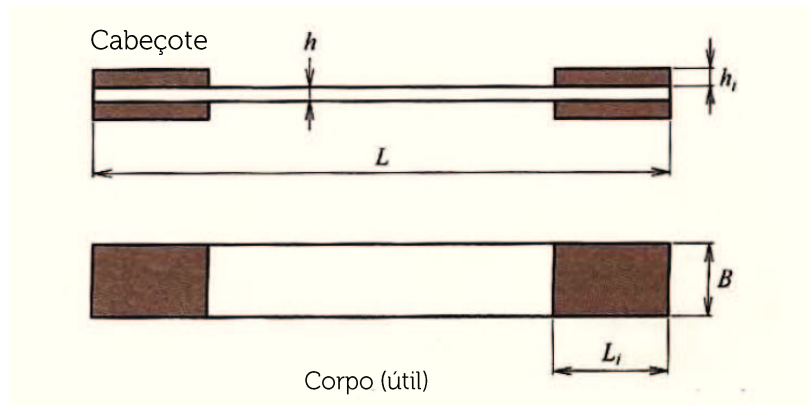


Figura 32 - Provete para ensaios de tração, adaptado de (CALLISTER, 2008)

Tabela 13 - Dimensionamento dos provetes segundo a norma ASTM D3039. (CALLISTER, 2008)

Laminado	L (mm)	B (mm)	H (mm)	L _i (mm)	h _i (mm)
[0]	250	15	1.0	50	0.5-2.0
[90]	250	25	2.0	50	0.5-2.0
Multidirecional	≥200	12.5-25	1.0-10.0	45	≥2.0

A utilização de insertos é preconizada por todas as normas, tendo como objetivo transmitir a carga das maxilas da máquina de ensaios para o provete de forma mais gradual, evitando danos que estas maxilas poderiam causar às fibras exteriores. Estes insertos tem que ser suficientemente resistentes para permitir que se atinja a tensão de rotura do provete, (CALLISTER, 2008)

Ensaio de flexão

Os ensaios de flexão, são muito usados devido à simplicidade do procedimento e de equipamentos utilizados. O objetivo é a obtenção do módulo de ruptura à flexão e o módulo de elasticidade à flexão. (Moura, et al., 2008). Existem dois tipos de ensaios de flexão, designados de flexão em 3 pontos e flexão em 4 pontos, devido ao número total de pontos de carregamento (Figura 33). O ensaio de 4 pontos tem a vantagem de gerar uma zona considerável de momento fletor constante sem corte transversal. O deslocamento máximo é apurado através de um tradutor de deslocamento enquanto, no de 3 pontos apura-se no cabeçote da máquina, as vantagens do ensaio de flexão em 4 pontos não são significativas pelo que a de 3 pontos é a mais usada. (Moura, et al., 2008)

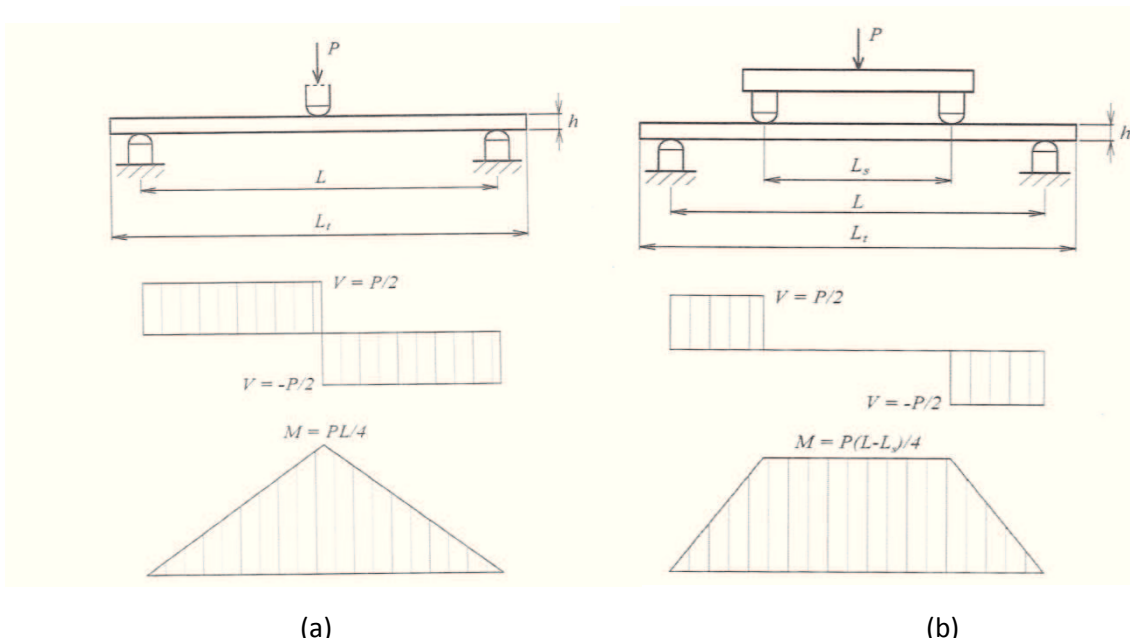


Figura 33 - a) Flexão em 3 pontos (b) flexão em 4 pontos, adaptado d (Moura, et al., 2008)

A Tabela 14 resume as dimensões recomendadas para os provetes pela norma ISSO 14125, (CALLISTER, 2008)

Tabela 14 - dimensões recomendadas para os provetes pela norma ISSO 14125, adaptado de (CALLISTER, 2008)

Materia s	Ensaio	L_t (mm)	L (mm)	L_s (mm)	H (mm)	B (mm)
[90]_n e outros de 5 ≤ E₁/G₁₃ ≤ 15	3 Pontos	60	40	-	2	15
	4 Pontos	60	45	15	2	15
De E₁/G₁₃ ≥ 15	3 Pontos	100	80	-	2	15
	4 Pontos	100	81	27	2	15

Análise dinâmico-mecânica (DMA)

A análise dinâmico-mecânica (DMA) tem como objetivo principal relacionar as propriedades macroscópicas, como as propriedades mecânicas, às relaxações moleculares associadas a mudanças conforméricas (modificação da orientação espacial, convertendo-se noutro isômero da mesma molécula) e a deformações microscópicas geradas a partir de rearranjos moleculares. (Cassu & Felisberti, 2005)

De forma geral, consiste, na aplicação de uma tensão ou deformação mecânica oscilatórias, medindo a deformação sofrida ou a tensão resultante, sob uma variação temperatura. Com este tipo de análise é possível caracterizar e averiguar qual a temperatura de transição vítrea (T_g) e simultaneamente a variação de rigidez do material consequente do aumento da temperatura. Trata-se portanto da propriedade do material onde se pode obter a temperatura da passagem do estado vítreo para um estado dúctil. (Cassu & Felisberti, 2005) Por norma, uma análise de DMA depende do módulo de operação como os representados na Figura 34.

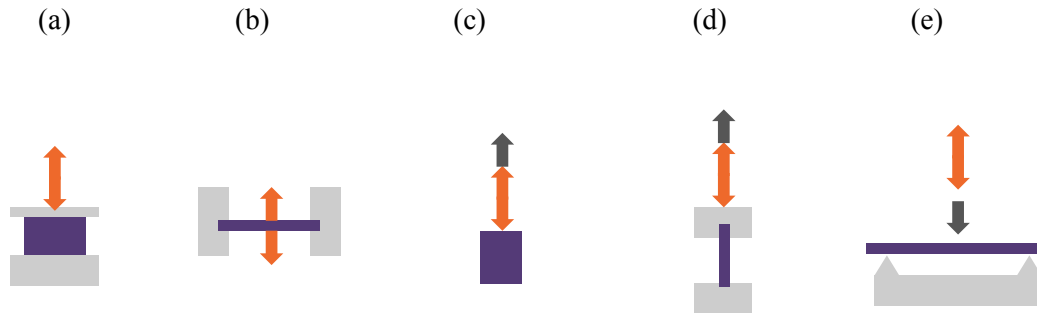


Figura 34 - Módulos de operação de um conjunto DMA a) compressão; b) fadiga; c) oscilação com carga estática; d) tração e) flexão em três pontos, adaptado de (Gomes, 2007)

2.9 Materiais compósitos estruturais

Segundo (CALLISTER, 2008) entende-se por compósito estrutural um composto em que as propriedades não dependem somente das propriedades dos materiais constituintes, mas também da arquitetura geométrica dos vários elementos estruturais. Temos como exemplo disso os contraplacados os laminados e as estruturas em sanduiche.

2.9.1 Compósitos laminados

Os compósitos laminados são constituídos por um empilhamento sucessivo de camadas que estão orientadas em direções definidas, (Figura 35). Os compósitos laminados podem apresentar-se com vários concertos de orientações de direção, materiais e espessuras, fazendo com que o comportamento mecânico do material se altere face ao comportamento de uma material apenas com uma lâmina, obtendo assim laminados com propriedades quase isotrópicas. (CALLISTER, 2008)

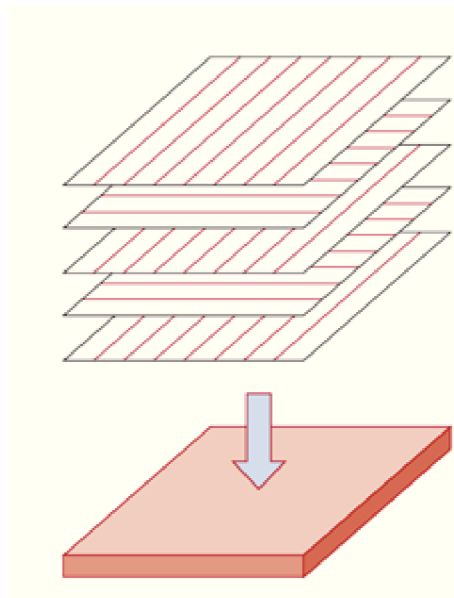


Figura 35 - Composição de um laminado, (CALLISTER, 2008)

2.9.2 *Compósitos sanduíches*

Os painéis/compósitos sanduíche são um tipo de material composto por uma estrutura de três camadas, duas lâminas rígidas e resistentes de material denso, que são separadas por uma camada de um material de menor densidade, rigidez e resistência do que as duas lâminas, a Figura 36 e Figura 37, seguintes representam os constituintes do painel sanduíche. (Allen, 1969)

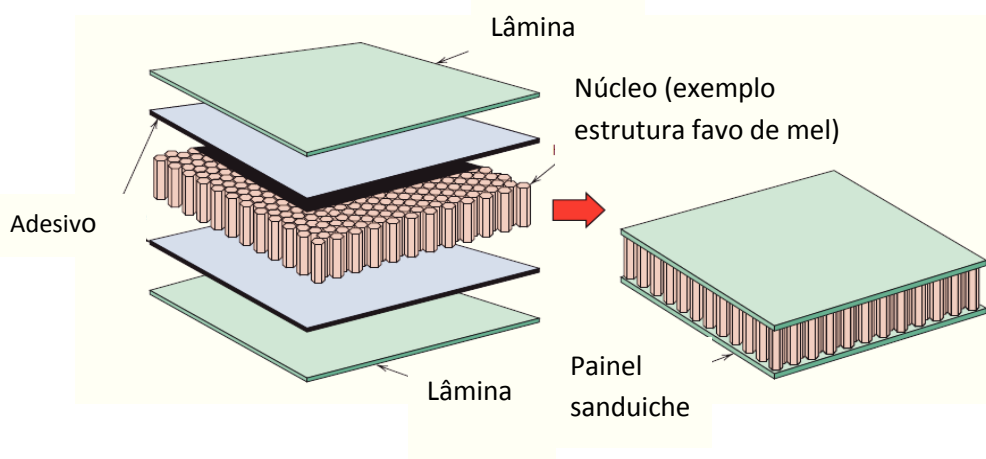


Figura 36 - Composição de um painel sanduíche, Adaptado de (CALLISTER, 2008)

A alteração do material do núcleo confere diferentes tipologias e formas estruturais dos painéis sanduíche, a imagem seguinte representa os dois diferentes arranjos e tipologias, homogéneo ou não homogéneo, que o núcleo pode ter.

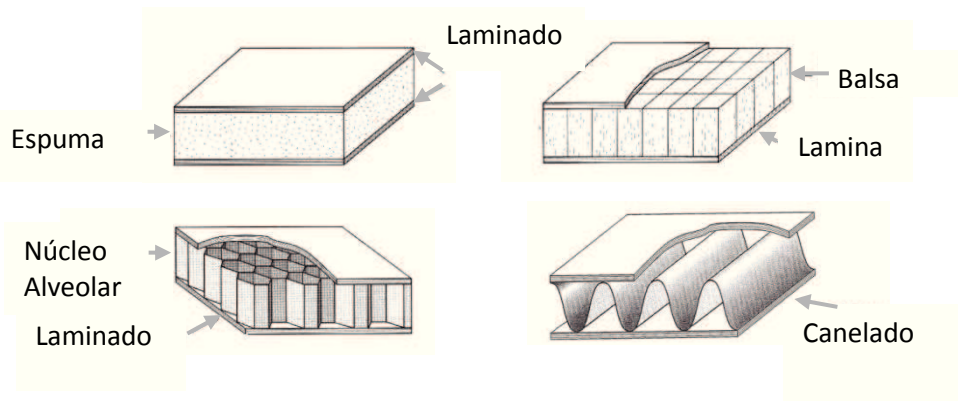


Figura 37 - Diferentes tipos de núcleos. Adaptado de (Berthelot , 1998)

2.10 *Leis constitutivas da Camada (Lâmina)*

Os compósitos de fibras contínuas apresentam rigidez e resistência elevadas, os laminados são normalmente constituídos por varias camadas, nas quais as fibras estão alinhadas na mesma direção. (Moura, et al., 2008)

Segundo o autor Reddy, J. N, as propriedades elásticas de um material compósito dependem fortemente das propriedades dos seus constituintes, orientação e distribuição de cada camada, (Reddy, 2002). Deste modo através da teoria Clássica de Laminados (TCL). Conseguem-se apurar resultados aproximados.

Desta forma a lei generalizada de Hooke, para materiais elásticos anisotrópicos é expressa de forma simplificada por (Reddy, 2002) na seguinte expressão:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \epsilon_{kl} \tag{1}$$

Sendo o C_{ijkl} o tensor de rigidez ou constantes elásticas. Tendo de existir equilíbrio estático, as tensões e as extensões são simétricas, sendo por este facto $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$ e $\epsilon_{kl} = \epsilon_{lk}$, desta forma fica-se apenas com 6 componentes de tensão e deformação, independentes. Como existe uma simetria na matriz de rigidez o número passa para 36 constantes elásticas, ficando a lei de Hooke expressa da seguinte forma:

$$\sigma_i = Q_{ij}\epsilon_j \quad i, j = 1, \dots, 6. \quad (2)$$

A matriz Q é simétrica, reduzindo-se desta forma para 21 constantes independentes. (Reddy, 2002) e (Moura, et al., 2008)

Ao se definir em dois sistemas de coordenadas globais (x,y,z) e dos materiais $(1,2,3)$ representado Figura 38(HYER, 1998),

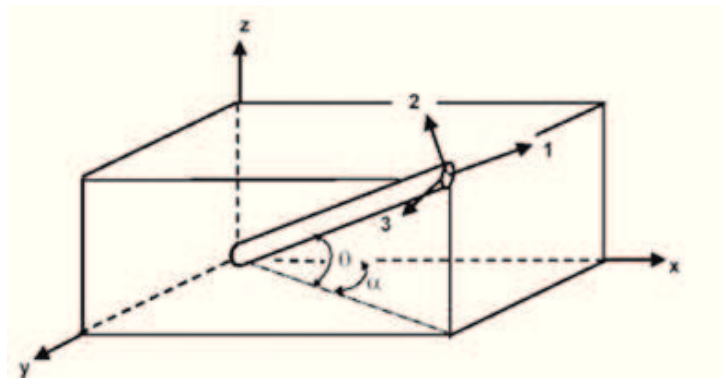


Figura 38 - Sistema local (1,2,3) e global (x,y,z) de coordenadas (HYER, 1998)

Assim a matriz de rigidez apresenta-se da seguinte forma matricial: (Reddy, 2002)

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} & Q_{14} & Q_{15} & Q_{16} \\ & Q_{22} & Q_{23} & Q_{24} & Q_{25} & Q_{26} \\ & & Q_{33} & Q_{34} & Q_{35} & Q_{36} \\ & & & Q_{44} & Q_{45} & Q_{46} \\ & & & & Q_{55} & Q_{56} \\ & & & & & Q_{66} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Como afirma (Moura, et al., 2008), devido às excelentes propriedades mecânicas dos laminados, estes utilizam-se em grande maioria em placas finas, sendo legítimo portanto admitir que as camadas estão sob um estado de tensão plano, quer isto dizer que as tensões na direção da espessura, σ_z , σ_{xz} , σ_{yz} , tendo valores desprezáveis face às tensões no plano da camada xy, ficando a lei constitutiva reduzida na seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{22} \end{bmatrix} \quad (4)$$

A Matriz de rigidez $[Q]$ relaciona-se, em coordenadas de materiais com as constantes elásticas do seguinte modo: (Moura, et al., 2008)

$$[Q] = \begin{bmatrix} \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} & \nu_{12}Q_{22} & 0 \\ \nu_{12}Q_{22} & \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} & 0 \\ 0 & 0 & G_{12} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Sendo a matriz Q inversa da matriz S , ou seja a matriz de rigidez inversa da matriz de flexibilidade, $Q=S^{-1}$, temos:

$$[Q] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & \frac{\nu_{12}}{E_1} & 0 \\ \frac{\nu_{12}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Desta forma as constantes de elasticidade da camada e as tensões no sistema de coordenadas utilizado podem se relaciona com a matriz de transformação de coordenadas $[T^\sigma]$ da seguinte forma: (Reddy, 2002)

$$\{\sigma\}_m = [T^\sigma]\{\sigma\}_g \quad (7)$$

Onde a matriz $[T^\sigma]$ é obtida por:

$$[T^\sigma] = \begin{bmatrix} (\cos\theta)^2 & (\sin\theta)^2 & 2\cos\theta\sin\theta \\ (\sin\theta)^2 & (\cos\theta)^2 & -2\cos\theta\sin\theta \\ -\cos\theta\sin\theta & \cos\theta\sin\theta & (\cos\theta)^2 - (\sin\theta)^2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

De igual modo é possível definir relação entre as deformações em coordenadas materiais e coordenadas globais, através de uma transmutação de coordenadas do mesmo tipo, onde optemos por uma relação de tensão e extensão em coordenadas globais que é nos dada por:

$$\{\sigma\}_m = [\bar{Q}]\{\varepsilon\}_g \Leftrightarrow \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & 0 \\ \bar{Q}_{21} & \bar{Q}_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Em que a matriz \bar{Q} é obtida de Q por transmutação de coordenadas.

Regra das misturas

Assumindo que as fibras são isotrópicas ou ortotrópicas, lineares elásticas, homogéneas, espaçadas regularmente e de forma alinhada, supôs-se a lâmina como homogénea, ortotrópica e linear elástica, assumindo também uma ligação perfeita entre a fase da fibra e a matriz.

Para um dado número de materiais constituintes, a soma das frações volúmicas de cada um mais a fração correspondente à porosidade, é igual à unidade, expressa na seguinte equação:

$$v_p + \sum_{i=1}^n v_{i=1}$$

(10)

Sendo que $v_i = V_i / V_c$, representa a fração volumétrica de cada material constituinte e v_p representa a fração volumétrica correspondente à porosidade, V_i / V_c representam o volume de material constituinte e do compósito, respetivamente, para o caso de frações de massa entende-se a seguinte equação:

$$\sum_{i=1}^n w_{i=1}$$

(11)

Sendo que $w_i = W_i / W_c$ é a fração em massa de cada material constituinte e W_i e W_c a massa do constituinte e do compósito respectivamente, nos casos das equações da fração de massa a porosidade não incluída.

A regra das misturas para a densidade é dada pela seguinte formulação:

$$\rho_c = \sum_{i=1}^n \rho_i v_i$$

(12)

As propriedades da camada são obtidas através da mecânica dos materiais onde é considerada a média ponderada das propriedades de cada um dos constituintes.

Nos estados de tensão plana é necessário a definição de quatro constantes elásticas para a definição das leis constitutivas.

Com a relação de peso por m^2 é possível a determinação do volume de fibra existente no laminado, já que o restante volume é preenchido pela matriz, uma vez que não se considera a porosidade. Esta relação é expressa da seguinte forma: (Daniel & V. Hoa, 2007) (Berthelot, 1998)

$$v_f = \frac{\text{gramagem}}{h * \rho_f}$$

(13)

As propriedades elásticas da camada são resumidas pelas seguintes expressões:

$$E_1 = E_{f1}v_f + E_{m1}v_m \quad (14)$$

$$v_{12} = v_{21}v_{f12} + v_{m12}v_m \quad (15)$$

$$\frac{1}{E_2} = \frac{v_f}{E_{f2}} + \frac{v_m}{E_{mr}} \quad (16)$$

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{v_f}{G_{f12}} + \frac{v_m}{G_{m1r}} \quad (17)$$

Sendo E o módulo de elasticidade, G o módulo de corte e v a fração volumétrica, m e f são os indicadores da constante da matriz e da fibra, $_1$ e $_2$ em índice, são as coordenadas do material tendo como referencia a Figura 38 - Sistema local (1,2,3) e global (x,y,z) de coordenadas (Figura 38)

2.11 Prototipagem

Segundo a metodologia de projeto apresentada no capítulo 5, a prototipagem é um elemento chave para uma melhoria no processo de *design* e simultaneamente para a maior eficácia do produto.

A prototipagem rápida é definida como um método de obtenção de um objeto físico através de dados gerados por auxílio de computador (CAD), esta tecnologia permite aos projetistas, criar protótipos concretos mais rapidamente. (Gorni, Março 2001). Os autores (VOLPATO, et al., 2007) definem a Prototipagem rápida como um processo de fabricação aditivo dispondo o material em forma de camadas planas sucessivas, permitindo fabricar componentes tridimensionais físicos (3D) com dados obtidas de

forma direta do modelo geométrico construído e gerado em sistemas CAD, de forma rápida e automatizada.

A economia globalizada criou em todos os sectores industriais a necessidade de uma resposta rápida às solicitações do mercado.

Este tipo de resposta traduz-se na redução do tempo de colocação de produtos novos no mercado (“*time to market*”), sendo um fator crítico para a competitividade e agressividade comercial das empresas, determinando assim a sua capacidade de subsistência.

Além do “*time to market*”, António Augusto Gorni (Gorni, Março 2001) afirma que estes processos constituem um auxílio visual excelente durante a discussão prévia do projeto seja com colaboradores ou com clientes. Com o protótipo é possível, por exemplo, ensaios em túnel de vento para componentes aeronáuticos ou análise foto-elástica para se verificar pontos de concentração de tensões na peça.

Os projetistas sempre construíram protótipos, como afirma o autor, mas com os processos de prototipagem rápida permite-se que eles sejam feitos mais depressa e de forma mais económica estimando-se uma economia de tempo e de custos na ordem de 70 a 90%. (Gorni, Março 2001)

(Wohlers, 1999) afirma que a prototipagem rápida é uma das tecnologias mais determinantes na mudança radical de funcionamento das empresas perante estes novos desafios, mais recentemente, as tecnologias de prototipagem rápida (PR) e fabrico rápido de ferramentas (FRF) vieram reforçar significativamente esta capacidade de redução do *time to market*. (Wohlers, 1999)

Em qualquer prática de *design* a palavra “protótipo” é parte vital do processo de desenvolvimento de produto. O objetivo da criação dos protótipos na fase de projeto é essencial para os seguintes fatores:

- 1- Experimentação e estudo (estudos formais)
- 2- Testes e provas (testes estruturais)
- 3- Comunicação e interação (validação formal)
- 4- Síntese e integração
- 5- Testes de mercado

Para a equipa de desenvolvimento de produto, os protótipos podem ser usados para ajudar no processo criativo, no planeamento, nas experiências formais, nos processos de aprendizagem. Enquanto conceção de produto, algumas questões do produto podem ser colocadas e respondidas através da prototipagem, por exemplo se desenharmos uma cadeira, podemos construir um protótipo da zona do apoio de braços para validarmos não só o seu aspeto visual mas também se esta será a forma mais eficaz e confortável das edificar.

Podemos experimentar o objeto em uso e assim corrigir e antecipar problemas de conceção, poupando tempo no processo e reduzindo possíveis erros de desenho que só seriam identificados numa fase posterior, arriscando pôr em causa o desenvolvimento de todo o processo, havendo gastos económicos desnecessários.

Os testes de mercado para validação e aceitação são também um problema antecipado. Através de técnicas de prototipagem é possível a criação de pré séries que permitem à equipa de desenvolvimento de produto absorver/analisar a reação do consumidor em relação ao objeto exposto, podendo assim antes de este sair para o mercado testar a aceitação ou não do produto, corrigindo e alterando os aspetos negativos referidos pela amostra de consumidores no teste de mercado.

Existem em prototipagem rápida duas vertentes, os processos aditivos e os processos por subtração de material. Neste capítulo iremos apenas referir e caracterizar apenas os processos aditivos, pois o caso de estudo usou como técnica de prototipagem rápida um processo aditivo.

(Lino & Neto, 2001) afirmam que em todos os processos se recorre a um desenho CAD 3D que é traduzido para um ficheiro. STL, em que as superfícies são convertidas e triângulos, neste processo pode-se ajustar a quantidade de triangulações podendo assim “dar mais definição ao objeto”, ao passar o ficheiro. STL para os equipamentos de prototipagem, estes de forma automática criam um ficheiro. SLI em que o modelo 3D é dividido em várias camadas de construção. Neste momento a dimensão da divisão chamado layer pode ser controlada, dando mais definição (aumentando o nº de camadas, reduzindo a espessura) ou menos definição aumentando a espessura das mesmas reduzindo o nº de layers.

(Simão.S.M, et al., Novembro, 2000) afirmam que não existem processos ideais, apresentando cada um, consoante a aplicação em causa, vantagens e desvantagens.

Quando se optar por um processo, deverá ter-se em conta fatores como propriedades mecânicas, físicas e estéticas exigidas ao protótipo, material a utilizar, disponibilidade das tecnologias e custos envolvidos e, finalmente, os prazos para a realização do protótipo. (Simão.S.M, et al., Novembro, 2000)

Nos próximos pontos, de forma sumária, são apresentadas as técnicas de prototipagem rápida.

2.12 Processos de prototipagem rápida

Os autores (Chua, et al., 2004,) Classificam os processos de prototipagem rápida relativamente ao estado físico do material de base, separando-os em três famílias; Base líquida, base sólida e base em pó. De entre as várias tecnologias existentes no mercado apenas se fará referência a cinco tecnologias, sendo estas as principais e mais utilizadas. (Gorni, Março 2001)

Base líquida: A Estereolitografia

A Estereolitografia (SL ou SLA) foi o primeiro processo a aparecer, em 1987, pela 3d systems. Inc., USA, - (Lino & Neto, 2001), o modelo é edificado por foto-polimerização de uma resina epóxi líquida, sensível à luz, que solidifica quando exposta à radiação ultravioleta. (Gorni, Março 2001), O modelo é constituído sobre uma plataforma que vai subindo à medida que este é construído (Figura 39).

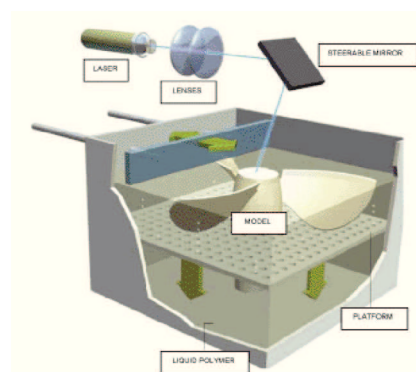


Figura 39 - Processo de Estereolitografia (SL ou SLA) (Anon., s.d.)

Base Sólida: Fabricação de Objetos por Camadas (LOM)

Na fabricação por camadas (LOM) os modelos são fabricados através da colagem sucessivamente folhas de papel, cortadas por laser. A construção é camada a camada, com folhas de papel em que se faz o corte da silhueta, informação obtida através do fatiamento do ficheiro em SLI. Todo o papel que não faz parte do componente é cortado em quadrados ou retângulos para facilitar a posterior remoção do modelo do bloco de papel (descubagem) (Lino & Neto, 2001)

A Figura 40 esquematiza o processo de Fabricação de objetos por Camadas.

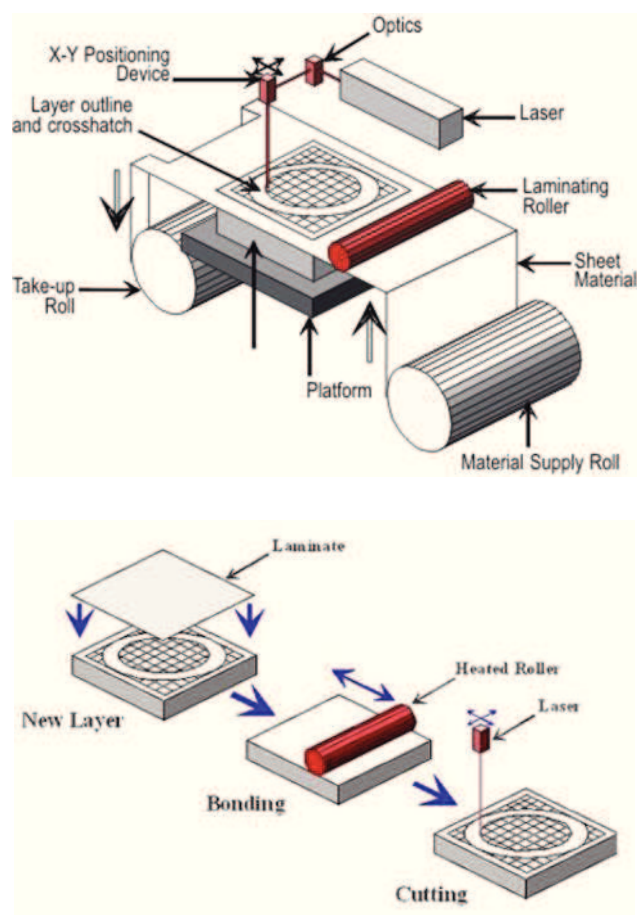


Figura 40 - Esquema do processo de Fabricação de Objetos por Camadas. (Anon., s.d.)

Modelação por Extrusão de Plástico (FDM)

O processo por extrusão de plástico (FDM), constrói o modelo aquecendo o material de plástico, até quase atingir o seu ponto de fusão, posteriormente este é extrudido a fim de ser depositado na forma que a peça requer. A chave da presente técnica é o controlo da temperatura, visto que o material é aquecido e mantido à temperatura, durante todo o processo de deposição. O material plástico pode ser ABS em fio de plástico, a temperatura de trabalho para o fio de plástico ABS é 270 ° C, quando o material está a esta temperatura pode ser extrudido através de uma ponta fina com cerca de 0,254 ou 0,127 milímetros diâmetro. (Balc & Campbell, 2004)

A Figura 41 representa o funcionamento do sistema.

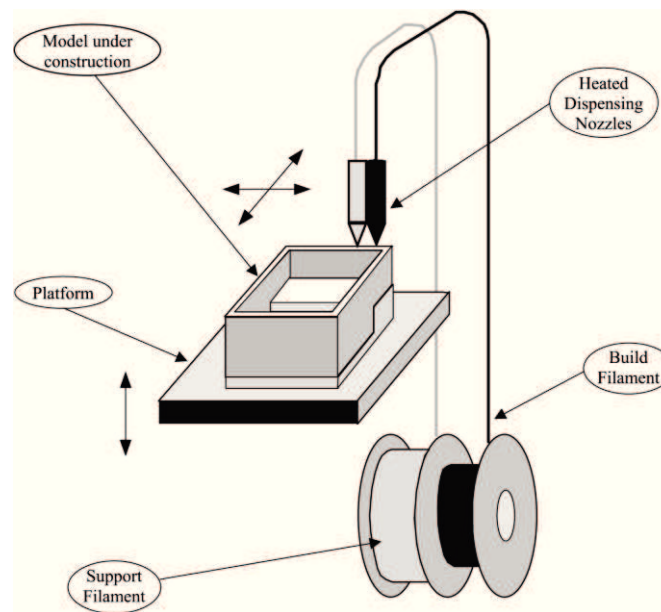


Figura 41 - funcionamento do sistema FDM, (Upcraft & Fletcher, 2003)

Base em Pó:

Sinterização Seletiva por Laser (SLS)

O equipamento do processo SLS constrói objetos tridimensionais pela sobreposição de camadas, homogêneas de polímeros em pó, entre eles o mais utilizado é a poliamida. (Grimm & Wohlers, 2002) As camadas são aglomeradas entre si através da ação de um laser que aquece e funde essas mesmas camadas. Como refere) (Lino & Neto, 2001) O bolo de pó é removido da máquina, sendo sujeito a operações de impregnação para aumento da resistência mecânica do modelo e melhoria do seu acabamento superficial.

Segundo (RNPR, Projecto Mobilizador RNPR, Setembro 2000) este processo permite também a utilização de pós metálicos ou de cobre revestidos com um polímero, que permitem após aquecidos e fundidos obter, após infiltração com um liga metálica, peças metálicas ou cavidades moldantes, na Figura 41 refere-se o esquema de funcionamento da tecnologia SLS

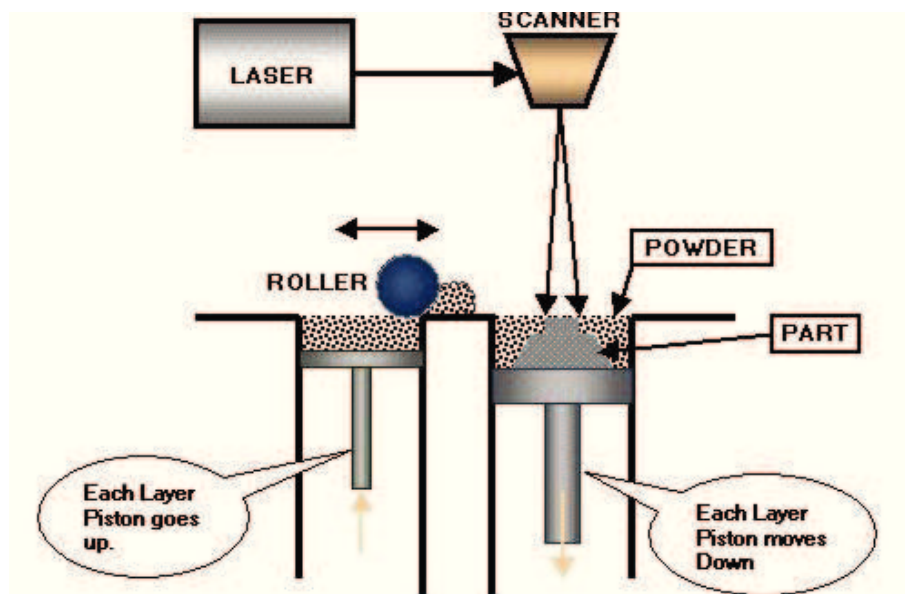


Figura 42 - esquema de funcionamento da tecnologia SLS. (tate, s.d.)

Impressão Tridimensional (MJT)

A Impressão por Jato de Tinta (MJT, Multi Jet Modeling; BPM, Ballistic Particle Manufacturing), como refere o autor (Gorni, Março 2001) ao contrário das técnicas anteriores, refere-se a uma classe inteira de equipamentos que usam a tecnologia de jato de tinta. Os modelos são construídos sobre uma plataforma situada num recipiente preenchido com material pulverulento.

A cabeça de impressão por jato de tinta "imprime" de forma seletiva um agente ligante que aglomera o pó nas áreas desejadas.

Ainda como refere o autor o pó que continua solto permanece na plataforma pois serve de suporte para os modelos que estão a ser construídos. A plataforma baixa ligeiramente e adiciona-se mais material pulverulento onde se volta a reproduzir o processo descrito até a peça estar finalizada.

Na Tabela 15 os autores (Lino & Neto, 2001) caracterizam os cinco processo acima identificados, referindo as suas vantagens e desvantagens na utilização.

Tabela 15 - vantagens e desvantagens das tecnologias de PR

Processo	Vantagens	Desvantagens
SL ou SLA	<p>É dos melhores processos em termos de precisão dimensional e permite obter as formas mais complexas, detalhes mais finos e bom acabamento (após lixagem e polimento);</p> <p>Permite a obtenção de modelos parcialmente ocos (70-80% de porosidade).</p>	<p>Elevado custo das matérias-primas e dos modelos;</p> <p>Fraca resistência mecânica dos modelos;</p> <p>Tempo de fabricação relativamente elevado e necessidade de pós cura;</p> <p>Tendência a empenos.</p>
LOM	<p>Precisão dimensional e geométrica superior ao SLS, especialmente em X e Y;</p> <p>Capacidade para produzir, numa única vez, modelos de elevadas volumetrias (até 800x500x500mm);</p> <p>Possibilidade de se usarem modelos LOM para o processo de modelos perdidos;</p> <p>Rapidez de execução e baixo custo do processo.</p>	<p>Instabilidade do papel na presença de humidade;</p> <p>Fraca precisão tridimensional no eixo dos ZZ e dificuldade em obter pequenas espessuras (<2mm) em peças de grande dimensão (>200x200x200mm).</p> <p>Necessidade de mão-de-obra elevada para a descubagem, impermeabilização e acabamento.</p>
SLS	<p>Obtenção de bons protótipos funcionais termoplásticos (apenas superável pelo FDM);</p> <p>Resistências mecânicas e térmicas elevadas, 60-70% da dos materiais equivalentes injetados;</p> <p>Mais rápido do que a SL e o FDM;</p> <p>Não necessita de suportes, nem pós cura (quando se usam termoplásticos).</p>	<p>Modelos com superfícies rugosas e com porosidade;</p> <p>Precisão dimensional inferior à SL e ao LOM;</p> <p>Elevado custo das matérias-primas (300 a 400euros/Kg).</p>
TDP	<p>Pode utilizar diferentes tipos de materiais e utilizá-los simultaneamente recorrendo a diferentes cabeças com ligante;</p> <p>Não necessita de suportes;</p> <p>Produz carapaças cerâmicas (DSPC) para obtenção direta de modelos metálicos.</p>	<p>Os modelos apresentam rugosidade elevada e em verde são relativamente frágeis e porosos;</p> <p>Por vezes é difícil remover o pó não ligado em modelos com formas intrincadas.</p>
FDM	<p>Permite obter as propriedades mecânicas mais elevadas (para termoplásticos);</p> <p>É o melhor processo para a conversão metálica por investment casting (com modelos em cera);</p> <p>Processo de grande precisão dimensional em X, Y e Z Permite o uso simultâneo de dois materiais;</p>	<p>É mais lento que a SL, o SLS e o LOM;</p> <p>O valor do investimento no equipamento é dos mais elevados assim como o custo global dos modelos.</p>

Capítulo 3 - Materiais e procedimentos experimentais

Neste capítulo são apresentados as metodologias e tecnologias utilizadas para a obtenção dos materiais objeto deste estudo. Foram processados e caracterizados cinco placas de material compósito: três materiais compósitos de matriz epóxida com fibras de carbono (duas, três e seis camadas de fibra) e dois compósitos de matriz epóxida com fibras de vidro (três e seis camadas). Os provetes foram obtidos por maquinação a partir das placas de material compósito processadas. São, também, referidas as metodologia e os equipamentos utilizados na realização dos ensaios mecânicos e físicos.

3.1 Materiais e Métodos

3.1.1 Materiais utilizados

No processamento dos materiais compósitos, objeto deste estudo, foram processados laminados de matriz epoxídica, com fibras de carbono e de vidro (manta 2d “*woven fabrics*”, (Berthelot , 1998)). Foram utilizadas fibras com o padrão “*pailn weave*” em duas, três e seis camadas, de acordo com a Figura 43

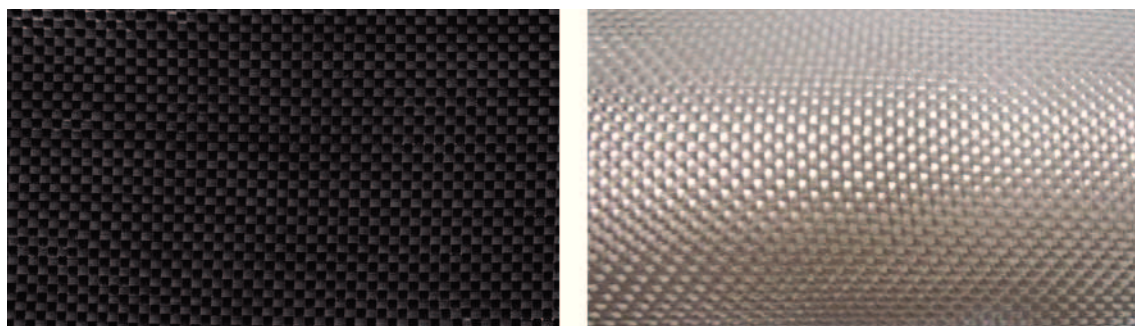


Figura 43 - Manta de fibra de carbono e fibra de vidro “*pailn weave*” (tecido biaxial)

Na Tabela 16 são identificadas as propriedades dos reforços utilizados no processamento dos materiais compósitos.

Tabela 16 - Propriedades das fibras utilizadas

Características	Valor	Valor
Tipo de tecido	Biaxial [0°/90°]	Biaxial [0°/90°]
Material	Carbono	Vidro
Módulo de Young [GPa]	230	30
Gramagem [g/m²]	196	310

A resina utilizada pertence à classe dos materiais poliméricos termoendurecíveis, com a referência SR 1500 da marca SICOMIN. O catalisador é da mesma marca, sendo um catalisador de ação lenta com a referência SD 2503. Este tem um tempo de cura de aproximadamente 24 horas a uma temperatura de 20°C. Nas tabelas Tabela 17 e Tabela 18 são apresentadas as fichas técnicas de produto bem como as propriedades mecânicas da resina e do catalisador utilizados.

O desmoldante utilizado nos moldes foi um material PVA, à base de álcool polivinílico com alto teor de sólidos. Este forma um filme uniforme e transparente nas superfícies moldantes, à temperatura ambiente, sendo totalmente solúvel em água. (Silaex, s.d.)

Tabela 17 - características da resina SD 1500 e endurecedor SD 25036 (Materials, 2012)

Características	Resina SD 1500	Endurecedor SD 2503
Aspetto	Líquido de cor Amarelo claro	Líquido de cor Amarelo
Densidade [g/cm³]	1.13	1.00
Mistura (relação em gramas)	100	100/30
Ciclo de cura	3.624h a 20°C	
Ciclo mínimo pós cura	14 dias a 20°C	
Ciclo pós cura Recomendado	16 h a 60°C ou 24H a 40°C	

Tabela 18 - Propriedades mecânicas da resina SD 1500 e endurecedor SD 25036 (Materials, 2012)

Ciclo de Cura	24H a 40°C + 16 h a 60°C
Módulo de elasticidade em Tração [MPa]	2869
Resistência máxima à tração [MPa]	71
Módulo de elasticidade em flexão [MPa]	2760
Resistência máxima à flexão [MPa]	2760

3.2 Provetes

Os provetes foram obtidos a partir de placas processadas com fibras de carbono e vidro e com diferente número de camadas de fibra. No processamento das placas foram utilizados os processos de fabrico de moldação manual assistida por vácuo, para a obtenção do laminado de duas, três e seis camadas.

3.2.1 *Laminados de Fibra de Carbono e de fibra de vidro de duas, três e seis camadas:*

Para a obtenção dos laminados de duas, três e seis camadas utilizou-se o processo de fabrico, moldação manual assistida por vácuo, sendo um laminado de fibra de carbono de duas camadas, dois laminados de três camadas de fibra de carbono e de fibra de vidro, assim como dois laminados de seis camadas de fibra de vidro e de fibra de carbono. Este processo de moldação não requer equipamentos complexos nem apresenta custos elevados de fabrico, pelo que foi escolhido para o fabrico dos materiais compósitos a utilizar na órtese.

O processo de Moldação manual assistida por vácuo pode-se caracterizar como a extensão do processo de moldação manual, onde é aplicada pressão para melhorar a consolidação. A extração do ar é realizada por uma bomba de vácuo que gera, também,

a pressão para a consolidação da estrutura do compósito, melhorando a impregnação da resina nas fibras e reduzindo as bolhas de ar. Com este processo é possível a utilização até cerca de 70% de fibras. (Moura, et al., 2008).

Na fabricação dos laminados em fibra de vidro e fibra de carbono, o processo inicia-se por definir a área de trabalho para o processamento das placas em material compósito. A área de trabalho foi definida com uma área superior à dimensão do laminado, devido à colocação das bocas de vácuo que têm que ser colocadas fora da área do laminado. Delimitou-se a área definida com junta de vácuo, no interior aplicou-se, com o auxílio de uma trincha, álcool polivinílico, (película desmoldante) de modo a facilitar a desmoldamento do laminado, Figura 44.

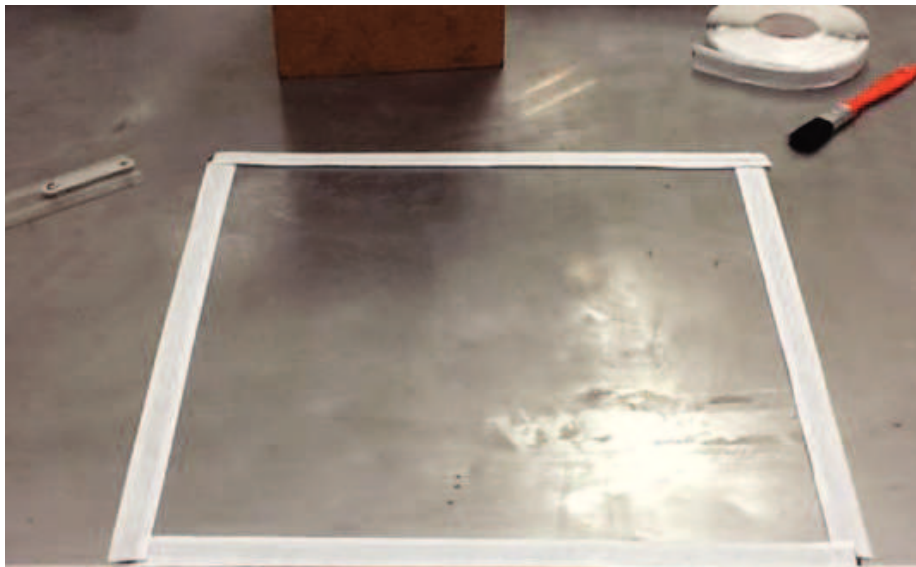


Figura 44 - Delimitação da área moldante com fita de vácuo e aplicação da película desmoldante (PVA).

Após a secagem da película desmoldante PVA, é possível a colocação da primeira camada de fibra no centro do espaço definido e a impregnação da mesma com resina epóxida à proporção de 100/30, através do auxílio de uma trincha (Figura 45).

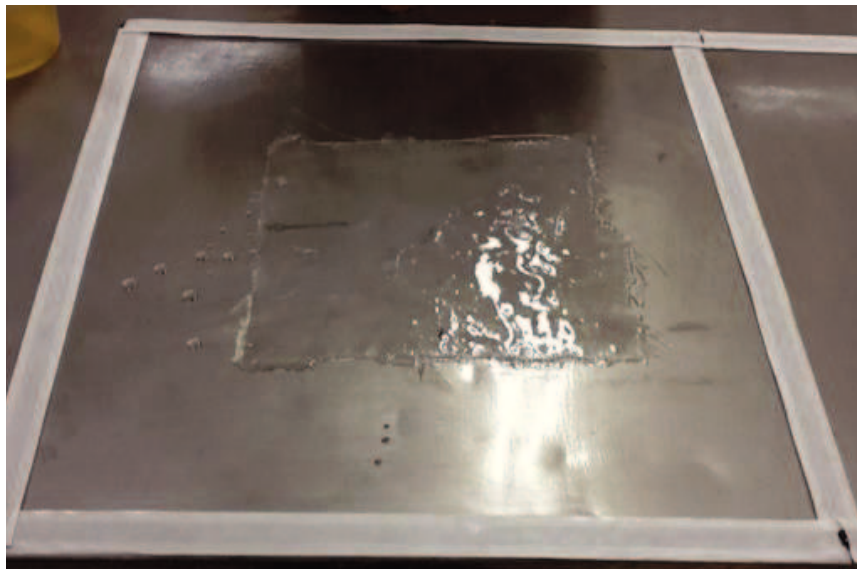
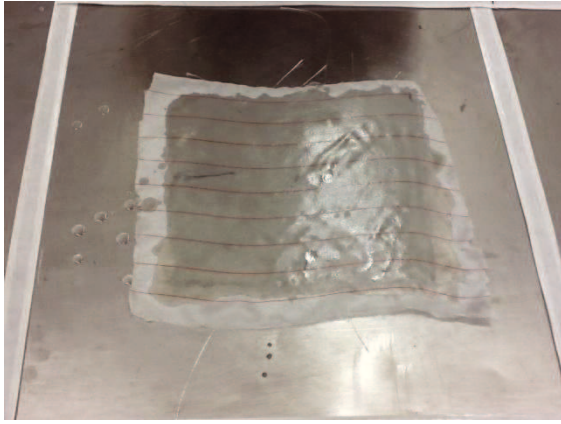


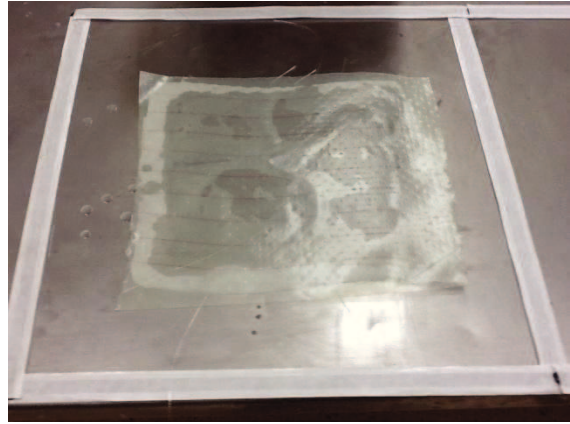
Figura 45 - Impregnação das fibras com resina (auxílio de uma trincha).

Após a sobreposição de camadas de fibra e estas estarem impregnadas com resina coloca-se no topo das mesmas o tecido de arrancamento, por norma constituído de fibras de vidro, poroso e revestido por um material desmoldante para a sua fácil remoção. Em cima do tecido de arrancamento é colocada uma película plástica perfurada, que permite que o excesso da resina seja removido durante o processo, em cima desta camada perfurada é colocada uma manta de material poroso (geotêxtil) que permite a uniformização da distribuição do vácuo e simultaneamente absorve o excesso de resina. Seguidamente são colocados os terminais das tomadas de vácuo antes do fecho com filme de vácuo, que por norma é em elastómero de silicone.

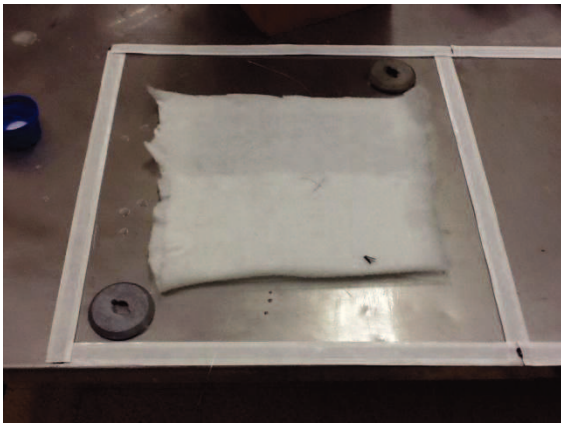
Esta última camada tem como objetivo a criação de uma atmosfera controlada e isolada durante o processo de cura, Seguidamente são ligadas as tomadas de vácuo e inicia-se o processo. A sequência de etapas da Figura 46, representa os paços descritos para a fabricação do material compósito.



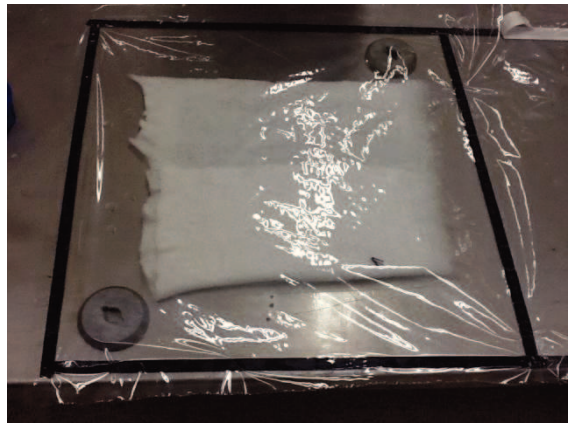
- Tecido de arrancamento



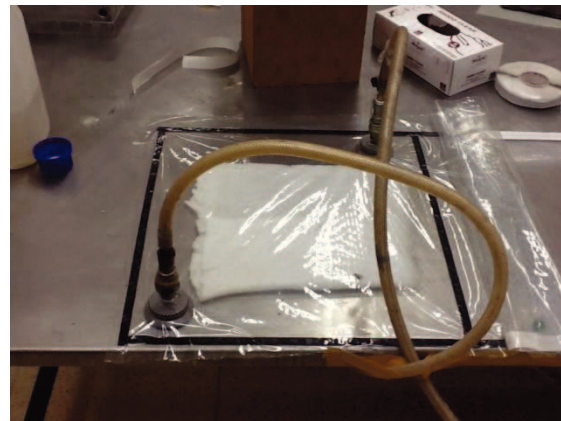
- Plástico poroso



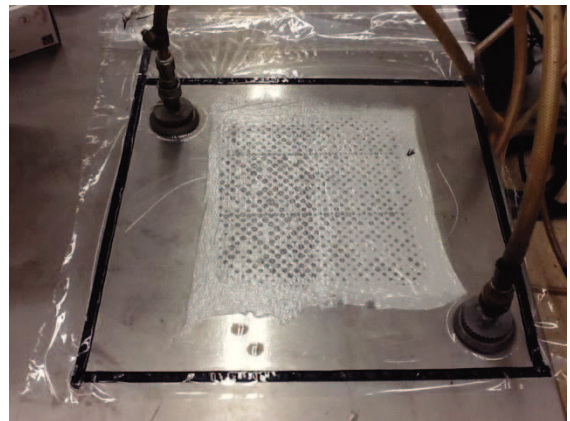
- Manta porosa/terminais de vácuo



- Filme de vácuo



- Tomadas de vácuo



- Processo de cura em ambiente controlado

Figura 46 - Processo de moldação manual assistido a vácuo.

A Figura 47 representa o aspecto geral dos dois materiais compósitos pelo processo de moldação manual por vácuo:

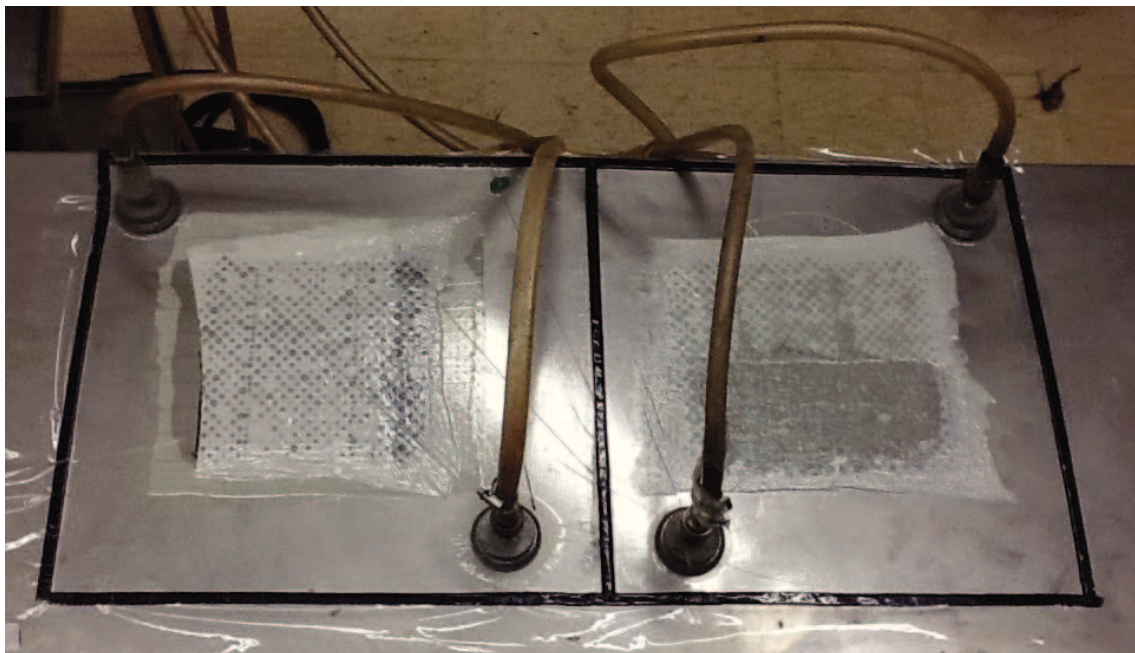


Figura 47 - Processo de moldação manual assistido por vácuo.

Após o ciclo de pós cura aconselhado pelo fabricante da resina é possível passar ao corte e calibragem para a obtenção do dimensionamento correto dos provetes.

A Figura 48 representa as placas de três e seis camadas de reforço obtidas pelos processos acima descritos:

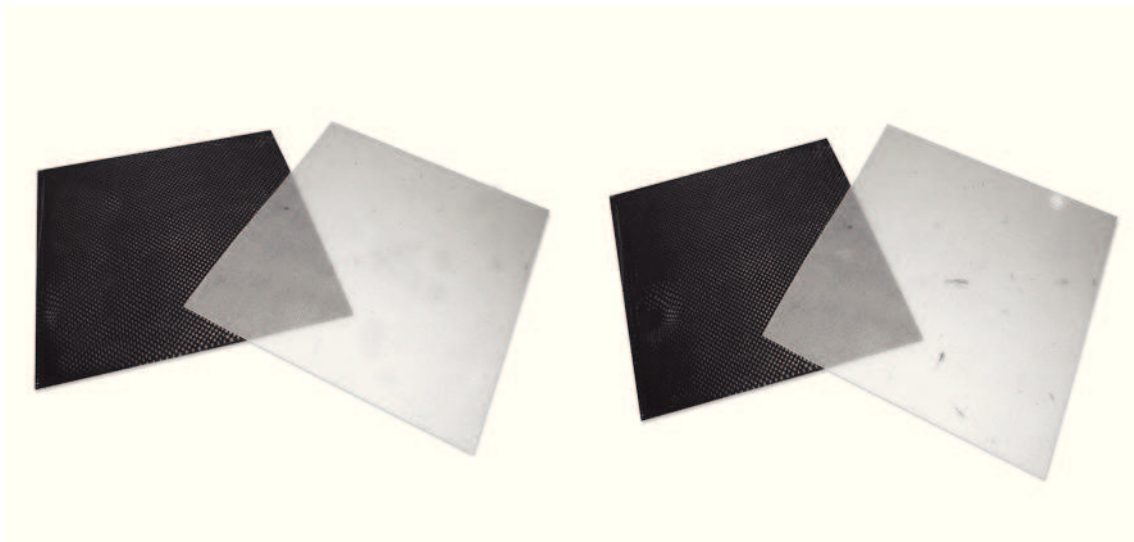


Figura 48 - Placas de laminado de fibra de carbono e laminado de fibra de vidro

A Tabela 19 representa a dimensão e a nomenclatura dos provetes de material compósito para os ensaios a realizar:

Tabela 19 - Provetes de duas, três e seis camadas, nomenclatura, material e dimensão:

Provete	Nomenclatura	Dimensão	Material do reforço	Ensaio
Provete duas camadas 1/2/3	2CFC1/ 2CFC2/ e 2CFC3	46X4X0.75mm	Fibra de Carbono	DMA
Provete duas camadas 7/8/9	2CFC7/ 2CFC8/ e 2CC9	150X25X0.75mm	Fibra de Carbono	Tração
Provete três camadas 1/2/3	3CFC1/ 3CFC2/ e 3CFC3	46X4X0.97mm	Fibra de Carbono	DMA
	3CFV1/ 3CFV2/ e 3CFV3	46X4X0.6mm	Fibra de Vidro	
Provete três camadas 7/8/9	3CFC7/ 3CFC8/ e 3CC9	150X25X0.97m	Fibra de Carbono	Tração
	3CFV4/ 3CFV5/ e 3CFV6	m	Fibra de Vidro	
		150X25X0.6mm		
Provete seis camadas 1/2/3	6CFC1/ 6CFC2/ e 6CFC3	46X4X1.7mm	Fibra de Carbono	DMA
	6CFV1/ 6CFV2/ e 6CFV3	46X4X0.9mm	Fibra de Vidro	
Provete seis camadas 7/8/9	6CFC7/ 6CFC8/ e 6CC9	150X25X1.7mm	Fibra de Carbono	Tração
	6CFV4/ 6CFV5/ e 6CFV6	150X25X0.9mm	Fibra de Vidro	

3.3 Determinação de densidades

Para a determinação das densidades dos materiais processados foi utilizado uma balança eletrônica de precisão com a referência AG 204 da marca Metter toledo (Figura 49)



Figura 49 - Balança eletrônica de precisão para a determinação de densidades referencia AG 204 da marca Metter toledo

O processo utilizado para a determinação das densidades teve como base o método de flutuação, princípio de Arquimedes, em que o corpo em repouso mergulhado num fluido sofre uma força vertical ascendente com a mesma direção e módulo que a força associada à quantidade de líquido deslocada pelo objeto contido em sentido contrario desta. (Barbosa & Breitschagl, 2006)

A densidade dos materiais é obtida pela seguinte equação:

$$Z \quad \rho = \frac{M_1}{M_1 - M_2} X \rho_{H_2O}$$

(18)

Sendo M_1 o peso do provete fora de água, M_2 o peso do provete dentro de água e ρ_{H_2O} a densidade da água sendo que a densidade para a água destilada é igual a 1 se a temperatura for de 4°C, como referencia o gráfico da Figura 50. (Gomes & Clavico, 2005)

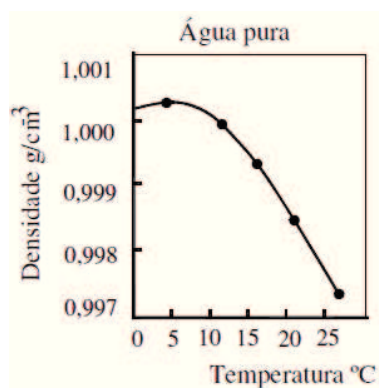


Figura 50 - Variação da densidade da água em função da temperatura. (Gomes & Clavico, 2005)

Por este motivo foi necessário medir a temperatura da água, para que haja a correção dos valores da densidade, sendo a temperatura medida da água de 15°C correspondendo a uma densidade de 0,999 g. /ml.

Para realizar o processo, os provetes foram pesados em cima do suporte, fora de água e posteriormente dentro de água, retirando o peso correspondente. Os valores finais são resultado das médias dos provetes analisados, correspondentes ao tipo de material ensaiado.

3.2 Ensaio mecânicos

Ensaio de tração

Os ensaios de tração são essenciais para a caracterização mecânica de um material. Com estes determina-se o limite da rotura de um material, o alongamento e o módulo em tração. A uniformidade da deformação permite ainda obter medições para a variação dessa deformação em função da tensão aplicada (GARCIA, et al., 2000)

Com o ensaio de tração obtém-se um gráfico tensão-deformação (extensão) (Figura 51), onde é possível analisar o comportamento do material, sendo os valores dependentes do dimensionamento do provete, (GARCIA, et al., 2000)

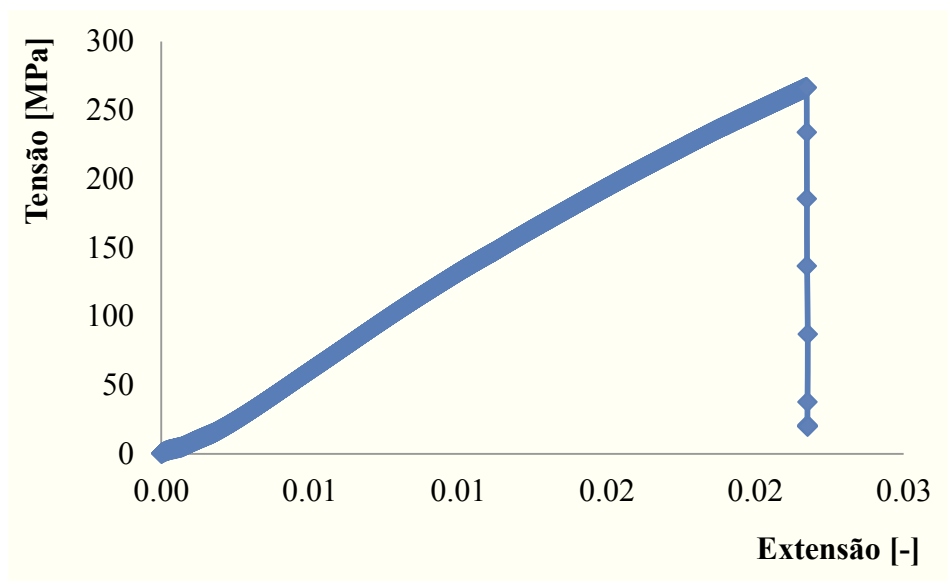


Figura 51 - Curva de tensão – deformação de material compósito com duas camadas de carbono.

No caso de estudo, os provetes utilizados nos ensaios de tração têm as dimensões representadas na Tabela 20

Tabela 20 – Dimensões dos provetes utilizados nos ensaios de tração de 2 e 3 camadas.

Proвете Nomenclatura	Dimensão	Tipo de Reforço/matriz	Número de camadas
2CFC7	94x25x.0.75m m	Fibra de Carbono/ Epóxi	2
2CFC8	94x25x.0.75m m	Fibra de Carbono/ Epóxi	2
2CFC9	94x25x.0.75m m	Fibra de Carbono/ Epóxi	2
3CFC7	94x25x0.97 mm	Fibra de Carbono/ Epóxi	3
3CFC8	94x25x0.97 mm	Fibra de Carbono/ Epóxi	3
3CFC9	94x25x0.97 mm	Fibra de Carbono/ Epóxi	3
3CFV7	94x25x0.6 mm	Fibra de vidro/ Epóxi	3
3CFV8	94x25x0.6 mm	Fibra de vidro/ Epóxi	3
3CFV9	94x25x0.6 mm	Fibra de vidro/ Epóxi	3
6CFC7	94x25x1.7 mm	Fibra de Carbono/ Epóxi	6
6CFC8	94x25x1.7 mm	Fibra de Carbono/ Epóxi	6
6CFC9	94x25x1.7 mm	Fibra de Carbono/ Epóxi	6
6CFV7	94x25x0.9 mm	Fibra de Vidro/ Epóxi	6
6CFV8	94x25x0.9 mm	Fibra de Vidro/ Epóxi	6
6CFV9	94x25x0.9 mm	Fibra de Vidro/ Epóxi	6

Na Figura 52 pode-se observar a geometria e as dimensões dos provetes de 2 camadas de carbono utilizados nos ensaios de tração.

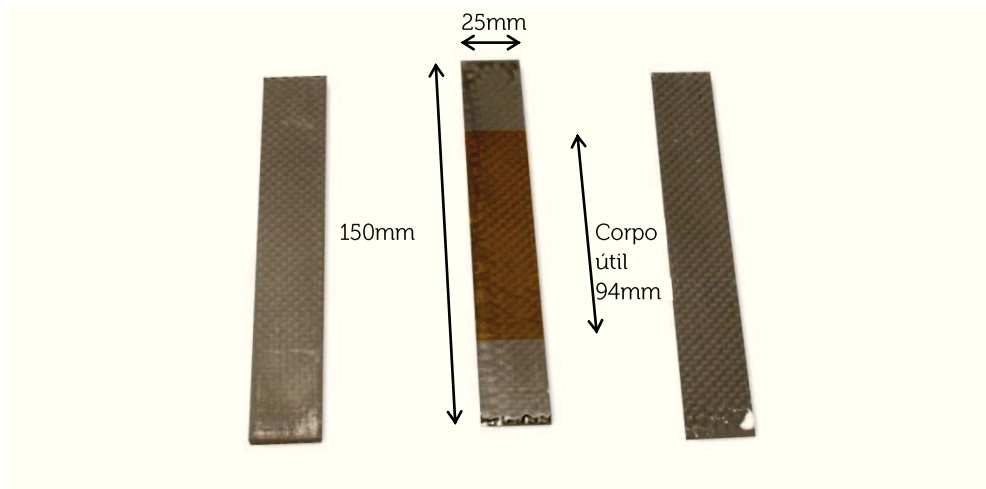


Figura 52 - Provetes 2CFC7,8 e 9, para os ensaios de tração.

A tensão (σ) é definida pela seguinte relação:

$$\sigma = \frac{f}{A_0}$$

(19)

Onde; σ é a tensão; F é a força aplicada e A_0 é a área da secção inicial do corpo onde é aplicada a carga.

Define-se como deformação elástica, a capacidade de um material voltar à sua forma original num ciclo de carregamento e descarregamento, essa deformação é reversível, desaparecendo quando a tensão é removida. A tensão e a deformação são proporcionais de acordo com a seguinte relação:

$$\sigma = E\varepsilon$$

(20)

Sendo σ a tensão real e ε a deformação real. Esta equação é conhecida como a lei de Hooke. Sendo E a constante de proporcionalidade (módulo de elasticidade).

Nos ensaios de tração dos materiais compósitos processados, utilizou-se o equipamento de ensaios universal (laboratórios da ESTG), de marca ZWICK modelo Z100. Todos os ensaios foram realizados a uma velocidade 1mm/min até à rotura.

Todos os dados são registados por meio informático a fim de ser possível obter os dados sobre o material para análise. O software do computador do equipamento de ensaios universal fornece uma tabela (carga [N], deslocamento [mm]) a partir da qual se trataram os dados.

Na Figura 53 pode-se observar o equipamento de ensaios de tração utilizados na caracterização mecânica dos materiais compósitos.

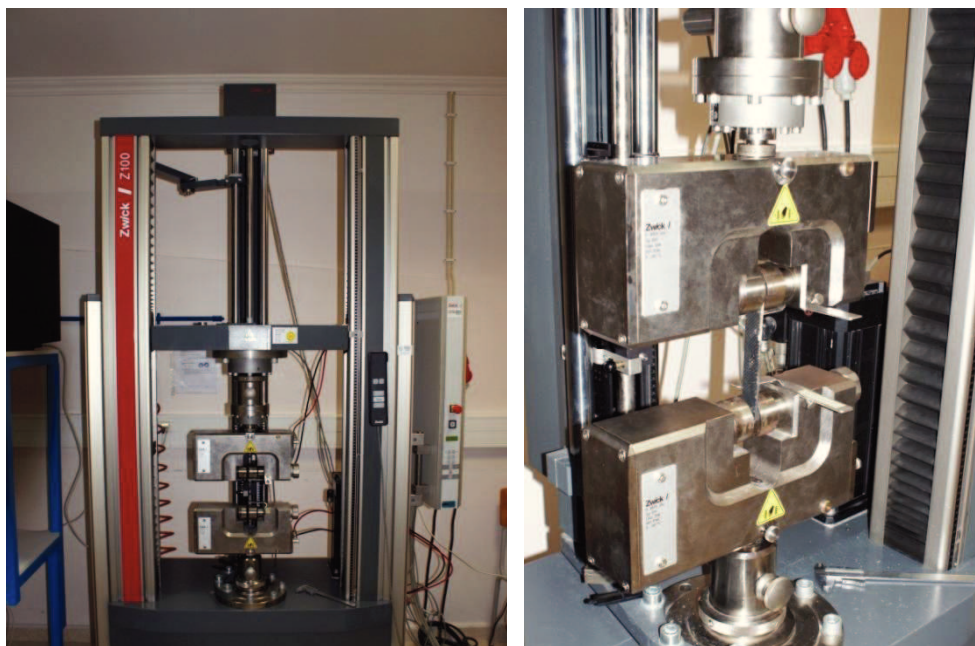


Figura 53 - Equipamento Zwick Z100 utilizado nos ensaios de tração.

Ensaio de DMA (Dinâmica-Mecânica)

Com base nas análises de Dinâmica-Mecânica (DMA) pode-se obter as curvas de variação do módulo de elasticidade com a temperatura e obter a temperatura de transição vítrea de um material compósito de matriz polimérica. O conhecimento deste parâmetro é fundamental para o processamento de materiais. Os ensaios realizados foram em flexão em 3 pontos, com a variação da temperatura entre os 18°C e os 90°C. A norma considerada foi a DIN 53457. O equipamento utilizado para o ensaio foi o equipamento da marca Perkin Elmer DMA 8000 (Figura 54).

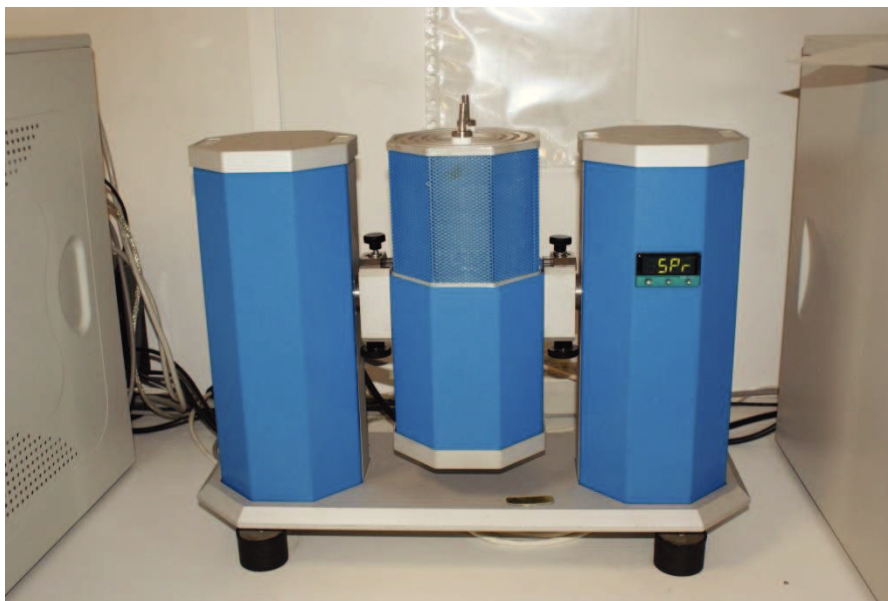


Figura 54: Equipamento de análise DMA, Perkin Elmer DMA 8000

Através deste ensaio é possível obter o módulo elástico (storage modulus - E'') viscoso (loss modulus - E') e o coeficiente de amortecimento ($\tan \delta$ - damping coefficient).

O coeficiente de dano pode-se obter através da seguinte equação:

$$\tan \delta = \frac{E''}{E'} \quad (21)$$

onde E'' é o módulo elástico e E' é o módulo viscoso. Desta forma o módulo elástico pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$E^* = \sqrt{(E'{}^2 + E''{}^2)}$$

(22)

Os provetes utilizados no ensaio de DMA (Tabela 21; Figura 55) têm dimensões de 46 mm de comprimento e 4 mm de largura com altura variável mediante o provete considerado (2, 3 e 6 camadas).

Tabela 21 – Referências e dimensões dos provetes utilizados nos ensaios de DMA.

Provete Nomenclatura	Dimensão	Tipo de Reforço/matriz	Número de camadas
2CFC1	46x4x0.75 mm	Fibra de Carbono/ Epóxi	2
2CFC2	46x4x0.75 mm	Fibra de Carbono/ Epóxi	2
2CFC3	46x4x0.75mm	Fibra de Carbono/ Epóxi	2
3CFC1	46x4x0.97 mm	Fibra de Carbono/ Epóxi	3
3CFC2	46x4x0.9mm	Fibra de Carbono/ Epóxi	3
3CFC3	46x4x0.97 mm	Fibra de Carbono/ Epóxi	3
3CFV1	46x4x0.6 mm	Fibra de vidro/ Epóxi	3
3CFV2	46x4x0.6 mm	Fibra de vidro/ Epóxi	3
3CFV3	46x4x0.6 mm	Fibra de vidro/ Epóxi	3
6CFC1	46x4x1.7 mm	Fibra de Carbono/ Epóxi	6
6CFC2	46x4x1.7 mm	Fibra de Carbono/ Epóxi	6
6CFC3	46x4x1.7 mm	Fibra de Carbono/ Epóxi	6
6CFV1	46x4x0.9 mm	Fibra de Vidro/ Epóxi	6
6CFV2	46x4x0.9 mm	Fibra de Vidro/ Epóxi	6
6CFV3	46x4x0.9 mm	Fibra de Vidro/ Epóxi	6

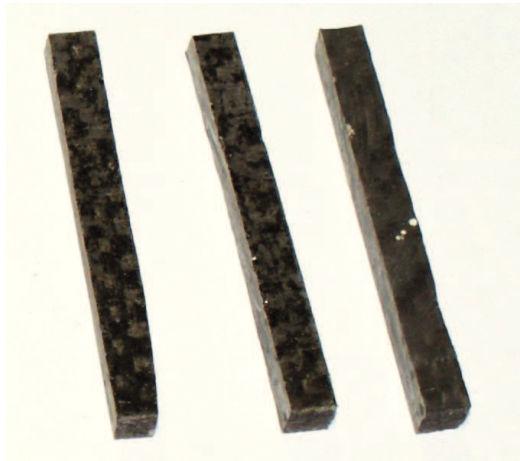


Figura 55 - Provetes 2CFC1, 2 e 3 para o ensaio de DMA

Os resultados dos diferentes ensaios são apresentados e analisados no Capítulo 4 – Apresentação e Discussão de Resultados

Capítulo 4 – Apresentação e Discussão de Resultados

No presente capítulo são apresentados e discutidos os resultados experimentais obtidos na caracterização dos materiais processados. Estes materiais são compósitos com fibras de vidro (2 e 6 camadas) e de carbono (2, 3 e 6 camadas). Estes materiais compósitos foram obtidos por moldação por vácuo.

4.1 Determinação das Densidades

Na Tabela 22 são apresentados os valores de densidade relativos aos materiais processados. Com o aumento da fração volumétrica de fibras os valores de densidades têm uma tendência para aumentar. Os valores de densidade teóricos da resina epóxida e das fibra são, respetivamente, 1.13 g.cm^3 , 1.77 g.cm^3 (fibras de carbono) e 2.56 g.cm^3 (fibras de vidro).

Tabela 22 – Valores de densidades dos compósitos de matriz epóxida com fibras de carbono e compósitos de matriz epóxida com fibras de vidro

Material	Nº camadas	Densidade média [g/cm^3]	Desvio padrão	V_f [%]
2CFC	2 Fibra Carbono	1.192	0,00084	66
3CFC	3 Fibra Carbono	1.332	0,01600	69
6CFC	6 Fibra Carbono	1.311	0,02800	71
3CFV	3 Fibra Vidro	1.520	0,05711	55
6CFV	6 Fibra Carbono	1.559	0,03306	58

4.2 Ensaio de tração

Na Tabela 23 são apresentados os valores máximos à tração do material compósito com fibras de carbono de duas, três e seis camadas. Na tabela são apresentadas as frações volúmicas de fibras para os diferentes materiais processados.

Tabela 23 - Resultados dos ensaios à tração, para os materiais compósitos de fibra de carbono com duas, três e seis camadas de fibra.

Nº de Camadas	Laminado de fibra de carbono						V _f [%]
2C	Tensão [MPa]	Tensão Média	Desvio padrão	E [MPa]	E Média	Desvio padrão	
Provet 1	204,0	254,5	71,4	40138	39038	1555,6	66
Provet 2	305,0			37938			
Provet 3	254,5			39038			
3C	Tensão [MPa]	Tensão Média	Desvio padrão	E [MPa]	E	2C	Tensão [MPa]
Provet 1	268,2	281,8	78,9	40587	41560	911,1	69
Provet 2	210,5			41700			
Provet 3	366,6			42393			
6C	Tensão [MPa]	Tensão Média	Desvio padrão	E [MPa]	E	2C	Tensão [MPa]
Provet 1	350,0	345,9	13,7	53626	53751	771,1	71
Provet 2	357,1			53050			
Provet 3	330,6			54577			

Na figura 59 são apresentados os valores de resistência à tração versus fração volúmica de fibra para os compósitos de matriz epóxida com fibras de carbono.

Na figura 60 são apresentados os valores de resistência à tração versus fração volúmica de fibra para os compósitos de matriz epóxida com fibras de carbono e, também apresentados os valores teóricos obtidos com base na lei das misturas. Estes valores foram obtidos com base nos valores de resistência mecânica presentes na literatura. É possível observar diferenças significativas entre os valores experimentais e os valores teóricos obtidos. Estas diferenças podem ser justificadas com base no fato do processamento destes materiais ser manual, do modelo teórico considerado não ser o

mais adequado e os valores das propriedades mecânicas das fibras obtidas da literatura poderem não serem os mais corretos.

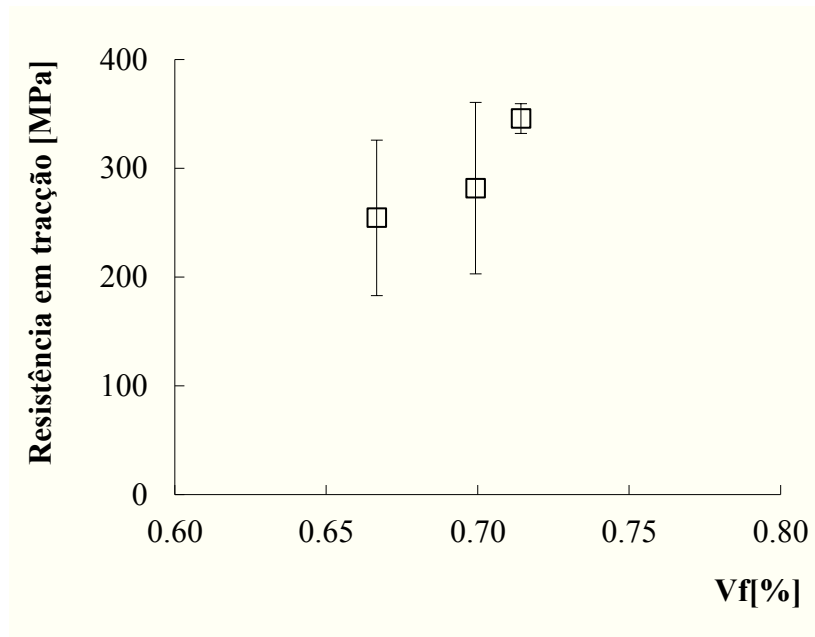


Figura 56 – Resistência em tração (valores experimentais e teóricos) versus fração volumétrica (V_f).

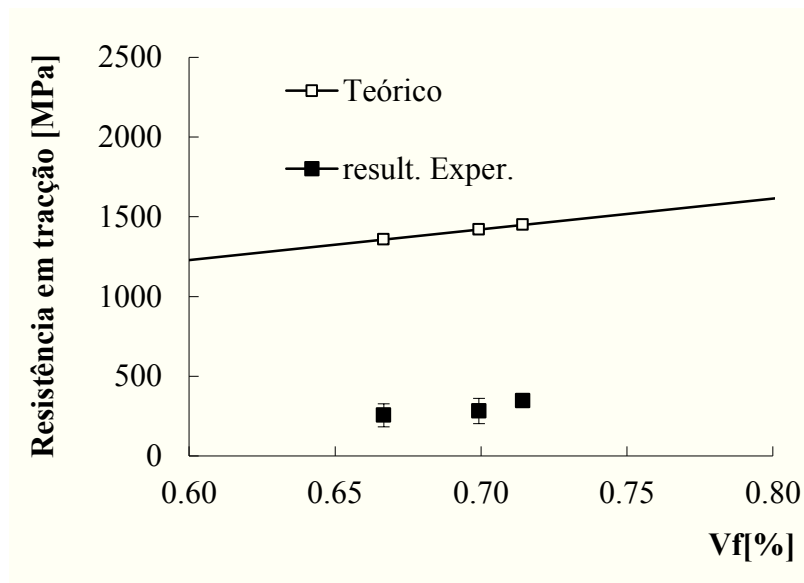


Figura 57 – Resistência à tração versus fração volumétrica (V_f). Para o material composto de fibra de carbono de duas, três e seis camadas

Na figura 61 são apresentados os valores de rigidez à tração versus fração volúmica de fibra para os compostos de matriz epóxida com fibras de carbono.

Na figura 62 são apresentados os valores de rigidez à tração versus fração volúmica de fibra para os compósitos de matriz epóxida com fibras de carbono e, também apresentados os valores teóricos obtidos com base na lei das misturas. Estes valores foram obtidos com base nos valores de rigidez mecânica presentes na literatura. É possível observar pequenas diferenças entre os valores experimentais e os valores teóricos obtidos, que podem ser justificadas com base no fato do processamento destes materiais ser manual.

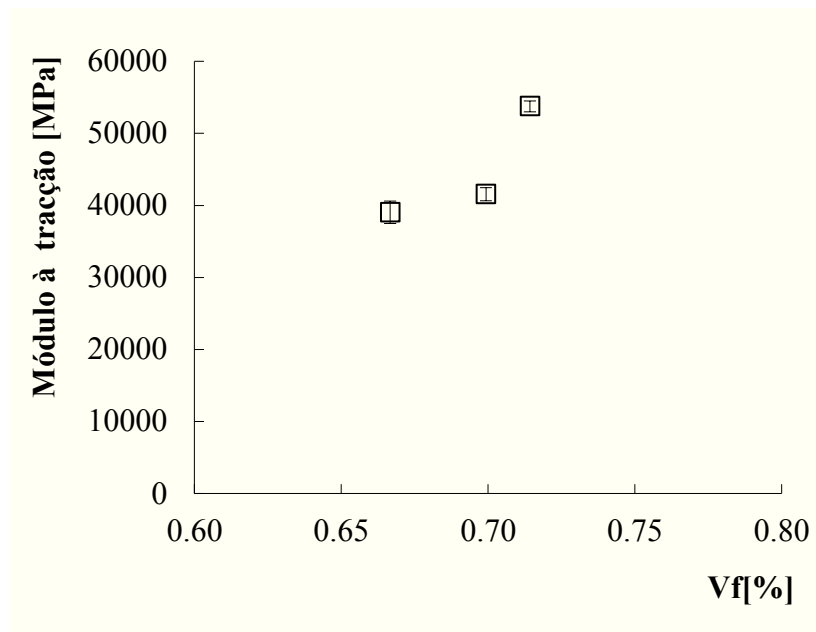


Figura 58 – Valores de módulo em tração versus fração volumétrica (V_f) para os materiais compósitos com fibra de carbono de duas, três e seis camadas

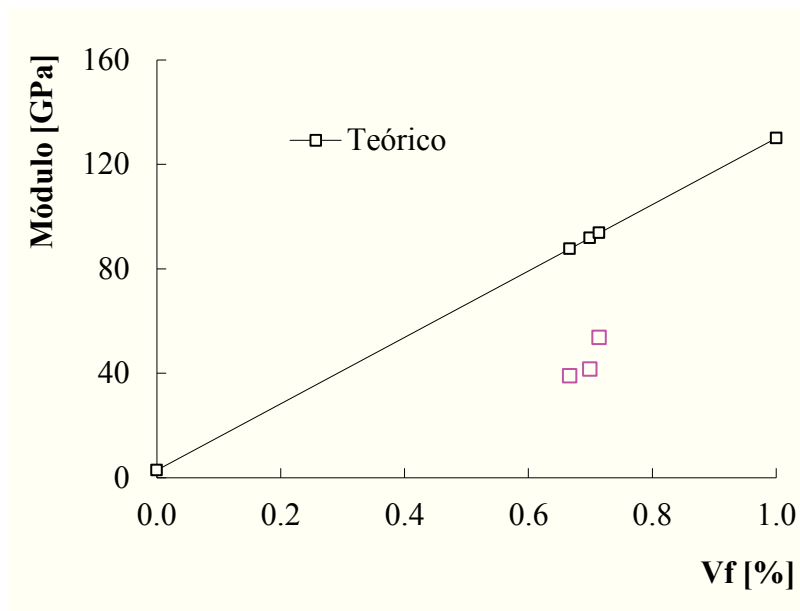


Figura 59 – Valores de módulo em tração (teóricos e experimentais) versus fração volumétrica (V_f).

Na Tabela 24 são apresentados os valores de tensão máxima à tração e de módulo à tração para os materiais compósitos com fibras de vidro de três e seis camadas.

Tabela 24 - Resultados dos ensaios à tração, para os materiais compósitos com fibra de vidro de três e seis camadas de fibra.

Nº de Camadas	Laminado de fibra de carbono						V_f Médio [%]
	Tensão [MPa]	Tensão Média	Desvio padrão	E [MPa]	E Média	Desvio padrão	
3	136	140,3	6,7	5448	5354	82,1	55
	137			5296			
	148			5318			
6	204	212,7	12,5	6200	6000	346,4	58
	227			5600			
	207			6200			

Na figura 63 são apresentados os valores de resistência à tração versus fração volúmica de fibra para os compósitos de matriz epóxida com fibras de fibra.

Na figura 64 são apresentados os valores de resistência à tração versus fração volumétrica de fibra para os compósitos de matriz epóxida com fibras de vidro e, também, apresentados os valores teóricos obtidos com base na lei das misturas. Estes valores foram obtidos com base nos valores de resistência mecânica retirados da literatura. É, também possível observar diferenças significativas ente os valores experimentais e os valores teóricos obtidos. Estas diferenças podem, também ser justificadas com base no processamento destes materiais, do modelo teórico considerado não ser o mais adequado e os valores das propriedades mecânicas das fibras retirados da literatura poderem não ser os mais correspondentes.

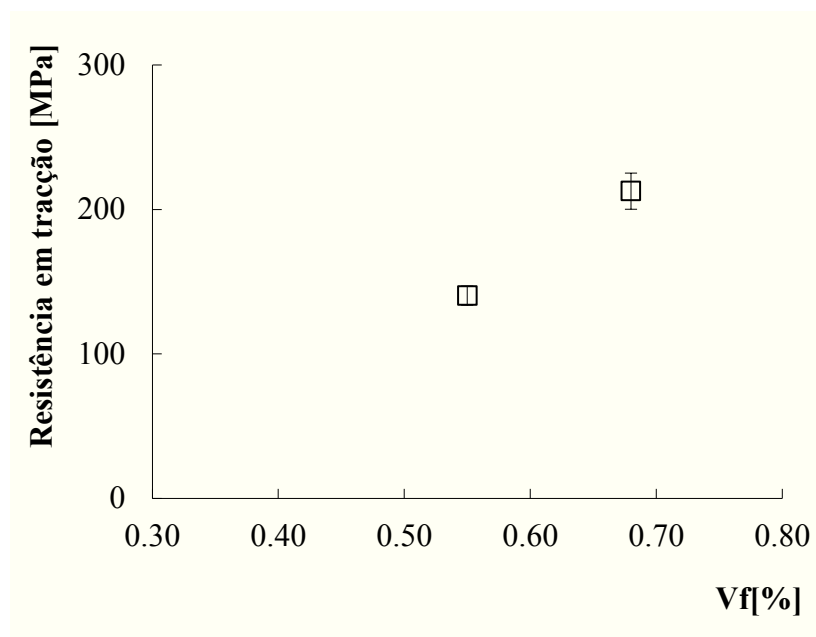


Figura 60 – Valores de resistência à tração versus fração volumétrica (V_f) para os materiais compósitos de fibra de vidro de três e seis camadas.

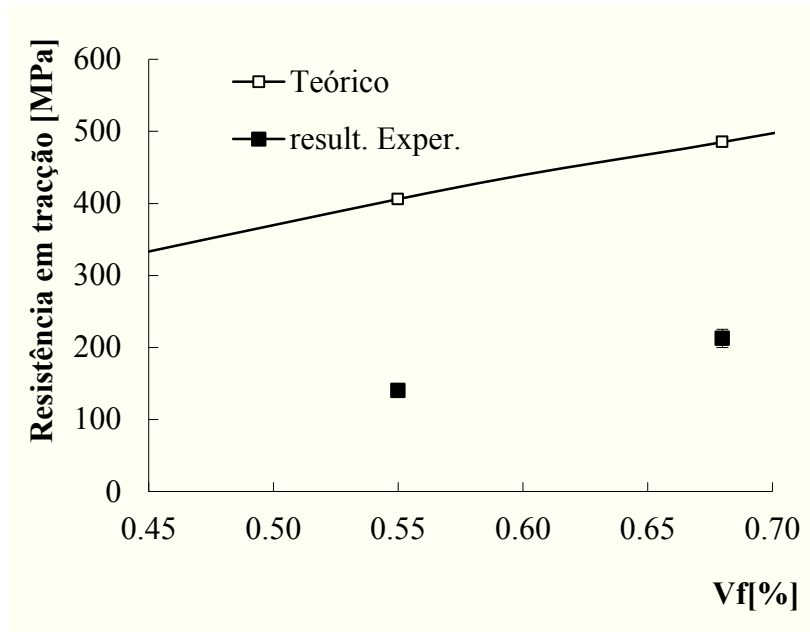


Figura 61 – Valores de resistência à tração versus fração volumétrica (V_f) para os materiais compósitos de fibra de vidro de três e seis camadas.

Na figura 65 são apresentados os valores de módulo à tração versus fração volúmica de fibra para os compósitos de matriz epóxida com fibras de fibra.

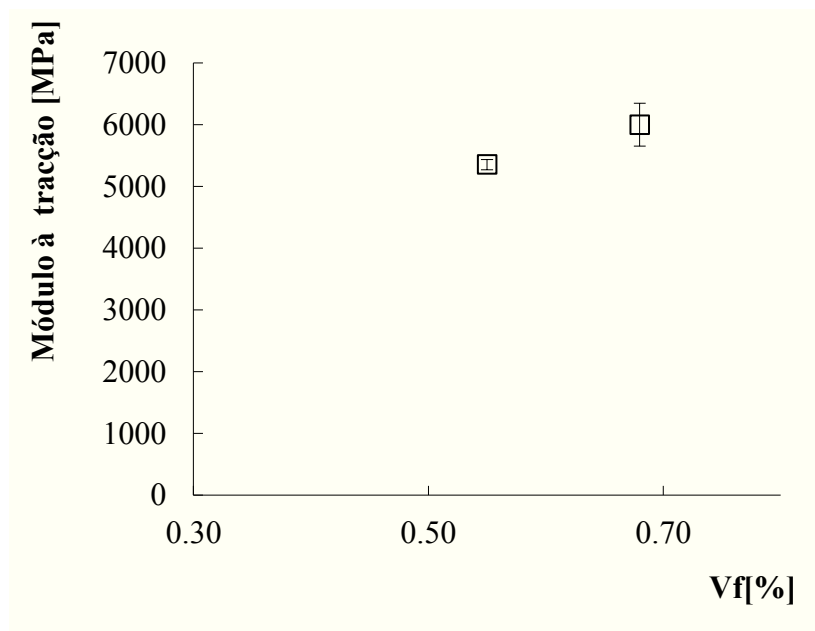


Figura 62 – Valores de módulo à tração versus fração volumétrica (V_f). Para o material compósito de fibra de vidro de três e seis camadas

Na figura 66 são apresentados os valores de módulo à tração versus fração volúmica de fibra para os compósitos de matriz epóxida com fibras de vidro. Os valores teóricos, também indicados na figura forma obtidos com base na lei das misturas, a partir dos valores de módulo retirados da literatura. Pode-se observar pequenas diferenças entre os valores experimentais e os valores teóricos obtidos.

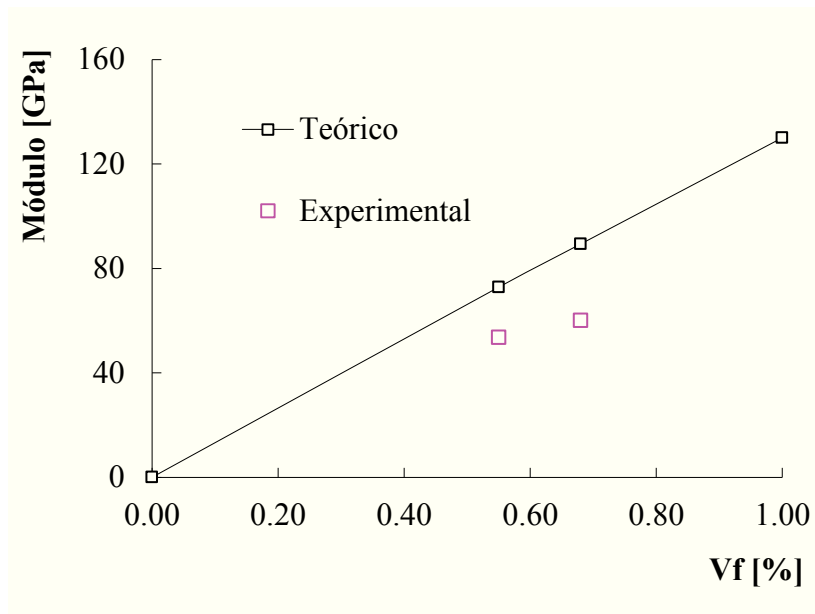


Figura 63 – Valores de módulo à tração (experimentais e teóricos) versus fração volúmica (V_f) para os materiais compósitos de fibra de vidro de três e seis camadas.

4.3 Ensaio de DMA

Na Figura 64 são apresentadas as curvas de variação do módulo à flexão versus temperatura para os materiais compósitos de fibra de carbono processados. Com o aumento da temperatura os valores de rigidez diminuem como era expectável. Os valores de módulo à flexão do compósito com maior fração volúmica de fibras de carbono (6 camadas) apresentam naturalmente maiores valores que os com menor fração volúmica de fibra (3 camadas) para valores de temperatura entre os 25 e os 50 °C.

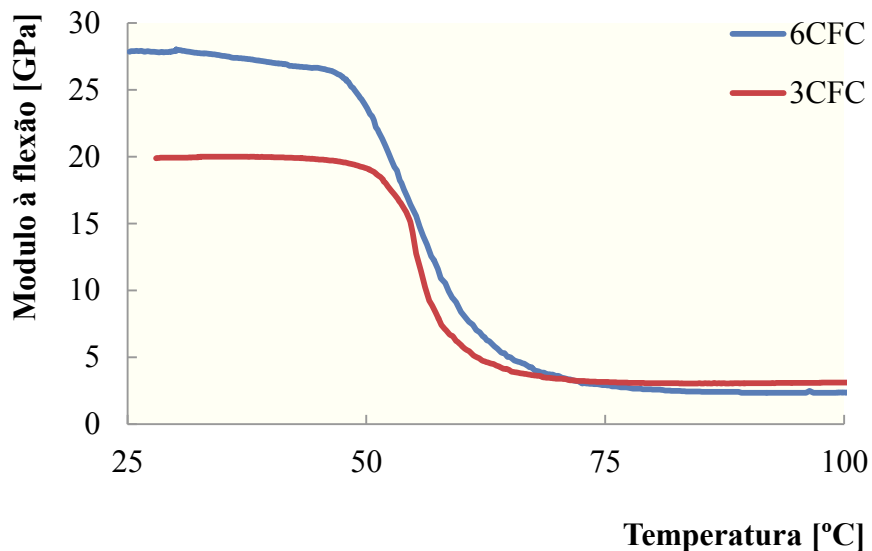


Figura 64 – Curvas de variação do módulo à flexão versus temperatura, para os materiais compósitos de fibra de carbono de três e seis camadas.

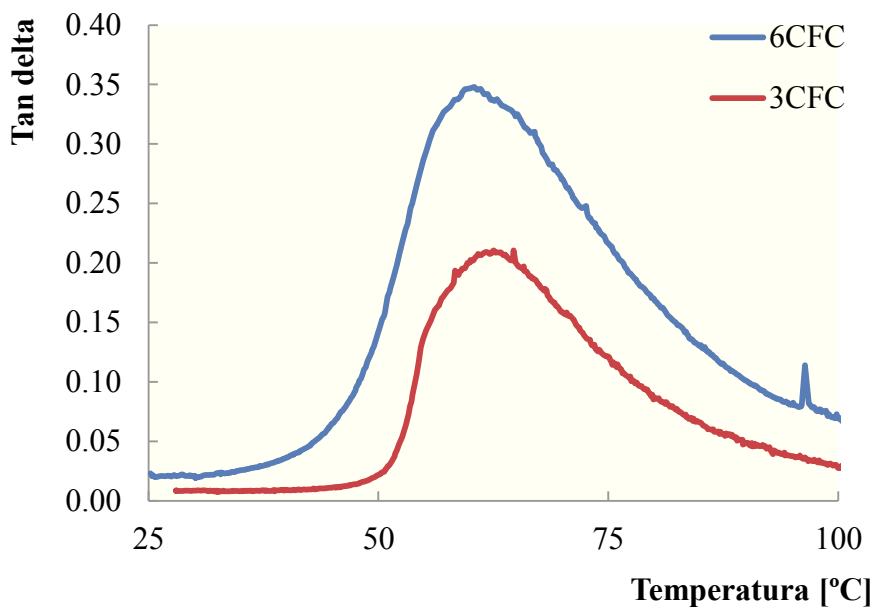


Figura 65 – Curvas de variação do Tan delta versus temperatura, para os materiais compósitos de fibra de carbono de três e seis camadas.

Na figura 68 são apresentadas as curvas de *Tan delta* versus temperatura. Os valores de temperatura de transição vítrea (T_g) obtidos foram respectivamente de 59.4 °C para o compósito com seis camadas de fibra de carbono e 60 °C para o compósito com três camadas de carbono.

Na figura 69 são apresentados os valores experimentais e teóricos dados pelos modelos de previsão de Voigt e Reuss. Pode-se observar que os valores experimentais estão

claramente acima dos valores relativos ao modelo de Reuss e abaixo dos valores dados pelo modelo de Voigt.

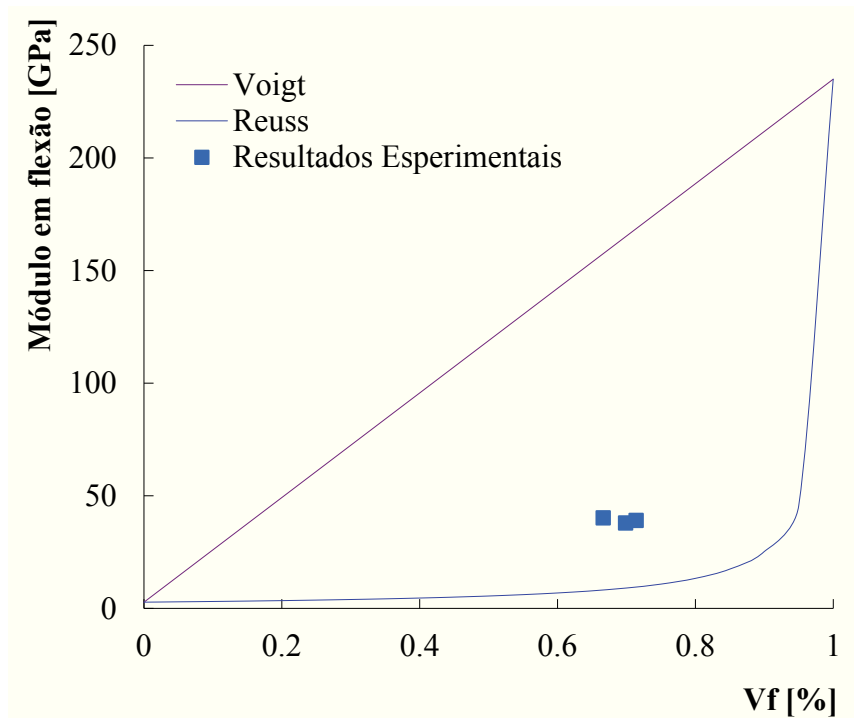


Figura 66 – Valores de módulo à flexão (valores experimentais obtidos nos ensaios de DMA e valores teóricos) versus fração volúmica de fibra.

Na Figura 67 são apresentadas as curvas de variação do módulo à flexão versus temperatura para os materiais compósitos de fibra de vidro processados. Com o aumento da temperatura os valores de rigidez diminuem como era expectável. Os valores de módulo à flexão do compósito com maior fração volúmica de fibras de vidro (6 camadas) apresentam naturalmente maiores valores que os com menor fração volúmica de fibra (3 camadas) para valores de temperatura entre os 25 e os 45 °C.

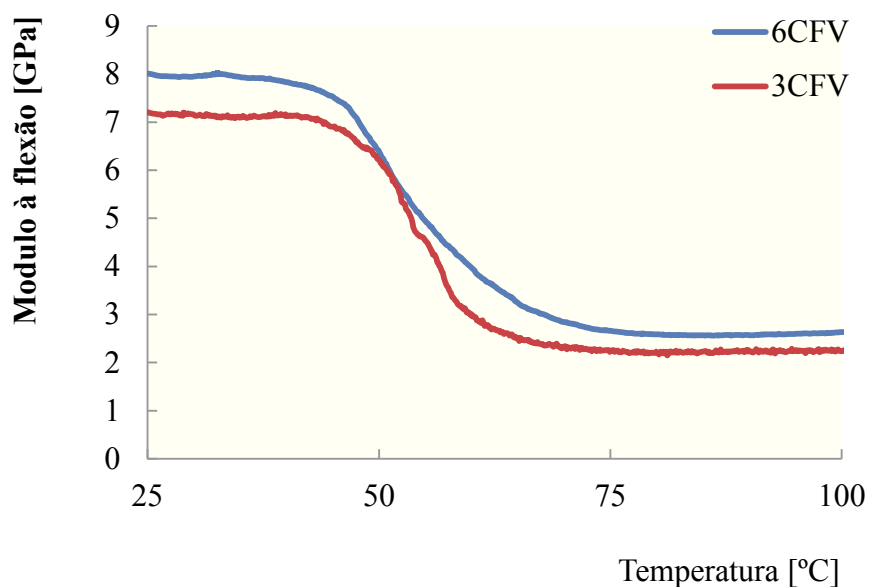


Figura 67 – Curvas de variação do módulo à flexão versus temperatura, para os materiais compósitos de fibra de carbono de três e seis camadas.

Na figura 71 são apresentadas as curvas de Tan delta versus temperatura. Os valores de temperatura de transição vítrea (T_g) obtidos foram respectivamente de 60.7 °C para o compósito com seis camadas de fibra de vidro e 60.1 °C para o compósito com três camadas de vidro.

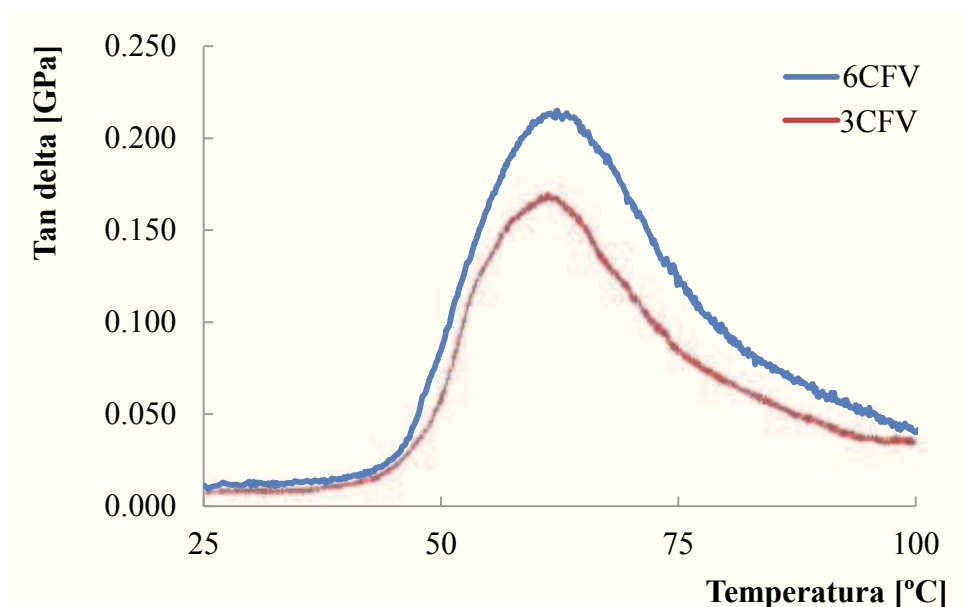


Figura 68 – Curvas de variação do Tan delta versus temperatura, para os materiais compósitos de fibra de carbono de três e seis camadas.

Na figura 72 são apresentados os valores experimentais e teóricos dados pelos modelos de previsão de Voigt e Reuss. Pode-se observar que os valores experimentais estão claramente acima dos valores relativos ao modelo de Reuss e abaixo dos valores dados pelo modelo de Voigt.

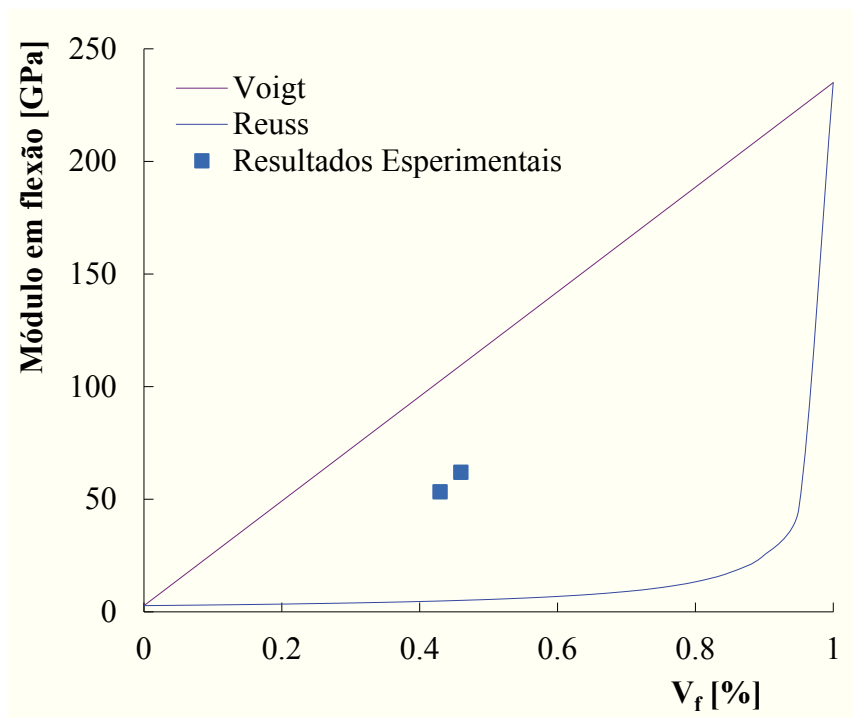


Figura 69 – Valores de módulo à flexão (valores experimentais obtidos nos ensaios de DMA e valores teóricos) versus fração volúmica de fibra.

Capítulo 5 - Órtese Ergohelp, descrição e desenvolvimento do caso de estudo

5.1 Motivação:

O objeto de estudo do trabalho centrou-se nas dificuldades de desempenhar uma simples função como agarrar um lápis com autonomia, mudar para uma caneta ou mesmo uma Pen de uma prancheta digitalizadora, para estar ao computador ou mesmo para escrever ou desenhar.

O projeto Ergohelp pretende dar autonomia nestas funções facilitando e dando mais rigor às tarefas. Como referem os autores (Braccialli, et al., 2011) pessoas com disfunções físicas apresentam dificuldades na realização de atividades funcionais sendo essencial a prescrição e confeção de uma órtese ou prótese, com objetivo de aumentar as capacidades funcionais e promover a inclusão social

A Motivação essencial no projeto, baseou-se em Luís Cordeiro, Designer Gráfico, com tetraplegia C5 e C6. A sua dependência para agarrar uma caneta pousada em cima da mesa ou mesmo a pen que usa para estar ao computador, fez com que, arcaicamente se produzisse uma base para suportar a pen ou mesmo a caneta, para fácil acesso e utilização. (Figura 64 e Figura 71)

A vontade de estudar um objeto para ajudar nesta tarefa motivou o desenvolvimento da órtese Ergohelp.



Figura 70 - Base artesanal.

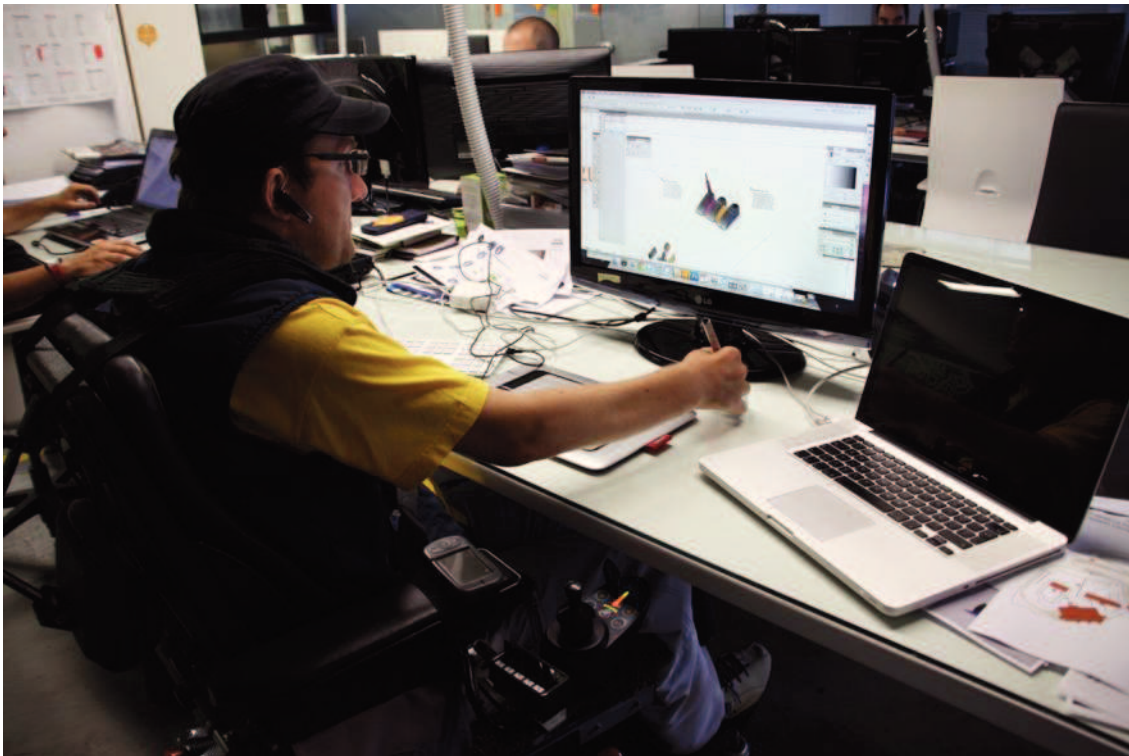


Figura 71 - Luís cordeiro a Utilizar a base

5.2 *Design é inclusão.*

“Definição e metodologia no caso de estudo”

5.2.1 *O conceito de design.*

A disciplina de *design* industrial é caracterizada segundo (Maldonado, 2012), como a atividade de projecto que consiste em determinar as propriedades formais dos objetos a serem produzidos industrialmente. Por propriedades formais entende-se não só as características exteriores, mas, sobretudo, as relações estruturais e funcionais que dão coerência a um objeto tanto do ponto de vista do produtor quanto a do utilizador. Já (Bonsiepe, 1992), caracteriza o *design* industrial como uma atividade projetual, responsável pela determinação das características funcionais, estruturais e estético-formais de um produto, ou sistemas de produtos, para fabricação em série. É parte integrante de uma atividade mais ampla denominada desenvolvimento de produtos. A sua maior contribuição está na melhoria da qualidade de uso e da qualidade estética de um produto, compatibilizando exigências técnico-funcionais com restrições de ordem técnico-económicas.

As relações entre o *designer* e o objeto, o pensamento sobre este, baseado numa metodologia é denominado processo criativo, referido por (Lobach, 1976) a junção do processo criativo e o processo de design resulta na resolução de problemas. Cruzando esta definição de processo criativo com definição de design industrial supracitadas, chega-se a um ponto de comum que é a resolução de problemas

A metodologia em *design* é essencial para uma boa condução de todo o processo. Segundo (Munari, 1981) a metodologia é um conjunto de operações necessárias dispostas em ordem lógica, que nos leva de forma fiável e segura à solução de um problema.

Design é uma disciplina que não produz apenas realidades materiais mas especialmente preenche funções comunicativas. (Bürdek, 1994)

O desenvolvimento da metodologia de *design* remonta aos anos 60, sendo pioneira a escola de HFG ulm, (Alexander, 1964), que se dedicava bastante ao desenvolvimento deste tema. A metodologia projectual é base do desenvolvimento de um produto.

5.3 Metodologia de design

Gui Bonsiepe, descreve a metodologia projectual como uma atitude racional dupla, que por um lado evita um comportamento errático, colocando metas específicas a atingir e por outro como o comportamento distintivo da atividade criativa, pois esta baseia-se em dados, soluções, decisões, acabando por perder a aura que envolve a atividade criativa, tornando a metodologia projectual uma fórmula eficaz de conduzir um processo. (Bonsiepe, 1992)

A metodologia projectual, pode ser caracterizada ou agrupada em três grupos; Sendo o primeiro a estruturação do problema projectual; o segundo o projeto e por ultimo a realização do projeto. Como refere Gui Bonsiepe, cada um destes grupos ou fases está dividido em etapas, contudo, estas etapas não tem um carácter vinculativo pois podem ser alteradas ou reposicionadas conforme as necessidades de projeto. (Bonsiepe, 1992)

A fase um pode ser abordada segundo os seguintes tópicos; (Bonsiepe, 1992)

- 1- Descoberta de uma necessidade, onde é identificada a motivação ou a oportunidade de projeto
- 2- Avaliação da necessidade, onde esta é avaliada segundo o seu grau de compatibilidade com outras necessidades e disponibilidade de recursos, estabelecendo-se a formulação do problema.
- 3- Formulação geral de um problema, onde, com base nas informações recolhidas, são descritas as particularidades/finalidades do produto a projetar.
- 4- Formulação pormenorizada de um problema, enuncia-se os requisitos funcionais e específicos do projeto, formulando variáveis em que o *designer* pode controlar e as que este não controla.

- 5- Fracionamento de um problema, onde a complexidade do problema é reduzida a dimensões mais facilmente tratáveis. O problema é fracionado em problemas parciais que se podem resolver de forma parcial.
- 6- Hierarquização dos problemas parciais, onde se procura a resolução dos problemas nevrálgicos em primeiro lugar, pois são os condicionantes do projeto.
- 7- Análise das soluções existentes, onde no caso de problemas já conhecidos, se faz uma comparação das vantagens e desvantagens das soluções existentes utilizando critérios como a complexidade, os custos, a produção, a segurança, ou a fiabilidade.

Na segunda fase, da metodologia abordam-se os seguintes pontos; (Bonsiepe, 1992)

- 1- Desenvolvimento das alternativas (conceitos projetuais, esquemas projetuais) onde se recorre a uma série de técnicas como por exemplo brainstorming, para através de desenhos esquemas, etc., se chegar a uma série de alternativas e definições para o projeto.
- 2- Avaliação e escolha das alternativas. Nesta fase avaliam-se as alternativas seguindo um elenco de critérios definidos mediante o projeto, sendo por exemplo feita referência a aspetos de exequibilidade funcional, coerência formal ou mesmo complexidade.
- 3- Elaboração de pormenores, onde se dimensionam diferentes partes do produto, decompondo-se todos os pormenores de ligação, estabelecendo-se tolerâncias e definindo-se desenhos, modelos CAD, etc., que servem para aprofundar a fase do modelo do objeto.
- 4- Prova do protótipo, em que o modelo/protótipo é submetido a testes para localizar falhas de projeto, procedendo às suas correções.
- 5- Modificação do protótipo, em que, segundo os resultados obtidos na prova, o objeto/produto é melhorado e efetivado para passar à última fase que é a fabricação da pré-série.

Terceira fase; (Bonsiepe, 1992)

- 1 Fabricação da pré-série, onde o modelo é fabricado numa pequena série e inserido no mercado numa pequena série de prova onde o público-alvo ou utilizador experimentam e tiram conclusões sobre o produto na sua utilização

real. Após estas considerações o produto, pode entrar em produção final e entrar no mercado para ser comercializado.

Estas considerações sobre a METODOLOGIA PROJECTUAL são abordadas e refletidas de diversas maneiras pelo autor em questão, (Bonsiepe, 1992), que vê de uma forma mais racional e linear a metodologia projectual. Já (Munari, 1981) compara a metodologia de *design* a uma receita de arroz (Figura 72). Em que (P) é o problema; (DP) a decomposição do problema; (CP) Componentes do problema; (RD) recolha de dados; (AD) análise de dados; (C) criatividade; (MT) materiais e tecnologia; (E) experimentação; (M) Modelo; (V) verificação; (S) solução.

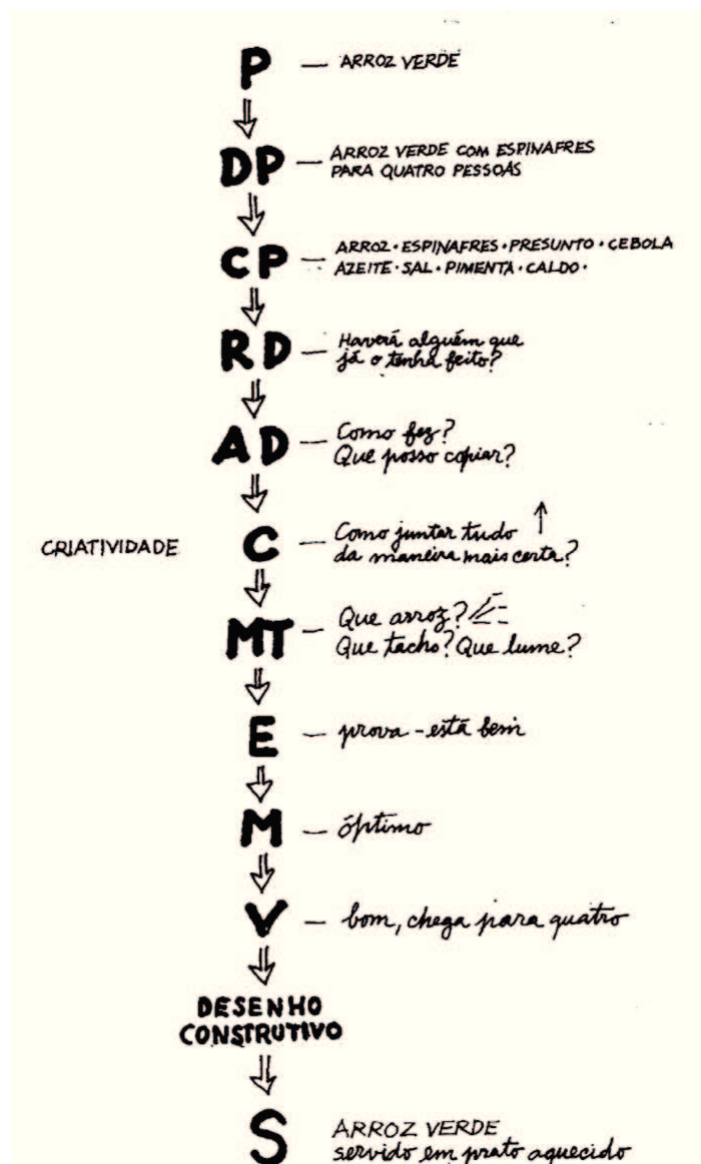


Figura 72 - Metodologia projectual segundo (Munari, 1981)

O bom *design* Segundo Bürdek, (Bürdek, 1994) deve seguir os 10 tópicos seguintes:

1. Elevada utilidade prática
2. Ser seguro
3. Ter uma vida longa
4. Adequação ergonómica
5. Independência técnica e formal
6. Relação com o ambiente
7. Não prejudicar o meio ambiente
8. Visualização do seu uso
9. Alto nível de *design*.
10. Estimulante sensorial e intelectualmente

Todo o processo de desenvolvimento de produto do objeto em estudo, órtese Ergohelp segue as metodologias e ideologias expostas acima.

5.4 O conceito de inclusividade

Como refere (Monge, 2006) o mundo da forma como está construído não se adapta de forma exemplar a nenhum de nós.

Existem momentos em que todos experimentam as dificuldades existentes no espaço em que vivem ou com os produtos que usam. Dificuldades que surgem da inadaptação do construído face às necessidades (Simões & Bispo, 2006).

Os *designers* estão treinados para projetar para um “Homem Médio”, pensamento ideológico mas falso pois cada indivíduo é único (Simões & Bispo, 2006), o autor (Monge, 2006) enfatiza que, quando é pedido aos *designers* para projetarem para pessoas com incapacidade, estes tendem a projetar para estereótipos enfatizando a função relativamente a outros valores como a dignidade, um uso agradável e que expressem a sua personalidade, havendo uma divergência entre os *designers* e os

utilizadores. Desta forma o autor refere que o *design* inclusivo lida com estes problemas e é importante projetar produtos satisfatórios que cumpram não só com os requisitos funcionais, mas também com requisitos em termos de ajustabilidade e aspeto exterior.

Por este motivo, o *design* inclusivo pode ser definido como o desenvolvimento de produtos e de ambientes, que permitam a utilização por pessoas de todas as capacidades tendo como principal objetivo contribuir, através da construção do meio, para a não discriminação e inclusão social de todas as pessoas. (Simões & Bispo, 2006)

5.4.1 *Os sete princípios do design universal*

O importante para o proposto pelo *design* universal é o entendimento deste como uma inspiração para um bom projeto e não como um constrangimento para este, sendo a universalidade de utilização um limite inatingível, mas que, ao ser explorado, promove um processo de melhoramento continuado do mundo construído. (Simões & Bispo, 2006)

Por esse motivo, a equipa do Centro para o Design Universal desenvolveu os sete Princípios do Design Universal (Center for Universal Design, 1997,) e (Simões & Bispo, 2006) que são apresentados nos seguintes pontos

- **Uso Equitativo**, que proporciona a mesma forma de utilização a todos os utilizadores, sendo atrativo a todos, sem estigmatizar pessoas com dificuldades ou deficiências.
- **Flexibilidade no Uso**, permite escolher a forma de utilização mais adequada, devendo dar a possibilidade de se adaptar, promovendo, em simultâneo a precisão de utilização e adaptabilidade ao ritmo do utilizador.
- **Uso Simples e Intuitivo**, Compreende a facilidade de acesso ou entendimento independentemente das capacidades linguísticas ou de conhecimento do utilizador, eliminando complexidades desnecessárias garantindo a prontidão e resposta efetiva durante a sua utilização.
- **Informação Percetível**, comunica de forma eficaz ao utilizador a informação necessária, podendo se comunicar de diferentes formas como verbal, tátil ou pictograficamente, maximizando a legibilidade dessa mesma informação.

- **Tolerância ao Erro**, minimiza riscos e consequências, quer sejam acidentais ou não intencionais, minimizando riscos, proporcionando uma falha segura.
- **Baixo Esforço Físico**, que deve possibilitar a utilização com o mínimo de dispêndio de energia, com um baixo esforço físico, minimizando assim as operações repetitivas.
- **Tamanho e Espaço para Aproximação e Uso**, devem ser acautelados os espaços, visibilidade e tamanhos necessários à utilização por qualquer pessoa, independentemente das suas dificuldades de mobilidade, altura ou postura, acomodando assim variações no tamanho para dar a maior acomodação e adaptabilidade aos utilizadores.

Com base nos princípios apresentados, e nas metodologias de projeto expostas, o caso de estudo da órtese Ergohelp tem boas bases para um desenvolvimento de produto, coerente e centrado no utilizador, fazendo com que este seja facilmente utilizado por este, apesar do desenho estar muito dirigido a utilizadores com movimentos mais condicionados.

5.5 Ergohelp, a estrutura:

O Ergohelp é uma órtese que pode ser usada por qualquer pessoa com dificuldades em agarrar e manusear objetos, ou desempenhar funções associadas a estes como a escrita, ou trabalhar no computador, como referido no capítulo da Motivação:

O nome do projeto advém da junção abreviada de duas palavras de interesse notório no desenvolvimento do projeto, ERGO, de ergonomia, conforto e HELP, de ajuda a ser mais autónomo, mais confortável mais preciso.

A Ergohelp é constituída por 4 módulos: **A órtese; o adaptador; a base e o repouso para a órtese**, que se iram analisar em termos de funcionalidade, forma e materiais nos respetivos pontos.

A Órtese é constituída em laminado de fibra de carbono com matriz epoxídica, com a inserção de um 2º material, permitindo o aumento do conforto para o utilizador deixando a mão transpirar e impedindo o ferimento pela utilização diária. (Figura 73).



Figura 73 - Órtese Ergohelp em Laminado CRFM e EPDM, pormenor da inserção do 2º material

Na Figura 74 é representado a anatomia da órtese com a identificação dos seus componentes.

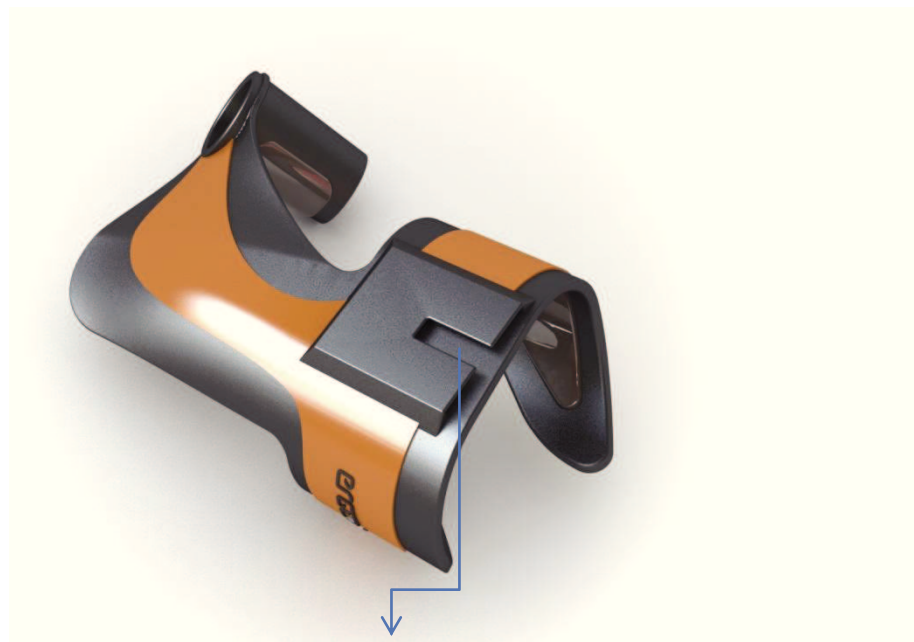
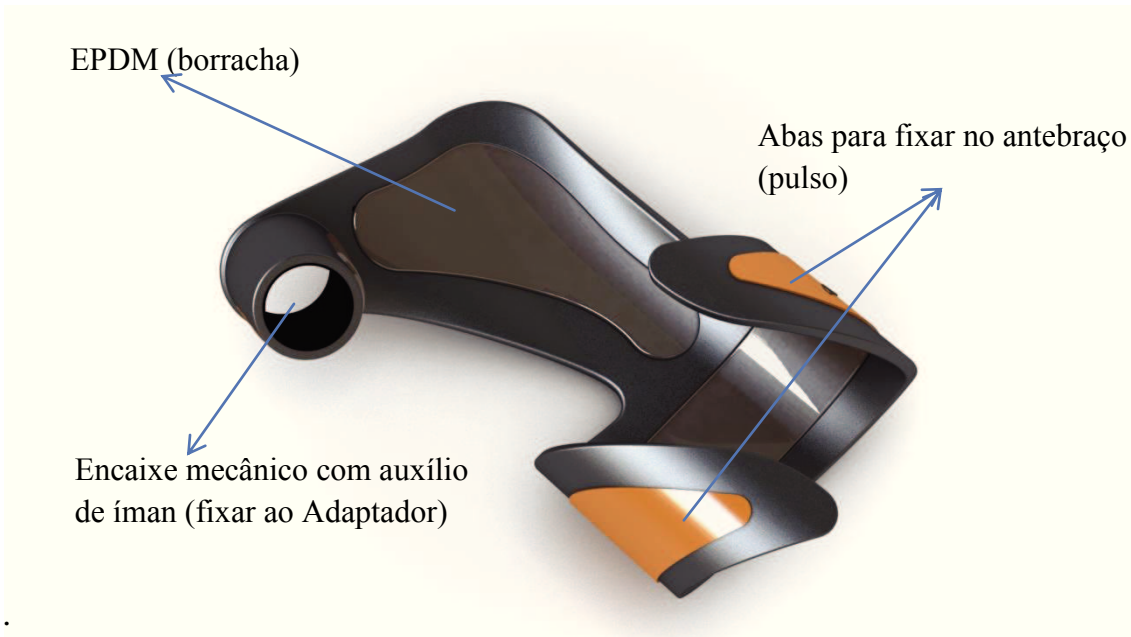


Figura 74 - Anatomia da órtese.

5.5.1 Colocação da órtese:

A colocação da órtese por parte do utilizador é bastante simples, a órtese tem duas abas de fixação flexíveis que permitem em dois passos, colocar a órtese (Figura 75), primeiramente pressionar para baixo com a mão ao “cutelo” e, depois de encaixada rodar para encaixar o polegar e fixar as abas.

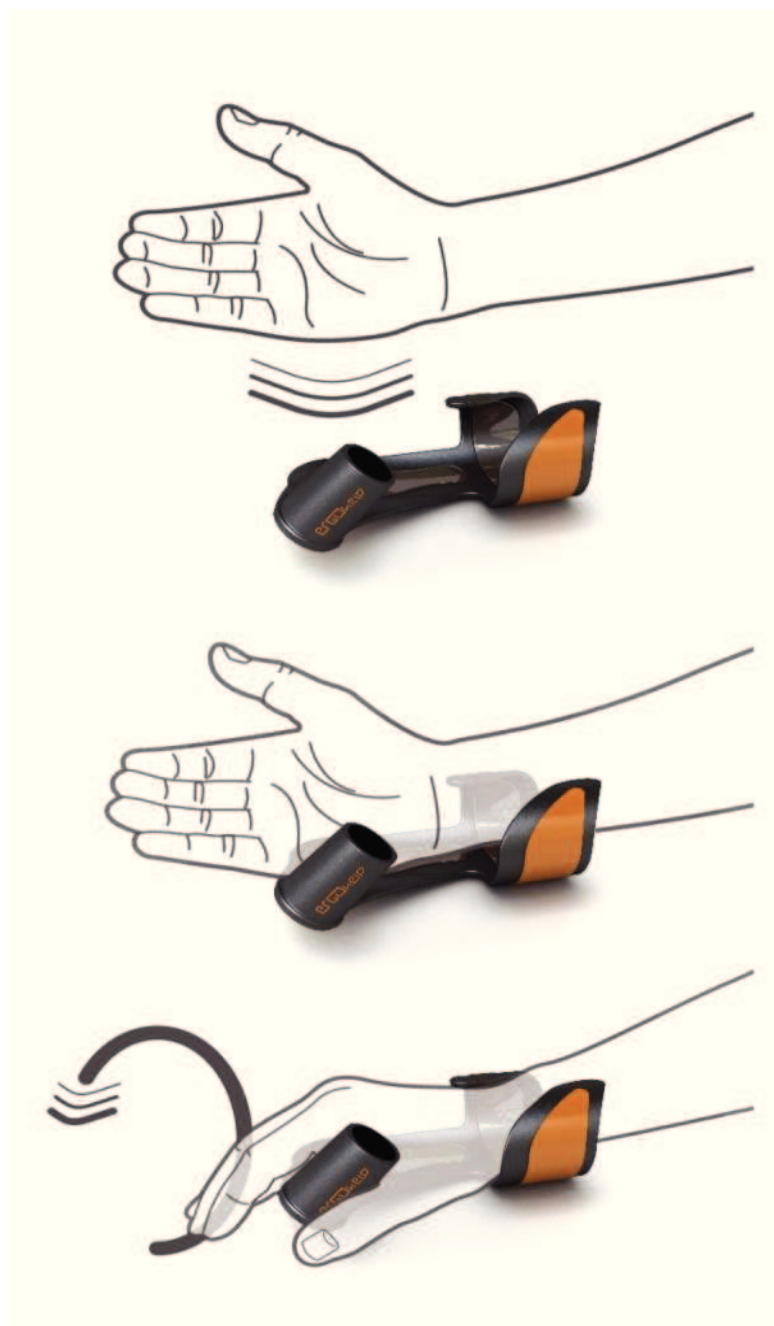


Figura 75 - Colocação da órtese

A ligação da órtese com o adaptador é feita através de um encaixe mecânico com o auxílio de um ímã que facilita a sua colocação como representado na Figura 74 - *Anatomia da órtese*.

Através do magnetismo é possível fixar o adaptador à prótese e por fim ser libertado quando fixo à base, como se irá abordar no seguinte ponto.

5.5.2 O Adaptador:

O Adaptador é constituído por um corpo exterior, um adaptador roscado e um adaptador de diâmetro. Os dois últimos têm a função de ser possível a adaptação a qualquer diâmetro, seja o de uma caneta seja uma *pen digitalizadora*. Figura 76 é referida a anatomia do adaptador.



Figura 76 - Anatomia do adaptador.

A colocação do objeto pretendido no adaptador é o único momento em que o utilizador recorre a um terceiro, para preparar a “paleta” de objetos que estão dispostos na base de trabalho intitulada de “paleta” (o conjunto de Bases) (Figura 77)

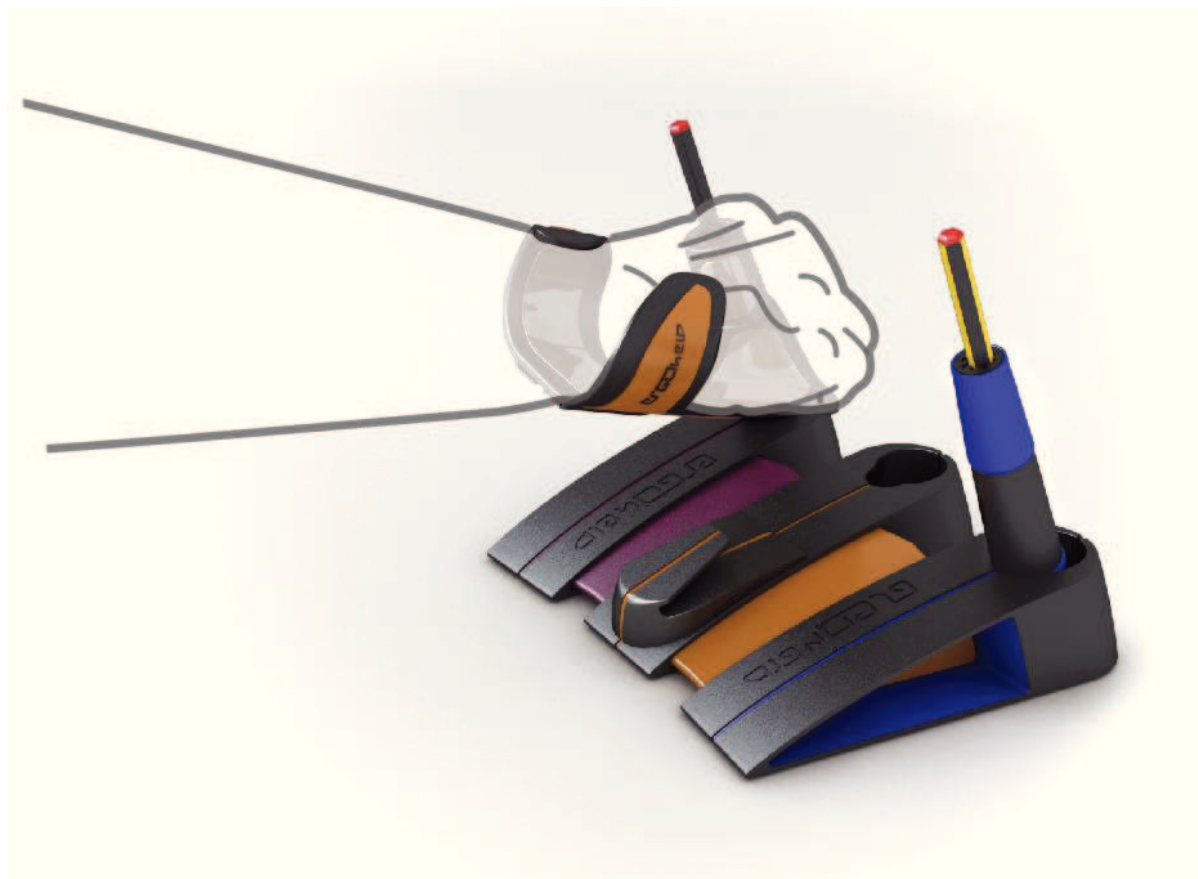


Figura 77 - “Paleta” de trabalho.

O adaptador e a órtese, no local de encaixe, detêm um íman que permite a fácil troca entre os adaptadores, a imagem anterior permite compreender como se coloca o adaptador na órtese e como se retira da base. Em três passos é possível colocar o adaptador e retirá-lo da base.

Primeiramente aproxima-se a prótese do adaptador pretendido, o íman fixa-o na órtese, seguidamente faz-se um movimento para a frente e posteriormente para cima.

O movimento para a frente permite desencaixar o adaptador da base e ser libertado na totalidade com o movimento para cima, para voltar a colocar na base repete-se os mesmos gestos mas por ordem contrária, podendo de seguida escolher outro adaptador ou repousar a órtese. (Figura 78)



Figura 78 - Esquema da colocação do adaptador na órtese.

5.5.3 A base dos adaptadores:

A base poderá ser uma ou mais dependendo da paleta de trabalho que se pretende. Poderemos ter um lápis, caneta e facilmente trocar entre eles, a base tem um acessório que permite a fixação entre as várias bases. Este objeto colorido ajuda a dar resistência de fixação das bases à base de trabalho e dispor em “arco” os acessórios, pois assim o alcance os mesmos não fica comprometido.

Na Figura 79 é possível ver o exemplo de duas bases e uma junção de bases e na Figura 80 o arco que estas dispõem quando estão em conjunto.

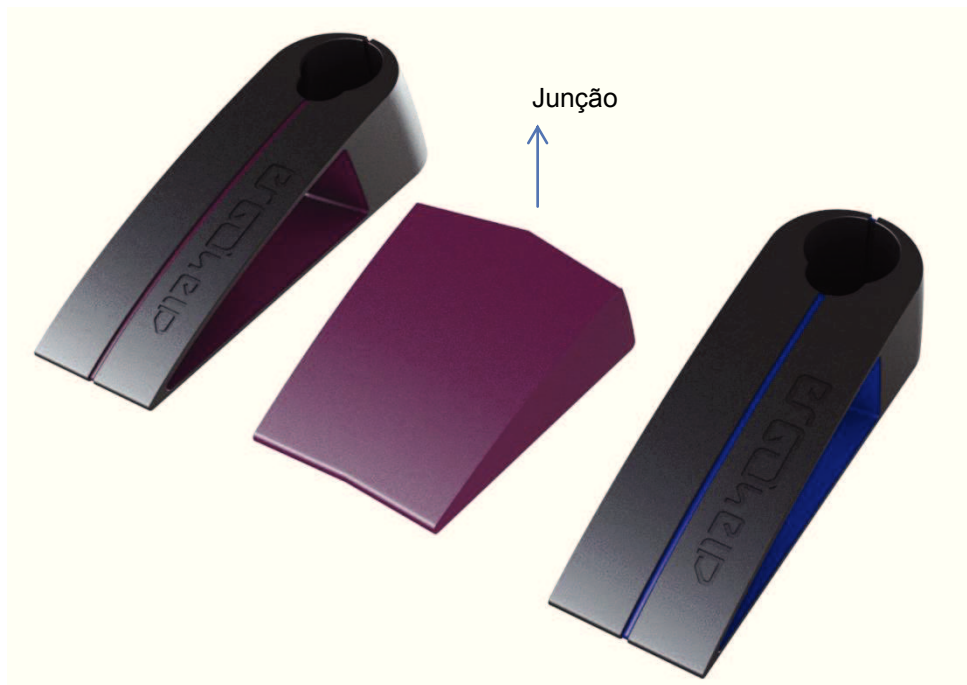


Figura 79 - Bases mais junção



Figura 80 - Arco criado pela junção

A anatomia dos adaptadores é bastante simples e referenciada na Figura 76. O topo do produto é constituído por duas circunferências que se encontram, uma de maior diâmetro, onde é pousado o adaptador e a de menor diâmetro, o adaptador fixa-se com o encaixe metálico (Figura 81)



Figura 81 - Pormenor do encaixe do adaptador à base.

5.5.4 A base de repouso para a Órtese:

A Base de repouso para a órtese é formalmente semelhante à base do adaptador, apenas detém um macho de encaixe que se fixa à órtese para ser possível o seu repouso e a sua remoção do braço. Esse processo é autónomo e simplificado. (Figura 82)

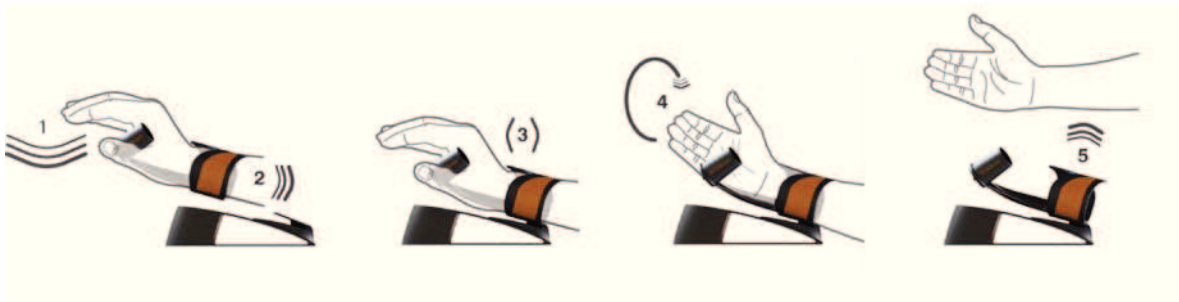


Figura 82 - Encaixe da prótese na base de repouso.

O primeiro passo é aproximar a prótese da base e puxar para traz, para encaixar a órtese no macho da base, seguidamente roda-se o antebraço e puxa-se para cima para retirar o braço da órtese, ficando esta fixa na base.

A Figura 83 representa o pormenor do encaixe macho da base de repouso, que é em forma de “v” pois permite uma mais fácil colocação mesmo. Ainda que não esteja bem direcionado à priori por parte do utilizador, basta este deslizar pela base até sentir o “click” por parte do macho no encaixe da órtese.



Figura 83 - Pormenor do encaixe na base de repouso.

Na Figura 84, é representado o encaixe macho da base de repouso. Esta base poderá estar junto da paleta ou numa composição à parte, esta decisão será tomada para o utilizador para facilitar o acesso à mesma.



Figura 84 - Pormenor do macho da base de repouso.

5.6 Órtese Ergohelp, processo de obtenção em prototipagem rápida

Para o caso de estudo, a órtese Ergohelp usou-se a tecnologia de Impressão por Jacto de Tinta (MJT, Multi Jet Modeling; BPM, Ballistic Particle Manufacturing): esta tecnologia assenta sobre o princípio das impressoras convencionais. Os protótipos são construídos sobre uma plataforma situada num recipiente preenchido com material em pó.

Como numa impressora comum, esta também está dotada de uma cabeça de impressão por jacto que seletivamente “imprime” um agente ligante que e aglomera o pó nas áreas desejadas, repetindo este processo e descendo a plataforma o objeto ganha a forma trimendicional, os pós que não são utilizados ajudam ao suporte da geometria que está a ser impressa. Podem ser usados pós de materiais poliméricos, cerâmicos e metálicos.

5.6.1 Transformação de dados:

O processo de prototipagem rápida inicia-se com a conceção de um modelo geométrico em CAD 3D. No caso do objeto de estudo, a geometria da órtese teve que ser alterada pois o processo MJT Multi Jet Modeling; BPM, Ballistic Particle Manufacturing não permite a prototipagem de peças com pequenos formatos sem qualquer estrutura interior, desta forma procedeu-se ao reforço de toda a geometria solidificando o seu interior.

Após a sua modelação, este ficheiro é convertido para o formato STL (Stereo-Lithography). Este formato define o modelo através de uma malha de triângulos, a forma matemática mais simples para a descrição de uma superfície. Na Figura 85 visualiza-se a malha triangular no formato STL.



Figura 85 - Visualização da malha triangular no ficheiro STL

Como referencia (Gorni, Março 2001) Todos os processos de prototipagem rápida obedecem a cinco etapas:

- 1- Criação de um modelo CAD da peça projetada
- 2- Conversão do arquivo CAD em formato STL.
- 3- “Fatiamento” do arquivo STL, conversão em SLI
- 4- Construção física do modelo (processo aditivo)
- 5- Limpeza e acabamento do protótipo. Em alguns processos como MJT Multi Jet Modeling é necessário um acabamento em cianoacrilato para incutir uma maior resistência á peça.

Quanto menor for a espessura de camada, maior será a precisão obtida, contudo, quanto menor a espessura da camada, maior será o tempo de construção.

Na Figura 86 representa-se as etapas comuns na maioria dos processos de prototipagem rápida.

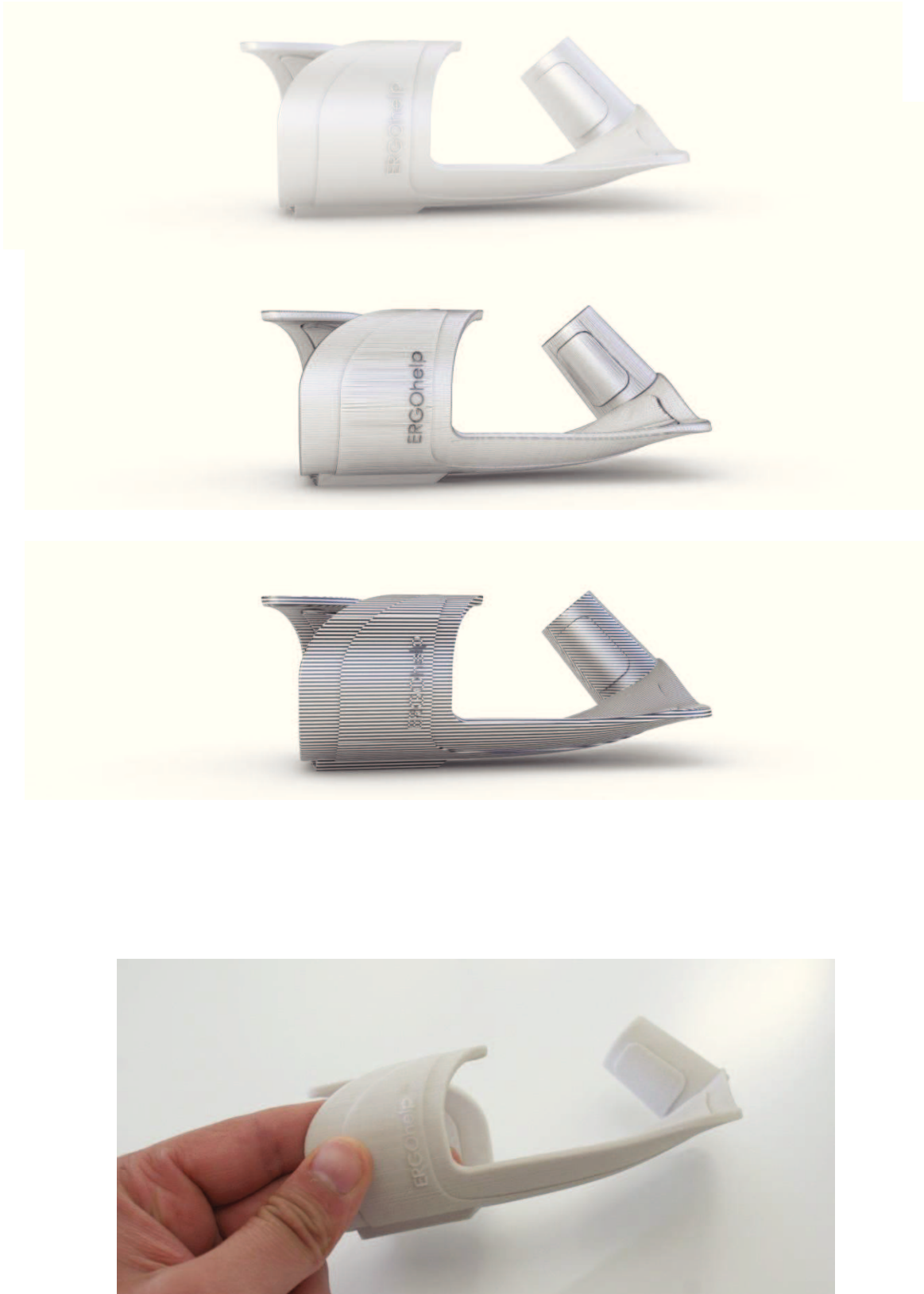


Figura 86 - Etapas comuns nos processos de PR, Modelo CAD, STL, SLI, Protótipo físico.

O Modelo físico obtido por este processo de prototipagem, vai ser posteriormente usado como negativo para se poder obter a forma no interior do molde em silicone como se poderá verificar no ponto da fabricação da ferramenta rápida. A Figura 87 representa as várias vistas do modelo em PR (prototipagem rápida).

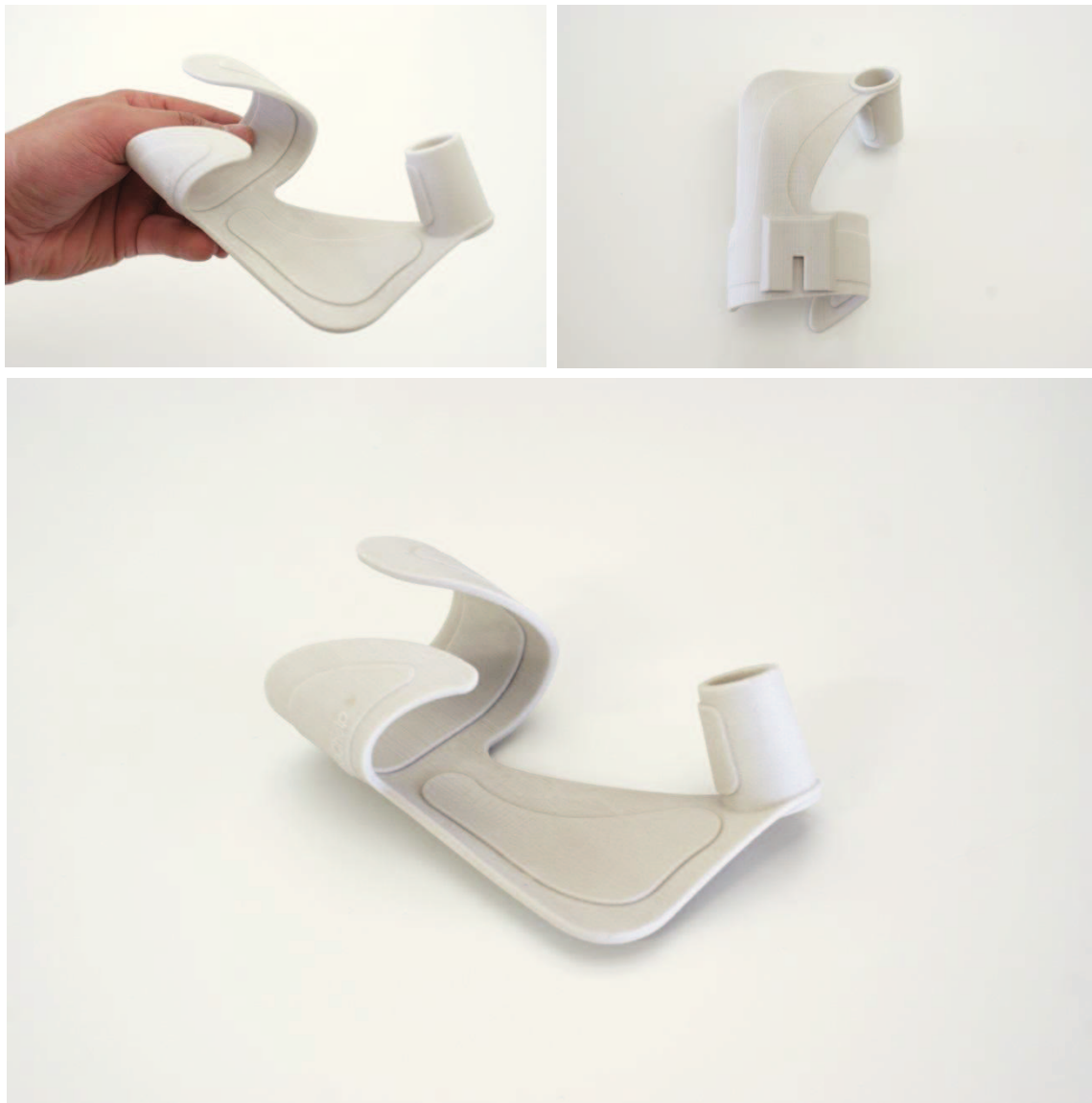


Figura 87 - Protótipo da órtese Ergohelp obtido com recurso a tecnologias aditivas.

5.7 Fabricação do Modelo protótipo

As Técnicas de prototipagem já abordadas neste trabalho são fonte essencial para uma maior percepção do objeto em questão. Contudo a prototipagem da peça no caso de estudo não teve só esse propósito. Para a fabricação do modelo, era necessário criar um molde (FR, ferramenta rápida) que permitisse múltiplos modelos, que fosse economicamente viável e de rápida execução, visto só se tratar de uma pré-série com o objetivo de testar opções de materiais finais. Como afirma (Bareta, et al., 15 a 19 de Novembro de 2006), o objetivo da produção de ferramentas rápidas, como no caso de estudo, o molde em silicone, é a redução nos custos e tempos de produção do molde, além da obtenção de peças-protótipos semelhantes às peças finais.

Como afirma (Armstrong Mould Corporation, 2010) a seleção do material mais adequado uma produção depende de vários fatores, nomeadamente, do numero de peças que queremos produzir, do tempo de produção do molde, das dimensões, da complexidade da forma e do grau de precisão da peça, do número de cavidades do molde, do tempo do ciclo e da qualidade de acabamento das peças.

Vários autores abordam o tema da fabricação rápida de ferramentas de perspectivas diferentes, considerando a fabricação rápida de ferramentas uma extensão óbvia da prototipagem rápida, sugerindo que a fabricação rápida de ferramentas de certa forma é uma aplicação da prototipagem rápida à indústria de moldes para injeção. (Chua, et al., 2004,)

A fabricação rápida de ferramentas é apresentada em duas vertentes, obtenção Indireta e direta. (Chua, et al., 2004,)

A forma indireta de obtenção de uma ferramenta rápida é através das técnicas de prototipagem rápida, como explicadas no ponto 11, onde a peça servirá de modelo para a de obtenção de moldes ou matrizes, por exemplo, de um molde de silicone ou “spray metal tooling (Chua, et al., 2004,) Os modelos, como afirma (Gorni, Março 2001), podem ser usados em vários processos de manufatura, tais como o vazamento em vácuo, que consiste em suspender um modelo positivo obtido a partir de técnicas de PR, num “tanque” onde é vertido o silicone liquido ou borracha vulcanizada, como referencia o autor, ou moldagem por injeção, onde se pode produzir o molde através de um compósito de metal e cerâmica; neste processo um equipamento de estereolitografia

produz o modelo positivo da peça a ser moldada, seguidamente este é revestido com níquel e é reforçado com um material cerâmico rígido. As duas metades do molde são separadas e obtém-se assim um molde que permite produzir dezenas de milhares de peças como afirma (Martinho, 2010)

O Processo Direto para a obtenção de ferramentas rápidas é segundo o mesmo autor “*o santo gral na prototipagem rápida de ferramentas*”, contudo ainda serão necessários alguns anos de desenvolvimento, mas já existem técnicas comerciais que apresentam resultados animadores, como o RAPID TOOL e o DIRECT AIM (Direct Aces Injection Moulding). De forma muito genérica, o processo de RAPID TOOL, consiste em sinterizar, seletivamente grânulos de aço revestidos de polímero, de forma a produzir um molde metálico, que é depois colocado num forno onde o polímero ligante é eliminado e posteriormente o molde é infiltrado com cobre, estima-se, segundo (Martinho, 2010) que é possível produzir até 50.000 peças injetadas com moldes obtidos por este processo.

O processo DIRECT AIM, consiste na produção de matrizes (macho) em Estereolitografia, que são depois usadas como moldes para a injeção tradicional de metal. Por norma obtêm-se moldes para serem usados na produção de peças em ABS, PP, PS, PEAD e PEBD, podendo segundo o autor produzir-se até 200 peças com boa precisão. Contudo o processo apresenta algumas limitações, como a quantidade de peças obtidas, assim como as resinas que são utilizadas no processo de Estereolitografia apresentam baixa condutibilidade térmica cerca de 0.18 W/mK , como refere (Guimarães, 2006).

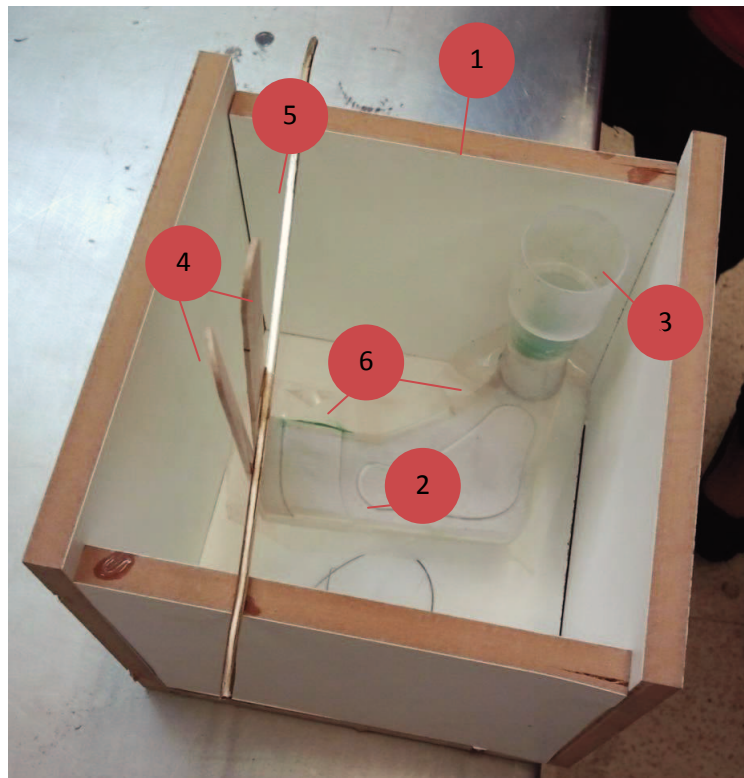
Para este projeto, para a obtenção da ferramenta rápida, optou-se por edificar o molde em silicone, vazamento em vácuo, processo que será caracterizado no ponto 5.8 da página 124.

5.8 Fabricação da ferramenta rápida (Molde protótipo)

Após a obtenção do modelo físico através de PR é necessário copiar as formas desse mesmo modelo para o interior do molde.

Com esse fito preparou-se um tanque 15 cm X 15 cm onde será colocado esse mesmo modelo e posteriormente vertido o silicone, obtendo assim após a cura, o molde protótipo em silicone *Vacum Casting*, com o formato pretendido, para a replicação de vários modelos do objeto em questão.

Na Figura 88 legendam-se os pontos fundamentais para o funcionamento do processo de obtenção da ferramenta rápida.



1)- Tanque 15X15 cm; 2)- Modelo (Ergohelp); 3)- Admissão da resina (funil); 4)- Palheta para saída do ar; 5)- Apoio; 6)- Linhas de junta

Figura 88 - Anatomia do molde para a obtenção da ferramenta rápida

Posteriormente à preparação do “Tanque” com o modelo no interior é necessário a preparação do silicone líquido, que será vertido para o “tanque” onde depois se obterá o molde com o negativo do modelo em questão.

Para a obtenção de um molde sem “bolhas de ar” no seu interior o que causaria porosidade e por consequência má superfície de acabamento, o silicone antes de ser vazado para o “tanque” sofre um processo extração de ar através de vácuo, onde é retirado todo o ar da mistura de silicone (Figura 89)



Figura 89 – Equipamento de preparação (mistura em vácuo).

Após todo o ar estar extraído, o silicone pode ser vazado para o interior do “tanque” onde será outra posteriormente submetido a mais um processo de extração de ar através de vácuo como ilustra a Figura 90e Figura 91

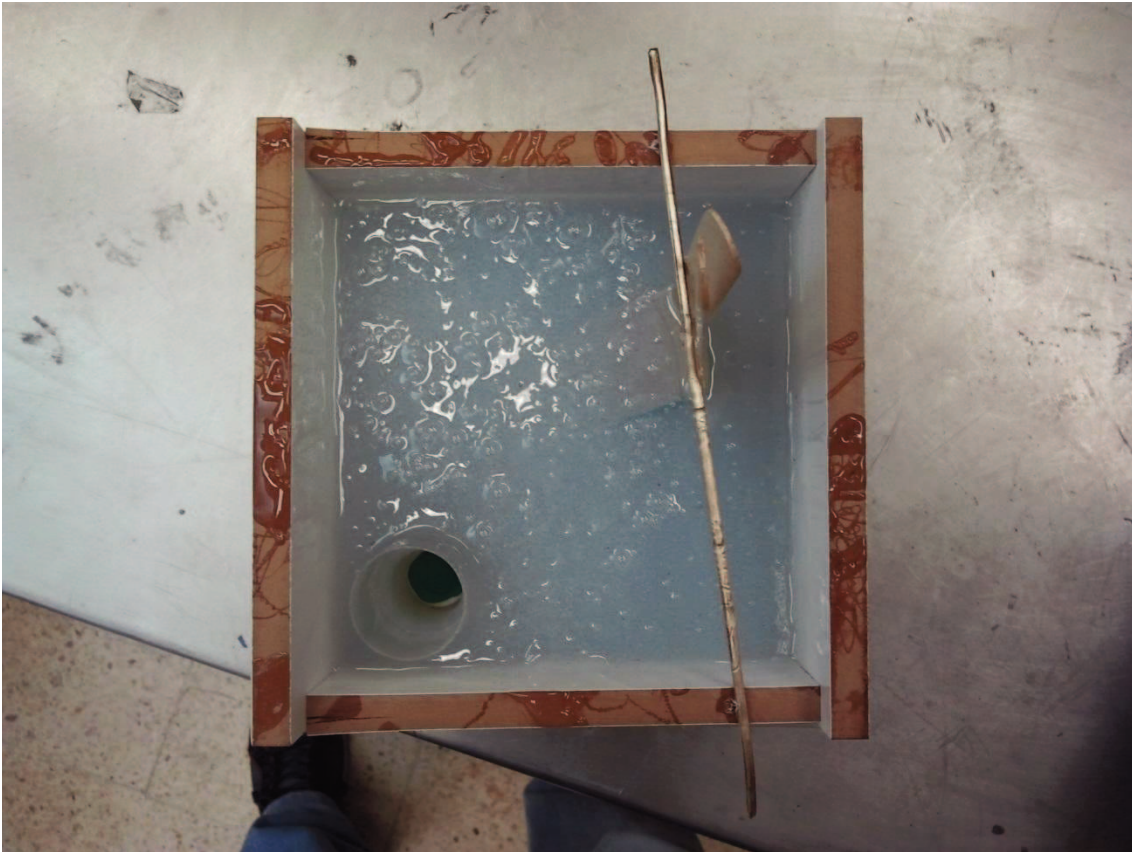


Figura 90 - Tanque após enchimento com silicone líquida



Figura 91 - Sistema de vácuo (MCP)

Após a cura do molde, é necessário retirar o modelo do seu interior, processo que é feito através do corte do mesmo pelas linhas de junta anteriormente identificadas para uma mais fácil indentificação e corte. A Figura 92 e Figura 93, representam o molde depois da cura e o seu interior com o negativo da forma pretendida.

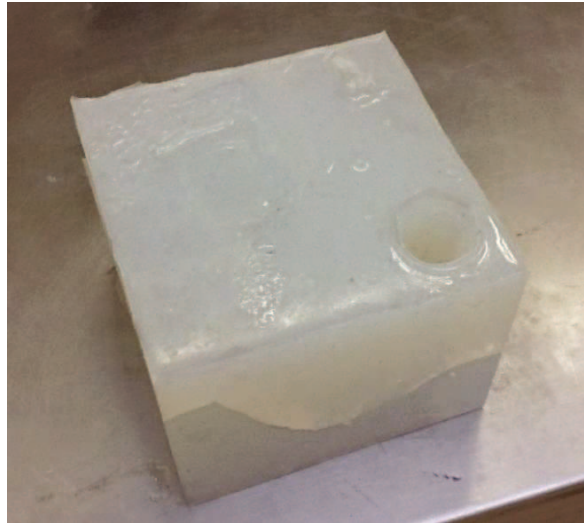


Figura 92 - Molde de silicone



Figura 93 - Interior após remoção do modelo em PR

O modelo que se pretende replicar teve que ser dividido em 2 fases devido à sua forma, que criava zonas negativas no molde não sendo possível retirar posteriormente o modelo.

A primeira parte constitui-se com o corpo A, representado no processo acima descrito e a segunda parte com o corpo B. Representado na . Figura 94, estes corpos são as “palhetas” que ajustam o aperto ao antebraço, fixando assim a órtese ao utilizador.



. **Figura 94** - Modelo obtido em PR para fabricação de FR, parte A e B

Para a fabricação do segundo molde utilizou-se o mesmo processo descrito anteriormente, contudo foi necessário criar a parte interior do corpo B, tornando esta peça, amovível, para ser possível retirar a peça final após a cura, e seguidamente criar a 2ª parte do molde A Figura 95 representa o molde, onde já está inserido o 1º corpo da peça, o interior amovível das palhetas está indicado na Figura 96



Figura 95 - 2º Molde após cura.

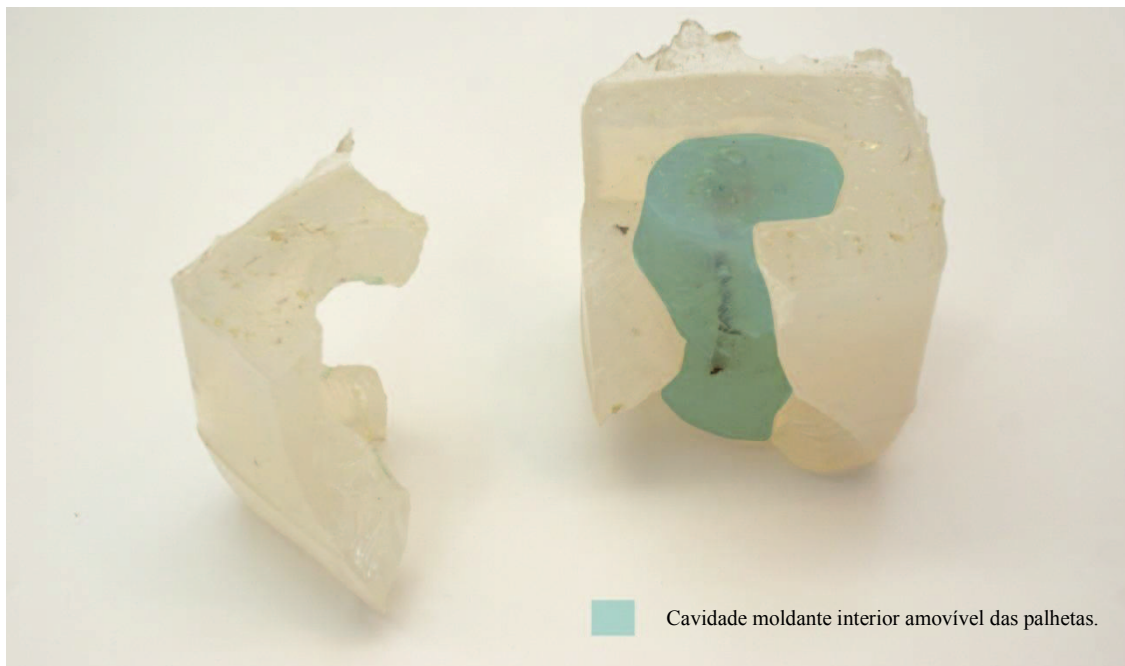


Figura 96 - 2º molde, interior amovível das palhetas.

Na Figura 97 clarifica-se a construção do segundo molde com o interior amovível.

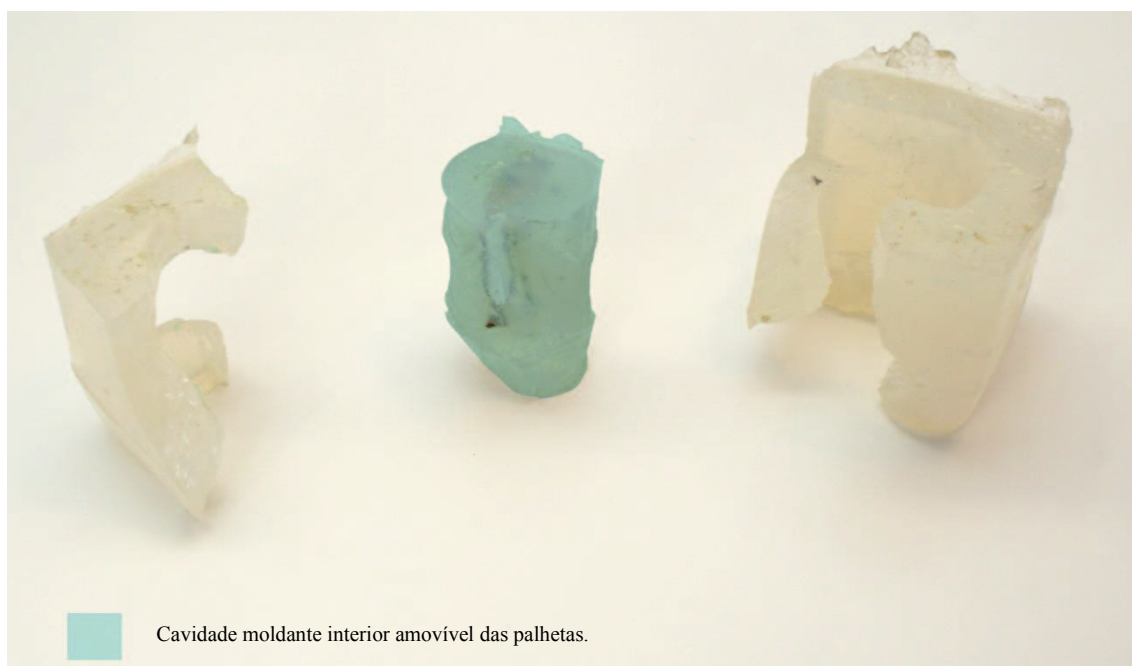


Figura 97 - 2º molde, interior amovível das palhetas (aberto).

(Chua, et al., 2004,) Esquematiza o processo acima descrito na Figura 98 da seguinte forma:

– Produção do molde em silicone

- (a) – Remoção do PR (modelo)
- (b) – Mistura da resina e o catalisador
- (c) – Verter a mistura polimérica
- (d) – Remover o canal de admissão da resina após cura
- (e) – Aspeto final da peça.

O exemplo referido assenta na produção de um modelo em resina polimérica sendo o caso de estudo a produção de um laminado em fibra, cujo molde é representado na Figura 99. Este processo será mais detalhado na descrição da produção do modelo do caso de estudo no *ponto 5.9 do capítulo 5*.

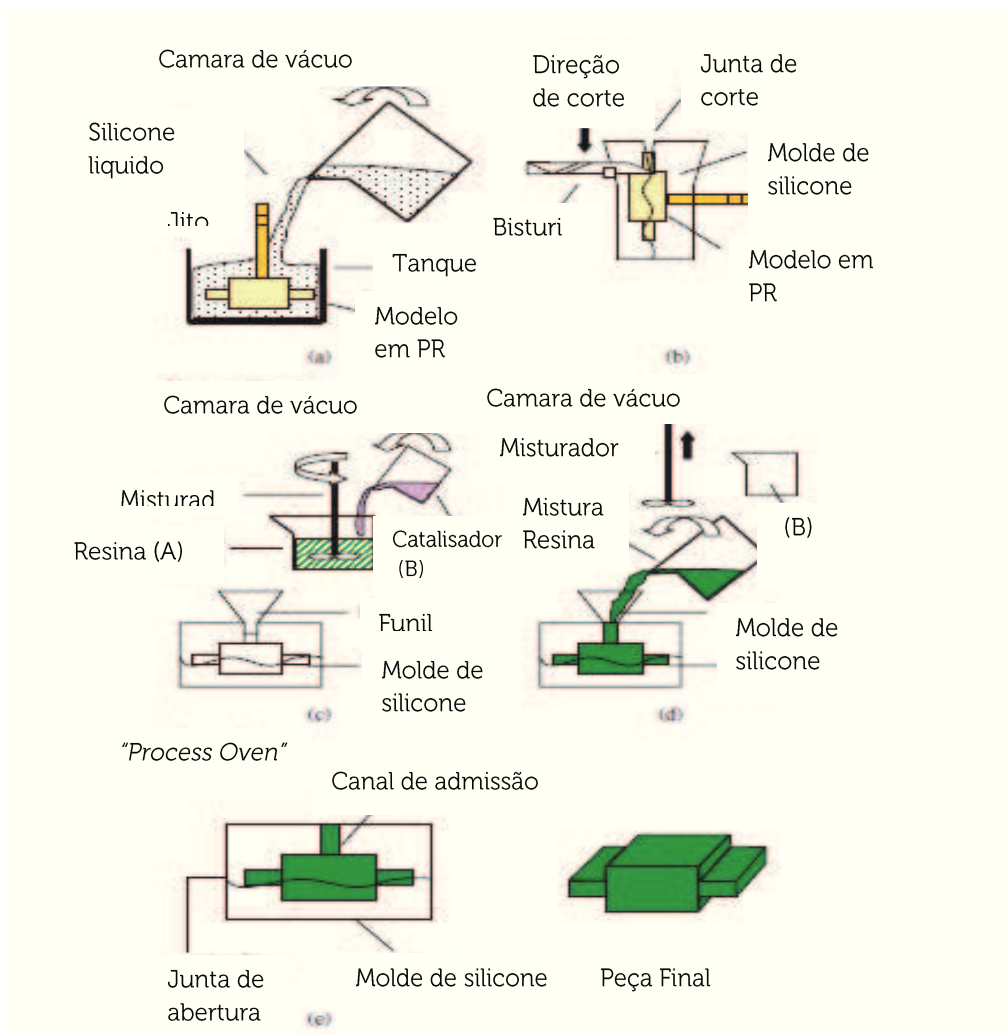


Figura 98 - obtenção da Ferramenta rápida por o molde protótipo em silicone Vacuum Casting

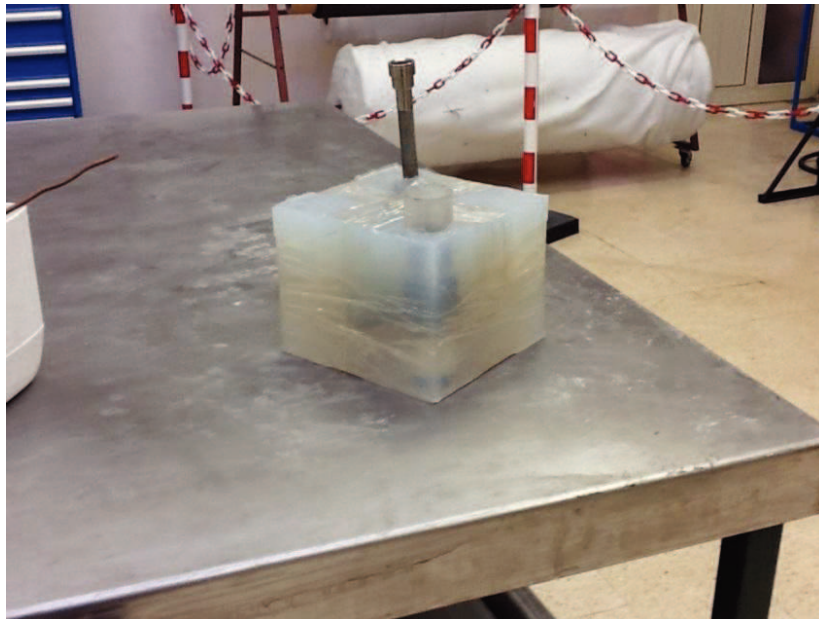


Figura 99 - Molde protótipo em silicone (Vacum Casting)

5.9 Fabricação do modelo em CFRP (fibra de carbono/epóxico)

Após a Fabricação das ferramentas rápidas referidas no ponto anterior, estão reunidas as condições necessárias para replicar a órtese Ergohelp.

No caso de estudo o processo usado para a obtenção do compósito foi a moldação por vácuo (moldação por contacto) pois tem como vantagem exigir um investimento menor em moldes e equipamentos. (Moura, et al., 2008)

O processo usado no modelo da Ergohelp consiste na colocação da resina e reforço no interior do molde e posteriormente a remoção da peça após cura.

Seguidamente será abordada passo a passo a execução do modelo através da técnica produtiva de moldação por contacto.

Primeiramente no processo, o molde, obtido por fabricação rápida, é preparado com um gel desmoldante PVA, um preparado líquido à base de álcool polivinílico que, quando aplicado, produz uma película fina, flexível e antiaderente, dando à peça moldada um acabamento liso e brilhante e, facilitando a remoção da mesma após cura. Na Figura 100 é possível verificar a aplicação do gel desmoldante no molde e contramolde.



Figura 100 - Aplicação de desmoldante nas superfícies moldantes do molde em silicone utilizado no fabrico da órtese.

Após o gel desmoldante estar seco é possível aplicar a resina para posteriormente ser aplicada a primeira camada de fibra de carbono em forma de tecido 2D simples (*plain weave*) com as fibras orientadas a 0-90°. Na Figura 101 representa-se o tecido 2D antes do corte com o formato desejado e sua colocação no interior do molde.

O compósito terá duas camadas de fibra, pelo que se colocou 1 no molde e outra no contramolde, ambas com a mesma orientação filamentar.

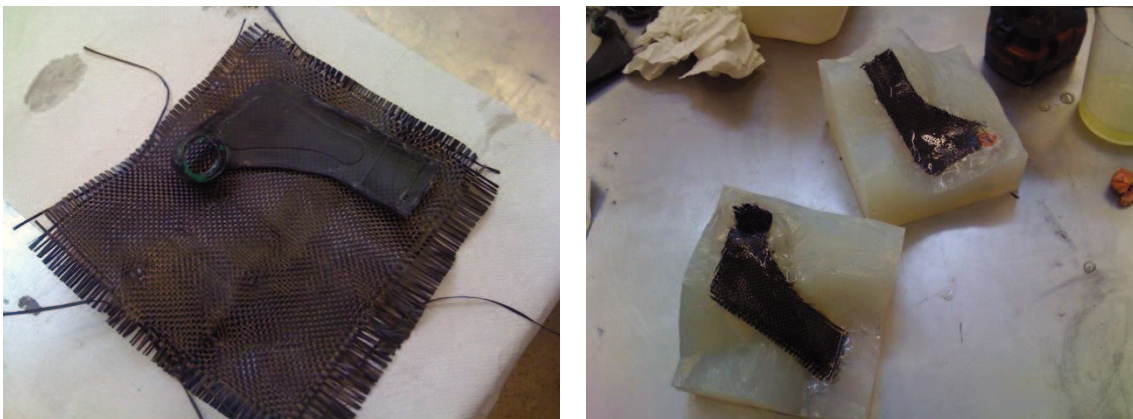


Figura 101 – a) tecido 2D de carbono; b) representação esquemática do processamento utilizado no fabrico da órtese.

No processo de moldação por vácuo após a colocação das fibras e de uma primeira camada de resina, é necessário fechar o molde e depositar a restante resina para posteriormente ser submetido a um sistemas de vácuo que irá retirar todo o ar no interior da resina. Por este sistema de vácuo a peça obtida tem duas superfícies lisas, pois reduz, como afirma, (Moura, et al., 2008), as bolhas de ar e permite a utilização de até 70 % de fibras.

O material em questão usado no processo trata-se de um laminado de fibras de carbono, em que a matriz é resina epóxida. Trata-se de uma matriz termoendúrecível, constituída por uma estrutura molecular polimérica bastante rígida. O reforço, é em fibras de carbono em forma de tecido 2D simples, como representado na Figura 101.

A Figura 102 representa o molde fechado. Nessa mesma imagem é possível identificar o respirador e o jito/funil onde será depositada a resina antes de este ser submetido a um sistema de vácuo e posterior cura em ambiente controlado.

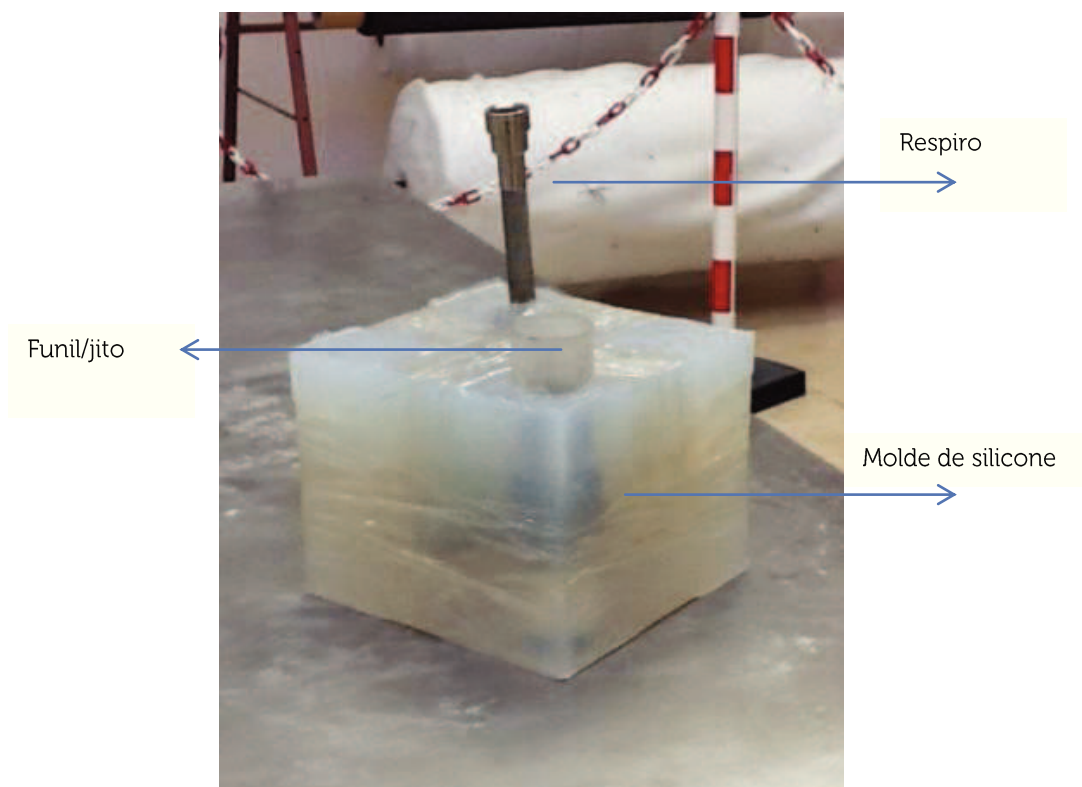


Figura 102 - Molde em silicone utilizado no fabrico da órtese

Com o molde fechado é depositada a restante resina, afim de preencher toda a peça, Figura 103 ilustra a peça após o vazamento da resina, ainda na cavidade do molde e após ter saído dele.



Figura 103 - Modelo da órtese *Ergohelp* fabricado com fibra de carbono.

Como é representado na Figura 103 a órtese *Ergohelp* não está completa formalmente faltando as abas de lado que dão o ajuste. Para finalizar a peça foi necessário a criação de um segundo molde a fim de ser possível eliminar os ângulos de saída negativos característicos da geometria destas abas.

Nesta segunda fase da fabricação do modelo é necessária a colocação da peça anteriormente obtida no interior do segundo molde (a), são colocadas as camadas de fibra e resina no interior da cavidade moldante onde está, em negativo a forma das abas.

Após a colocação das fibras e de uma primeira camada de resina o processo é repetido, fecha-se o molde e vaza-se a resina para o interior do mesmo (b), É, de salientar que somente nesta segunda fase é que o corpo principal da órtese é inserido no molde unindo assim as duas partes numa única peça após a cura do material. (c), A peça que sai do molde necessita de passar por um processo de acabamento, onde são aparadas as rebarbas devido à junta do molde. (d). O encadeamento da Figura 104 enumera o processo descrito:

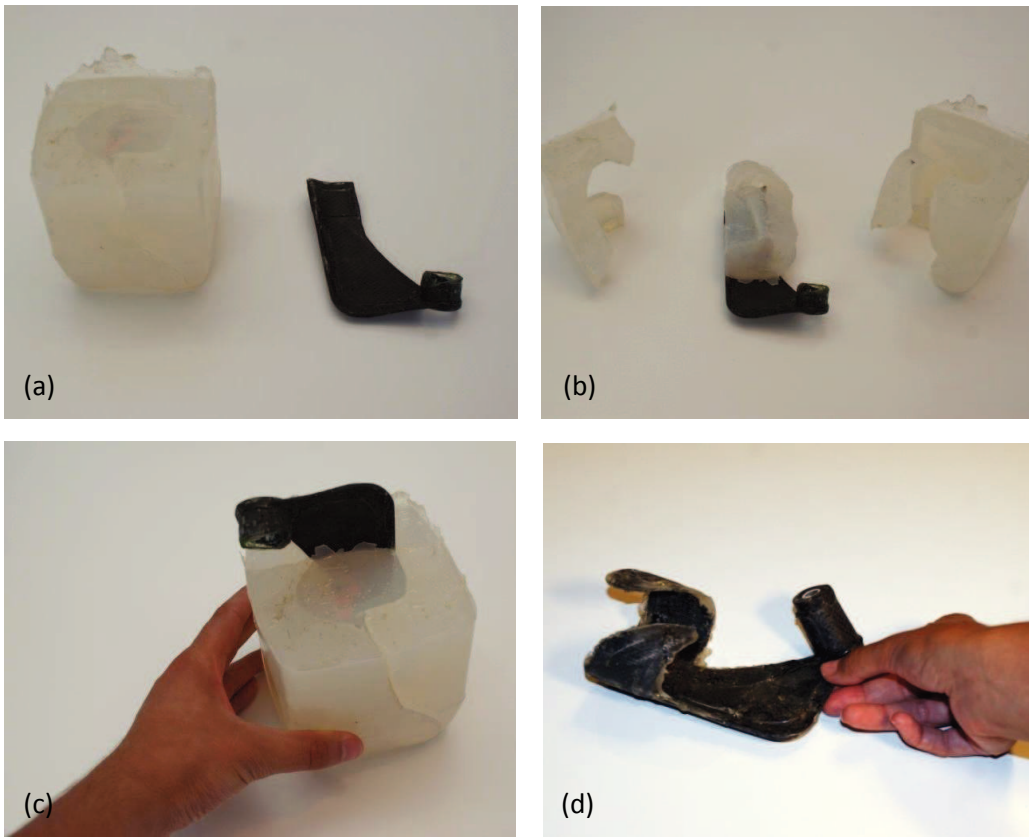


Figura 104 - Processo de fabrico das abas de fixação da órtese

Capítulo 6- Conclusão e desenvolvimentos futuros

Foi desenvolvido um conceito de uma órtese (Ergohelp) e produzido um protótipo com base em tecnologias aditivas. A órtese tem como objetivo ajudar pessoas com limitações em termos motores, em desempenhar uma função como escrever ou desenhar.

Foram processados e caracterizados em termos mecânicos e físicos, diferentes materiais compósitos, com fibras de vidro e de carbono, com o objetivo de os utilizar esses mesmos materiais no fabrico da órtese.

Os materiais utilizados neste estudo foram processados com diferentes camadas de fibras de tecido de carbono e de vidro (diferentes frações volúmicas). Com o aumento da fração volúmica os valores das propriedades mecânicas (resistência mecânica e de módulo) aumentam como era expectável.

Com o aumento da temperatura (ensaios de DMA) aos valores de módulo diminuem, apresentando uma diminuição significativa para temperaturas próximas de temperatura de transição vítrea.

Foram também obtidas as temperaturas de transição vítrea para os diferentes materiais, com base nas curvas de *Tan delta*. Os valores obtidos apresentaram pequenas diferenças como era expectável.

Os modelos utilizados na previsão dos valores do módulo de elasticidade apresentaram valores concordantes com os valores experimentais.

6.2 Desenvolvimentos Futuros

No que se refere a desenvolvimentos futuros, seria interessante realizar os seguintes trabalhos:

- Desenvolver o conceito de forma integral da órtese;
- Fabricar materiais sanduiches com base nos laminados processados neste trabalho;
- Processar materiais flexíveis para as abas do órtese;

- Incluir neste conceito de órtese tecnologias que permitam o controlo em termos de pressão de contacto;
- Desenvolver um sistema que permita a colocação da órtese de forma mais automatizada.

Capítulo 7 - Bibliografia

Almeida , P. M. M. C. & Magalhães, . V., 2004. *Dissertação de Mestrado*. Porto: (UFP) Porto, Universidade Fernando pessoa.

Moreira, A. M., 2009. *Materiais compósitos*. Tomar: escola superior de tecnologia de toma, instituto politécnico de tomar.

Pouzada, . A. S. & Bernardo, C. A., 1983. *Introdução à Engenharia de polímeros, Área de Engenharia de Polímeros*. Minho: Universidade do Minho.

Ramos, C. A. . X., 2006. *Materiais Compósitos Inteligentes, tese de douturamento em Ciências da Engenharia*. Porto : s.n.

Reinhart, T. & Clements, L., 1987. *Engineered materials handbook. v.1, Composites. P.27-34..* Ohio: ASM Internacional.

Simões, J. F. & Bispo, R., Maio de 2006, 2ª Edição. *DESIGN INCLUSIVO - Acessibilidade e Usabilidade em Produtos, Serviços e Ambientes*. s.l.:Centro Português de Design.

2.bp, s.d. *2.bp.blogspot*. [Online]

Available at: Referencia: http://2.bp.blogspot.com/_Aiw-CYNFeHE/TLWbS9HhTNI/AAAAAAAAAGY/UD6KVqyU95k/s1600/roving.jpg
[Acedido em 2012].

Alexander, C., 1964. *Notes on the Synthesis of Form..* Harvard University Press ed. Cambridge, Mass: Harvard University Press.

Allen, H. G., 1969. *Analysis and design of structural sandwich panels, 283 p..* Oxford: Pergamon Press.

Anon., s.d. [Online]

Available at: <http://www.mclarenautomotive.com/uk/insider/Lists/Photos/Mp4-1%20tub%20420%20boarder.jpg>
[Acedido em Agosto 2012].

Anon., s.d. [Online]

Available at: <http://www.af.mil/shared/media/photodb/photos/030404-F-4728F-008.jpg>
[Acedido em Agosto 2012].

Anon., s.d. [Online]

Available at: http://4.bp.blogspot.com/_Ta9MuqdZec0/Sc236_Ptjbl/AAAAAABcE/AW4A9P-EoY8/s400/fssc_1074.jpg
[Acedido em Agosto 2012].

Anon., s.d. [Online]

Available at: http://farm4.static.flickr.com/3259/3426229086_22992dfb92.jpg

[Acedido em Agosto 2012].

Anon., s.d. [Online]

Available at: http://www.cce.ufes.br/jair/web/fes/grafite_arquivos/image003.gif

[Acedido em junho 2012].

Anon., s.d. [Online]

Available at: <http://www.globaltextiles.com/html/images/upload/tradeleads/378/377285.jpg>

[Acedido em fevereiro 2012].

Anon., s.d. *azom*. [Online]

Available at: http://www.azom.com/work/xn691NUFcOxakOqFI0ta_files/image003.gif

[Acedido em Fevereiro 2012].

Anon., s.d. *lasersintering*. [Online]

Available at: http://www.lasersintering.com/images/services/sla_machine.gif

[Acedido em Fevereiro 2012].

Armstrong Mould Corporation, 2010. Reaction Injection Moulding for Premium Polyurethane Parts. *Prototyping Technology Int.*, Issue Prototyping Technology .

Assmann, V., 2009. *Obtenção de compostos termomoldados a partir da torta de mamona plastificada com glicerol, derivado do processo de transesterificação de óleos e gorduras. Tese de Mestrado em Química.*. Curitiba.: Universidade Federal do Paraná.

Balc, N. & Campbell, R. I., 2004. *From CAD and RP to Innovative Manufacturing*. s.l.:Computing and Solutions in Manufacturing Engineering – CoSME .

Barbosa, v. C. & Breitschagl, A. M. S., 2006. Um aparato experimental para o estudo do principio de arquimedes. Volume v.28, nº1, p. 115-122.

Bareta, D., Costa, C., Baumvol, I. & Pouzada, A., 15 a 19 de Novembro de 2006. *Aplicação de materiais alternativos em moldes híbridos de injeção*. Foz do Iguaçu, s.n.

Berthelot, J.-M., 1998. *Mechanical Behavior and structural Analysis*. New York: Springer.

Bledzki, A. & G. J., 1999. *Composites reinforced with cellulose based fibres.* s.l.:Progress in Polymer Science, p.221-74.

Bonsiepe, G., 1992. *Teoria e Prática do Design Industrial*. s.l.:Centro Português de design.

Braccialli, L. M. P. et al., 2011. Processo de prescrição e confecção de órteses para pacientes neurológicos em um serviço de terapia ocupacional. *Educação e Pesquisa: a produção do conhecimento e a formação de pesquisadores*, Volume III ENCONTRO CIENTÍFICO E SIMPÓSIO DE EDUCAÇÃO .

BREGER-LEE, D. & WILLIAM, L., 1991. *Update in Splinting Materials and Methods In: MACKIN, E. J. & CALLAMAN, A.D. – AND CLINICS - Frontiers in Hand Rehabilitation*. Pg. 569-585. London, Tokyo: W.B. Saunders Company. .

- BROUTMAN, A. &., 1990. *American socyety for testing and materias, Standard test method for Poisson's ratio at room temperature*. EUA: ASTM .
- Bürdek, B., 1994. *Diseño. Historia, Teoría y Práctica del Diseño Industrial*. Barcelona. s.l.: ed. Gustavo Gili..
- CALLISTER, W. D., 2008. *Jr. Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução..* Rio de Janeiro: LTC.
- Capelo, V. T. C., 2000. *Indicação e confecção de órteses: Papel do terapeuta ocupacional no tratamento da mão*. s.l.:Lins.
- CARVALHO, J. A., 2005. *Órteses: Um recurso terapêutico complementar*. SP: Manole: Barueri.
- Cassu , S. N. & Felisberti, M. I., 2005. *Comportamento dinâmico-mecânico e relaxações em polímeros e bledas poliméricas*. s.l.:Quim Nova, Vol. 28, No. 2, 255-263, 2005.
- Center for Universal Design, 1997, . *What is universal design?*. North Carolina State University: Center for Universal Design.
- Chua, C. K., Leong, K. F. & Chu Sing Lim, 2004,. *Rapid Prototyping: Principles and Applications*. s.l.:World Scientific Publishing co. PTE.LDA..
- Daniel, . G. & V. Hoa, S., 2007. *Composite Materials: Design and Applications*. s.l.:CRC Pr I Llc.
- Design:, T. C. f., 1997. *The Principles of Universal Design, Version 2.0*. Raleigh, compilados por Bettye Rose Connell, Mike Jones, Ron Mace, Jim Mueller, Abir Mullick, Elaine Ostroff, Jon Sanford, Ed Stein. s.l.:NC: North Carolina State University.
- Donald, M., 1998. *Terapia Ocupacional em reabilitação* . São Paulo: Santos Livraria Editora.
- Donnet, J. & BAnsal, R., 1990 . *Carbon Fubers*. s.l.:Marcel Dekker, INC.
- Ferreira, N., 2011. *Estudo de materiais compósitos com fibras processados por injeção. Tese de Mestrado em Engenharia da Concepção e Desenvolvimento do Produto..* Leiria: Instituto Politécnico de Leiria.
- GARCIA, A., SANTOS, C. A. & SPIM, J. A., 2000. *Ensaio dos Materiais*. Rio de Janeiro: Livros técnicos e Científicos S.A..
- Gomes, A. S. & Clavico, E., 2005. *Propeiedades Fisico-Químicas*. s.l.:universidade federal fluminense.
- Gomes, C. E., 2007. *Desenvolvimento de um painel sandwich para a indústria aeronáutica, Tese de mestrado*. s.l.:s.n.
- Gorni, A. A., Março 2001. revista Plástico Industrial. Volume Março, pág. 230-239,.
- Griffith, A. A., 1920. *The phenomenon of rupture and flow in solids*. s.l.: royal society.
- Grimm , T. & Wohlers, T., 2002. *Time-Compression Technologies*. [Online] Available at: <http://tagrimm.com/publications/perspectives-mar2002.html> [Acedido em 31 Outubro 2012].

- Guimarães, D. J. B. A., 2006. *Cavidades Moldantes Produzidas por Estereolitografia, Tese de Mestrado Projeto e fabrico de Moldes*. s.l.:s.n.
- Hele, k. D., 1994. *The fisical proprieties of composite material*. *J. Mater. Sci* 11: 2105-41 - adaptado do livro *Composite materials*,. s.l.:pergamon.
- HYER, M., 1998. *Stress Analysis of Fiber-Reinforced Composite Materials*. s.l.:WCB/MGraw-Hill.
- J. P. Nunes, C. A. Bernardo & A. T Marques , 2003. *Materiais dois mil M. Amaral e Ferreira 2003*. s.l.:isto press.
- J. F. A. D. R. H., 2005. *Engineering Material: An introdution to properties application and design* 3. Oxford: Oxford Bulterwoeth-heinemann.
- Júnior, C., 2003.). *Avaliação das propriedades mecânicas de poliuretano tendo como agente de reforço uma nova fibra inôrganica natural. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica*.. Belo Horizonte: Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- kroschwitz, J., 1985. *Enciclopédia de los polímeros e ingeriria* ,. Nova York: John Willey & Sons.
- Lino, F. J. & Neto, R. J., 2001. *A prototipagem rápida na industria nacional, Diluição de Fronteiras entre o Design e a Indústria através da Prototipagem Rápida – Um Caso de Estudo*. s.l.:DEMEGI – Departamento de Engenharia Mecânica da FEUP.
- Lobach, b., 1976. *Diseno industrial. Bases para la configuración de los productos industriales*.. Barcelona: Gustavo Gili.
- Maldonado, T., 2012 . *Design Industrial*. s.l.:Edições 70 .
- Mário, L. & Raul Fanguero, 2008,. *8ª Brazilian Conference on Design Research and Development*. s.l., s.n.
- Martinho, P. M. G., 2010. *Tese de Doutorado Ciência e Engenharia de Polímeros, Mechanical design of hybrid moulds - Mechanical and thermal performance implications*. s.l.:Universidade do minho .
- Materials, M. C., 2012. *mcmc-uk*. [Online]
Available at: <http://www.mcmc-uk.com/prod-data-sheet/sr-1500-uk.pdf>.
[Acedido em 20 Setembro 2012].
- Mazumdar, s., 2002.. *composites manufacturing: Materials, product and process engineering*. s.l.:CRC press.
- Mecânica, C. d. I. M., 1990. *cimm*. [Online]
Available at: http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6596-ensaio-de-dobramento-para-materiais-frageis#.UIVsEm_A8to
[Acedido em setembro 2012].
- Melvin, J., 1995.. *Tratamento ortódico da mão, quais as novidades?*. s.l.:A folha médica.
- Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (BR), s.d. *Catálogo nacional de produtos de tecnologia assistiva*. [Online]

Available at: <http://assistiva.mct.gov.br>

[Acedido em Novembro 2012].

Monge, N., 2006. *Design de produtos inclusivos, satisfatórios: A abordagem holística ao design inclusivo*. s.l.:Caleidoscópio : Revista de Comunicação e Cultura nº 07.

Moura, M. F., de Moraes, A. B. & de Magalhães, A. G., 2008. *Materiais compósitos, Materiais fabrico e comportamento mecânico*. Porto: Publindustria.

M. & R., 1994. *Composite materials: engineering and science*. London: Chapman & Hall.

Mueller, D. H., 2004. *Improving the impact strength of natural fibers reinforced composites by specifically designed material and process parameters*. s.l.:INJ Winter.

Munari, B., 1981. *Das coisas nascem coisas*. s.l.:Edições 70.

nodyapi, 2010. [Online]

Available at: <http://www.nodyapi.com/icerik/imalat2.jpg>

[Acedido em agosto 2012].

owenscorning, s.d. [Online]

Available at: http://www.owenscorning.com.br/prensagem_vacu.doc

[Acedido em setembro 2012].

PADILHA, A., 1997. *MATERIAIS DE ENGENHARIA*,. São Paulo: hemus editora. Lda.

Pereira, J. C., 2003. *curso de projecto estrutural com materiais compostos*, s.l.: s.n.

R. Böhm, M. G. W. H., 2011. *A phenomenologically based damage model for 2D and 3D-textile composites with non-crimp reinforcement*. [Online]

Available at: <http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1359835X00000713-gr3.gif>

[Acedido em janeiro 2012].

Reddy, J. N., 2002. *Mechanics of Laminated Composite*. s.l.:Boca Raton, CRC Press.

RNPR, Projecto Mobilizador RNPR, Setembro 2000. Rede Nacional de prototipagem Rápida – Que Resultados?. *O Molde*, Ano 13 (prototipagem Rápida).

Rossi, J. e. a., 1987. *Estudo comparativo entre aparelhos gessados clássicos e de materiais sintéticos*. s.l.: Revista brasileira de ortopedia.

Sauron, F. N., 2003. *Órteses para membros superiores*, In: TEIXEIRA, E et al. *Terapia Ocupacional na Reabilitação Física*. São Paulo: Roca.

Silaex, s.d. *Silaex*. [Online]

Available at: <http://www.silaex.com.br/datasheet/polidesmopva.pdf>.

[Acedido em 10 outubro 2012].

Silveira, A., 1981. *O polipropileno na confecção de órteses e próteses*, V16. s.l.: Revista brasileira de ortopedia.

Simão.S.M, et al., Novembro, 2000. *Protoclick Prototipagem Rápida*. Porto: s.n.

Simões, J. F. & Bispo, . R., 2006. *DESIGN INCLUSIVO Acessibilidade e Usabilidade em Produtos, Serviços e Ambientes*. Lisboa: Centro Português de Design.

Smith, W. F., 1998. *Princípios da Ciência e Engenharia dos Materiais*. Amadora: Mc Graw-Hill de Portugal, Lda..

tate, s.d. [Online]

Available at: http://www2.tate.org.uk/garaicoa/images/garaicoa121_large.jpg

[Acedido em Fevereiro 2012].

tecnológica, I., 2011. [Online]

Available at: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=carro-fibra-carbono-fabricado-menos-minuto&id=010170110315>

[Acedido em março 2012].

teijin, 2011. [Online]

Available at: <http://www.teijin.co.jp/english/news/2011/ebd111209.html>

[Acedido em março 2012].

Thomas, N., 2010. *Compósitos de poliéster Reforçados com Tecidos de Fibras de Licuri Tratadas para a Construção Civil. Tese de Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana*. Salvador: Universidade Federal da Bahia, Salvador.

Toyofuko. M. H & Toyoda. C.Y, 2000. *Estudo dos materiais utilizados em sua confecção por terapeutas ocupacionais*. São Carlos: UFSCAR.

Upcraft, S. & Fletcher, R., 2003. The rapid prototyping technologies. Vol. 23(rapid prototyping).

Vanalle, R., 1987. *caracterização e elementos de projecto de órteses para membros inferiores..* Rio de Janeiro. : Universidade geral do Rio de Janeiro. .

VOLPATO, N. et al., 2007. *Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações..* São Paulo: Edgard Blücher.

WILTON, J. e. D., 1997. *Hand Splinting – Principles of Design and Fabrication, PP 1- 21,.* London: W.B. Saunders.

Wohlert, T., 1999. *Rapid Prototyping & Tooling State of the Industry: Worldwide Progress Report*. USA: Wohlert Associates, Inc.