



Project

Master in Product Design Engineering

***Desenvolvimento e fabrico de compósitos de matriz
polimérica com fibras naturais***

Júlio Miguel da Cruz Rodrigues Pereira

Leiria, *Setembro* de 2017



Project

Master in Product Design Engineering

***Desenvolvimento e fabrico de compósitos de matriz
polimérica com fibras naturais***

Júlio Miguel da Cruz Rodrigues Pereira

Projeto 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

Leiria, *Setembro* de 2017

Dedicatória

Este trabalho é dedicado às mulheres que moldaram a minha vida, à esposa que me acompanha, à mãe que me trouxe ao mundo e me deu as ferramentas para ser quem sou, às avós que muito me ensinaram e por fim mas não menos importante às mães do coração.

“Educação é aquilo que fica depois de esquecer o que a escola ensinou”

Albert Einstein

Agradecimentos

Este documento é o fechar de um ciclo de vida, foi a oportunidade de me pôr à prova, de ganhar novas competências e acima de tudo de crescer.

Começo por agradecer à minha mulher, pelas imensas horas sozinha, pelos sacrifícios, pela companhia e acima de tudo pelo apoio incondicional a todos os projetos a que me proponho.

Agradeço à minha mãe, por me ter ensinado que as histórias têm sempre dois lados, por me dar asas para voar, por me aceitar como sou, por me ter desde sempre dado a cana e ensinado a pescar em vez de me oferecer o peixe e por me ter sempre amado incondicionalmente.

Agradeço também às mães que cruzaram a minha vida, e que me acolheram sem ligar aos laços de sangue.

Agradeço aos amigos, aqueles que são família sem parentesco, que sempre me toleraram e incentivaram a procurar e a conseguir os meus objetivos.

Aos professores que me acompanharam nesta caminhada, desde a primária até aqui, partilhando a sua sabedoria e amizade de forma desinteressada e altruísta. Especial atenção ao Doutor Carlos Capela, que tem sido o meu mentor e amigo, sempre disponível para de forma sábia e serena me orientar neste trabalho.

Agradeço à Escola Superior de Tecnologia e Gestão, nas pessoas do seu corpo docente e não docente, pelos muitos e bons momentos de sincera simpatia; aos companheiros de jornada, muitos dos quais passaram a amigos.

Por fim a todos aqueles com quem me cruzei na vida e que contribuíram para que eu seja como sou, “Não invejar quem tem carros, parelhas e montes, só invejo! Quem bebe água em todas as fontes”¹

¹ Cancioneiro popular

Resumo

Os compósitos de matriz polimérica com fibras curtas têm propriedades que se têm vindo a relevar como extremamente interessantes para uma ampla variedade de aplicações. Presentemente são fabricados, com recurso a diversas técnicas de processamento, desde componentes específicos para aplicação aeroespacial até artefactos de grande difusão.

Estão na agenda mundial, os problemas com a poluição de materiais de origem plástica que fazem uso do petróleo como matéria-prima, a biodegradação destes é muito lenta e pouco eficiente perante a quantidade produzida, a procura de soluções mais “verdes”, é uma obrigatoriedade no Design Sustentável. Sem diferenciar o mundo por regiões mais ou menos importantes, temos de ter consciência que em determinadas zonas a pegada ecológica é demasiada funda e difícil de reverter.

Existem no mercado algumas soluções de resinas com teores de carbonatos mais amigas do ambiente, fazendo uso de uma parte significativa de carbonatos de origem vegetal que se coligadas com reforços de fibra vegetal, podem apresentar-se como produtos compósitos com interesse comercial. Muito embora os compósitos sejam notoriamente materiais denominados de “baratos”, muitas vezes acabam por ser desprezadas as soluções com este tipo de material por uma questão de comparação a produtos com as mesmas valências, mas de origem diferente.

Neste trabalho foram processados e caracterizados materiais compósitos de matriz epóxida, reforçados com fibras curtas de origem vegetal maciçamente difundidas e de fácil aquisição. A escolha da resina, recaiu sobre uma que apresenta um teor de 60% de carbonatos de origem vegetal e os restantes provenientes de minerais, sendo das resinas comerciais mais simpáticas para o ambiente. Foram desenvolvidas duas possíveis aplicações com estes materiais, nomeadamente um banco/cadeira e um abrigo modular. O processo criativo foi materializado em protótipo à escala, com recurso a uma impressora 3D, por impossibilidade do equipamento fazer uso de compósitos epóxidos os modelos apresentados são construídos em ABS.

Neste estudo são apresentados os resultados relativos à caracterização dos materiais compósitos processados, sendo apresentadas as características físicas e mecânicas dos mesmos, tais como módulo à flexão, tensão máxima, propriedades mecânicas versus tempo de exposição aos raios ultra violeta, absorção de água, densidade, isolamento térmico e

acústico. Os valores obtidos foram posteriormente usados de forma a validar a possível utilização na construção de um banco/cadeira, sendo os mesmos utilizados, nos valores de entrada do simulador.

Palavras-chave: Materiais compósitos, fibras naturais, resina epóxida, propriedades mecânicas, rafia, sisal, juta, abrigo, cadeira, banco

Abstract

The properties of polymeric matrix short fibers composites, have proved to be extremely interesting for very different applications. Currently manufactured using a variety of processing techniques, from specific parts for Aerospace use, to artifacts of great diffusion.

The pollution problems concerning plastic materials, using oil as raw material, are on the Global Agenda, their biodegradation is too slow and ineffective in face of the output quantity. The demand for "green" solutions, is a requirement to Sustainable Design. Without differentiating the world by more or less important regions, we should be aware that the ecological footprint in certain areas is too deep and difficult to reverse.

Some resin solutions, with more environmentally friendly levels of carbonates, are available on the market, using a substantial part of vegetable origin carbonates, which, if related to vegetable fiber reinforcements, can present themselves as composite products with commercial interest. Although, the composites are notoriously called "cheap", these kind of materials are often neglected solely based on the matter of price, when in fact the materials they are compared to, have the same performance characteristics and only a different origin.

In this work composites materials of epoxide matrix were processed and characterized with vegetable origin short fibers, massively widespread and easy to purchase. The resins selection, fell on one that features a 60% content of vegetable origin carbonates, and the remaining from mineral resources, being one of the nicest commercial resins concerning the to the environment. Two possible applications have been developed with these materials, namely a bench/Chair and a shelter model. The creative process was materialized on a scale prototype, using a 3D printer, and due to the equipment's inability to use epoxy composites, the models presented are ABS constructed.

In this study, the results for the characterization of processed composites materials are displayed, by presenting their physical and mechanical properties such as Flexural modulus, maximum tension, mechanical properties versus length of exposure to ultraviolet rays, water absorption, density, thermal and acoustic insulation. The values obtained were subsequently used in order to validate its potential use for the contrition of a seat/chair, and the same used in the simulator's input values.

Keywords: composite materials, natural fibers, epoxy, mechanical properties, raffia, sisal, jute, shelter, Chair, bench

Lista de figuras

Figura 1 - Instalação Científica Halley VI.....	5
Figura 2 - Lixo nos Himalaias	6
Figura 3 - Evolução dos materiais utilizados no fabrico de componentes.....	11
Figura 4 - Esquema de classificação dos materiais compósitos.	12
Figura 5 - Compósito reforçado com partículas	12
Figura 6 - Compósito reforçado com fibras descontínuas	13
Figura 7 - Composição de um laminado	14
Figura 8 - Compósitos sanduiche com o núcleo: espuma, madeira leve, ninho de abelha	15
Figura 9 - Formas possíveis de utilização das fibras no fabrico de materiais compósitos	16
Figura 10 - Tipos de fibras naturais;http.....	17
Figura 11 - Classificação das fibras de origem vegetal	18
Figura 12 - Diagrama esquemático da curva de tensão/deformação: a) Fibra e matriz, b) Fibra, matriz e material compósito	22
Figura 13 - Resistência dos materiais compósitos	23
Figura 14 - Spitfire Mk Ila, 41°Sqn, RAF, 1940	26
Figura 15 - Coco Mat Sup board é uma prancha produzida a partir de fibras naturais de coco.....	27
Figura 16 - Riser	28
Figura 17 - Pontes de betão utilizando arcos em Polímeros Reforçados com Fibras de Carbono	29
Figura 18 - Armaduras de aço cobertas por concreto davam origem aos navios	30
Figura 19 - Monocoque do McLaren MP4/1C, em fibra de carbono	31
Figura 20 - Boeing-Sikorsky RAH-66 Comanche.....	31
Figura 21 - aeronave Tucano produzida pela EMBRAER [53].....	32
Figura 22 - esquema de uma garganta de foguete produzida pela CIA, onde tem o pormenor do uso de compósitos contendo Carbono e fenólica [53]	32
Figura 23 - Cadeia Molecular da resina epóxida adaptado [58]	34
Figura 24 - Esquema da moldação manual adaptado [37].....	36
Figura 25 - Moldação por Spray Up, adaptado [40]	36

Figura 26 – (Esq.)Esquema de montagem de vácuo;(Dir.) Exemplo de saco de vácuo	37
Figura 27 - Esquema do processo de fabrico por compressão a quente.....	38
Figura 28 - (Esq.) Representação esquemática da obtenção de um laminado através do processo de moldação em autoclave; (Dir.)autoclave existente na oficina de prototipagem rápida.....	39
Figura 29 - Esquema simplificado da moldagem por transferência de resina	41
Figura 30 - Materiais para ferramentas de corte	43
Figura 31 - Esquema das propriedades dos materiais para ferramentas de corte, adaptado.....	44
Figura 32 - Ferramenta de Titânio nitreto revestido de aço	45
Figura 33 - Brocas: (a) Stub Length e (b) Brad & Spur, usadas na pesquisa.....	46
Figura 34 - (Esq.) Influência da velocidade de corte e avanço sobre a força de avanço; (Dir.) Influência da velocidade de corte e avanço sobre a pressão de corte	46
Figura 35 - Esquema que mostra a direção do fluxo de calor.....	48
Figura 36 - Condutividades térmicas de alguns sólidos típicos	49
Figura 37 - Transferência de calor por convecção de uma placa	49
Figura 38 - Sons sensíveis ao ouvido humano	51
Figura 39 - Nível sonoro em dB de sons comuns	52
Figura 40 - (Esq.) cultura da planta da juta no brasil; (Dir.) Saco de sarapilheira.....	54
Figura 41 – (Esq.) Plata do sisal; (Dir.) Esboço da planta de sisal e da secção transversal de uma folha	55
Figura 42 - Raphia farinifera	56
Figura 43 - (Dir.) Molde de compressão utilizado no processamento das diferentes placas em compósito; (Esq.) Prensa utilizada no processamento das placas em material compósito	57
Figura 44 - Placas processadas em compósito	57
Figura 45 - Geometria e dimensões dos provetes em compósito para os ensaios de flexão em 3 pontos.....	57
Figura 46 - Balança hidrostática utilizada para determinação das densidades e a tabela de conversão dos valores padrão.....	58
Figura 47 - Balança com os acessórios específicos para facilitar a determinação das densidades.....	59
Figura 48 - Representação esquemática do ensaio de flexão a três pontos.....	60

Figura 49 - (Esq.) Máquina eletromecânica Zwick/z100, configurada para ensaios em flexão em 3 pontos; (Dir.) Interface de configuração com software de ensaio.....	61
Figura 50 – (Dir.) Provetes prontos ensaios; (Esq.) Sistema mecânico de flexão em 3P (Zwick/Z100).....	61
Figura 51 - Equipamento utilizado nos ensaios de DMA: (Dir.) máquina Triton Tritec 2000; (Esq.) Ensaio em flexão em 3 pontos.....	62
Figura 52 - Balança hidrostática junto com os frascos devidamente identificados com os diversos materiais e densidades	63
Figura 53 - Estufa desenvolvida para a realização dos ensaios de radiação UV.....	64
Figura 54 - (Esq.) Câmara de ensaio para os ensaios de condutibilidade térmica; (Dir.) Representação dos procedimentos experimentais considerados nos ensaios de condutibilidade térmica.....	64
Figura 55 – (Esq.) Equipamento considerado na avaliação da intensidade sonora Caixa isolada; (Dir.) Sonómetro digital	65
Figura 56 – (Esq.) Broca metal-Duro DIN338N utilizada na maquinação das placas em material compósito; (Dir.) Esquema da Broca Izar [92]	66
Figura 57 - (Esq.) Representação esquemática da imagem da área do furo, da área	67
Figura 58 - Áreas de delaminação medidas com recurso ao programa solidwords (Rafia 10%, entrada)	67
Figura 59 - Valores de densidades obtidas experimentalmente e através da lei das misturas.....	69
Figura 60 - Variação da taxa de absorção de água versus tempo para os compósitos processados com fibras de juta.....	70
Figura 61 - representação gráfica dos valores de absorção do compósito com Sisal em relação ao tempo.....	72
Figura 62 - representação gráfica dos valores de absorção do compósito com Ráfia em relação ao tempo.....	74
Figura 63 - Valores de tensão máxima à flexão versus tempo de imersão em água para os compósitos com fibras de Juta e placa de Resina	75
Figura 64 - Valores de módulo de elasticidade à flexão versus tempo de imersão em água para os compósitos com fibras de Juta e placa de Resina.....	76
Figura 65 - Valores de tensão máxima à flexão versus tempo de imersão em água para os compósitos com fibras de Sisal e placa de Resina.....	77

Figura 66 - Valores de módulo à flexão versus tempo de imersão em água para os compósitos com fibras de Sisal e placa de Resina.	78
Figura 67 - Valores de tensão máxima à flexão versus tempo de imersão em água para os compósitos com fibras de Ráfia e placa de Resina	79
Figura 68 - Valores de módulo de elasticidade à flexão versus tempo de imersão em água para os compósitos com fibras de Ráfia e placa de Resina.....	80
Figura 69 - Valores de módulo de elasticidade à flexão versus tempo de radiação por UV para os compósitos com fibras de Juta e placa de Resina.....	82
Figura 70 - Valores de módulo de elasticidade à flexão versus tempo de radiação por UV para os compósitos com fibras de Juta e placa de Resina.....	82
Figura 71 - Valores de módulo de elasticidade à flexão versus tempo de radiação por UV para os compósitos com fibras de Juta e placa de Resina.....	84
Figura 72 - Valores de módulo de tensão à flexão versus tempo de radiação por UV para os compósitos com fibras de Sisal placa de Resina	84
Figura 73 - Valores de tensão à flexão versus tempo de radiação por UV para os compósitos com fibras de Ráfia placa de Resina	86
Figura 74 - Valores de módulo à flexão versus tempo de radiação por UV para os compósitos com fibras de Ráfia placa de Resina	86
Figura 75 - Valores de coeficiente condutividade térmica versus as frações mássicas para os compósitos de sisal, ráfia e juta.	87
Figura 76 - Intensidade sonora versus fração mássica para as diferentes placas processadas com diferentes tipos de fibras e resina: a) sem material de isolamento; b) som ambiente.	88
Figura 77 - Intensidade sonora versus fração mássica para as diferentes placas processadas com diferentes tipos de fibras e resina	89
Figura 78 – Valores de Dano versus veloc. Angular e diâmetro de ferramenta para as placas de resina.....	90
Figura 79 – Valores de Dano versus veloc. Angular e diâmetro de ferramenta para as placas em compósito com 40% de fibras de Sisal	90
Figura 80 – Valores de Dano versus veloc. Angular e diâmetro de ferramenta para as placas em compósito com 40% de fibras de Juta	91
Figura 81 – Valores de Dano versus veloc. Angular e diâmetro de ferramenta para as placas em compósito com 40% de fibras de Ráfia	92

Figura 82 - Variação do Storage modulus (E') versus temperatura para os três compósitos com a maior fração mássica e para a resina.	92
Figura 83 - Variação do Tan Delta versus temperatura para os três compósitos com a maior fração mássica e para a resina.	93
Figura 84 - Variação do Loss Modulus (E'') versus temperatura para os três compósitos com a maior fração mássica e para a resina.	94
Figura 85 – (Esq.)Modelo da cadeira/banco; (Dir.)Modelo do abrigo na configuração dupla.....	96
Figura 86 - valores para simulação para o banco construído em resina	98
Figura 87 - Malha criada para o ensaio com o modelo construir em resina.....	98
Figura 88 - Esquema cromático do critério de Von Mises, com indicação do valor máximo e a sua localização	99
Figura 89 - Esquema cromático dos deslocamentos previstos, com indicação do valor máximo e a sua localização.....	99
Figura 90 - Deslocamentos mínimos e máximos obtidos nas simulações por material	100
Figura 91-Geometria e código STL associado, adaptado de [96].....	102
Figura 92-programação da disposição das peças para impressão	102
Figura 93- Impressora 3D em funcionamento	103
Figura 94-peças impressas em 3D dos modelos de estudo.....	103

Lista de tabelas

Tabela 2- Principais diferenças entre as matrizes termoendurecíveis e as termoplásticas	21
Tabela 3- Evolução do consumo das fibras naturais na Indústria automóvel Europeia em toneladas	26
Tabela 4- algumas propriedades mecânicas das resinas Poliéster e Epóxida	34
Tabela 5 Propriedades dos materiais empregados em ferramentas de corte.....	43
Tabela 6- Velocidade de propagação do som a 25°C em diferentes materiais	52
Tabela 7- Materiais compósitos processados com diferentes frações mássicas de fibras naturais	53
Tabela 8- Características do sonómetro utilizado nos ensaios de avaliação do comportamento acústico	65
Tabela 9- Valores da densidade experimental, teórica dos materiais processados, desvio padrão e valor de porosidade em %.	68
Tabela 10- Valores de absorção de água em percentagem versus tempo de imersão para os provetes em material compósito com fibras curtas de juta	70
Tabela 11- Valores de absorção de água em percentagem versus tempo de imersão para os provetes em material compósito com fibras curtas de Sisal	71
Tabela 12- Valores de absorção de água em percentagem versus tempo de imersão para os provetes em material compósito com fibras curtas de Rafia	73
Tabela 13- Valores de tensão máxima e módulo de elasticidade à flexão versus tempo de imersão em água para os vários materiais compósitos com fibras de Juta.....	75
Tabela 14- Valores de tensão máxima e módulo de elasticidade à flexão versus tempo de imersão em água para os vários materiais compósitos com fibras de Sisal.	77
Tabela 15- Valores de tensão máxima e módulo de elasticidade à flexão versus tempo de imersão em água para os vários materiais compósitos com fibras de Ráfia.	78
Tabela 16- Valores de tensão máxima e módulo de elasticidade à flexão versus tempo de radiação ultravioleta para os vários materiais compósitos com fibras de Juta....	81
Tabela 17- Valores de tensão máxima e módulo de elasticidade à flexão versus tempo de radiação ultravioleta para os vários materiais compósitos com fibras de Sisal...	83
Tabela 18 Valores de tensão máxima e módulo de elasticidade à flexão versus tempo de radiação ultravioleta para os vários materiais compósitos com fibras de Ráfia.....	85

Tabela 19- Nível de Intensidade sonora medido para as placas de materiais compósitos com diferentes frações mássicas e tipos de fibras (Juta, Sisal e Ráfia).....	88
Tabela 20-valores experimentais usados nas simulações.....	97
Tabela 21-valores obtidos pelas simulações por material.....	100

Lista de siglas

Acrônimo	Descrição
g/cm^3	Gramas por centímetro cúbico
MPa	Mega Pascal
GPa	Giga Pascal
mm	Milímetros
L	Comprimento
d	Diâmetro
$^{\circ}C$	Temperatura (graus Celcius)
%	Porcentagem
bar	Unidade de pressão
m	Metros
cm	Centímetros
Kg/m^3	Densidade - quilograma por metro
$\sigma_{max.flexão}$	Tensão máxima à flexão [MPa]
q	Taxa de transferência de calor
k	Condutividade térmica
T_p	Temperatura do fluido
T_{∞}	Temperatura ambiente
dB	Decibel
kg	Quilograma
ρ	Densidade do corpo [g/cm^3]
M	Momento máximo de flexão [Nmm^{-2}]
Y	Distância do eixo à fibra externa [mm]
I	Momento de Inercia [mm^4]
P	Carga aplicada [N]
l	Distância entre as bases de apoio [mm]
b	Largura do provete [mm]
h	Altura do provete [mm]
$E_{flexão}$	Módulo de elasticidade à flexão [MPa]
y	Deslocamento em y [mm]
T_g	Temperatura de transição vítrea [$^{\circ}C$]

N	Newton
Wf	Fração Mássica

Índice

DEDICATÓRIA	III
AGRADECIMENTOS	VI
RESUMO	VIII
ABSTRACT	XI
LISTA DE FIGURAS	XIV
LISTA DE TABELAS	XX
LISTA DE SIGLAS	XXIII
ÍNDICE	XXVI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Nota preambular	1
1.2. Motivação para o Tema	2
1.3. Objetivos	2
1.4. Estrutura geral	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Viver em locais remotos	5
2.2. As preocupações ecológicas	6
2.3. Polímeros e Plásticos	8
2.4. Material Compósito	8
2.4.1. Evolução dos materiais compósitos	9

2.4.2. Importância dos compósitos face aos outros materiais	10
2.5. Classificação dos compósitos	11
2.5.1. Compósitos reforçados com partículas	12
2.5.2 Compósitos reforçados com fibras.	13
2.5.3. Compósitos estruturais	14
2.6. Reforços	15
2.7. Classificação das fibras naturais	16
2.7.1 Compósitos de polímeros com fibras vegetais naturais	17
2.7.2. Vantagens das fibras vegetais	19
2.8. Matrizes poliméricas	20
2.8.1 Matrizes termoendurecidas	20
2.8.2. Matrizes termoplásticas	21
2.8.3 Escolha do tipo de matrizes	21
2.9. Propriedades mecânicas nos compósitos	22
2.9.1. Considerações a ter na seleção de compósitos	22
2.10 Aplicações de materiais compósitos com fibras.	25
2.10.1. Lazer e desporto	27
2.10.2. Indústria energética	28
2.10.3 Indústria Construção	29
2.10.4 Indústria automobilística e naval	30
2.10.5. Indústria aeronáutica/espacial	31
2.11. Processamento de materiais termoendurecíveis	33
2.12. Técnicas de processamento de compósitos	35
2.12.1. Moldação Manual	35
2.12.2. Moldação manual por projeção	36
2.12.3 Moldação Manual por contacto	37
2.12.3. Moldação por compressão a quente	38
2.12.4. Moldação em autoclave	38
2.12.5. Moldação mistura e vazamento a vácuo	40
2.12.6 Moldação por transferência de Resina (RTM)	40
2.13 Furação	41
2.14. Ferramentas de corte	42

2.15. Esforços de corte no processo de maquinação	45
2.16. Influencia dos parâmetros de corte na furação.	46
2.17. Propriedades térmicas	47
2.17.1. Transferência de calor por condução	47
2.17.2. Transferência de calor por convecção	48
2.17.3. Transferência de calor por radiação	50
2.18. Propriedades Acústicas.	51
3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	53
3.1. Materiais: matriz e fibras naturais	53
3.1.1 Resina Epóxida utilizada no processamento dos compósitos	53
3.1.2 Fibras naturais utilizadas no processamento dos compósitos	54
3.2. Processamento das placas	56
3.3. Ensaios	57
3.3.1 Ensaio de Densidade	57
3.3.2. Ensaios de Flexão	59
3.3.3. Ensaios de DMA	62
3.3.4. Ensaios de Absorção	62
3.3.5 Ensaios de UV	63
3.3.6. Ensaios de Isolamento térmico	64
3.3.7. Ensaios de Isolamento Acústico	65
3.3.8. Avaliação de delaminação	66
4. RESULTADOS	68
4.1 Densidade	68
4.2. Absorção	69
4.2.1. Absorção de água em materiais compósitos com fibras de Juta	69
4.2.2 Absorção no compósito carregado com Sisal	71
4.2.3 Absorção no compósito carregado com Rafia	72
4.4. Ensaios de Absorção	74
4.4.1. Propriedades mecânicas dos compósitos de juta versus tempo de imersão em água	74
4.4.2. Propriedades mecânicas dos compósitos de Sisal versus tempo de imersão em água	76

4.4.3. Propriedades mecânicas dos compósitos de Ráfia versus tempo de imersão em água	78
4.5. Propriedades mecânicas versus tempo de radiação por ultravioleta	80
4.5.1. Propriedades mecânicas dos compósitos de Juta versus tempo de radiação por ultravioleta	80
4.5.2. Propriedades mecânicas dos compósitos de Sisal versus tempo de radiação por ultravioleta	83
4.5.3. Propriedades mecânicas dos compósitos de Ráfia versus tempo de radiação por ultravioleta	85
4.6 - Ensaios de Condutividade Térmica	87
4.7 - Ensaios Acústicos	87
4.8 Ensaios de Maquinação	89
4.9 Ensaios de DMA	92
5. CASO DE ESTUDO	95
5.1. Objetivos a cumprir pelos equipamentos	95
5.1.1. Abrigo	95
5.1.2. Cadeira/banco	95
5.2. MODELAÇÃO 3D	96
5.2.1. Cadeira/banco ensaio de resistência	96
5.3. Prototipagem rápida	101
5.3.1. Padrão STL	101
5.3.2. Fatiar o sólido e ficheiro de impressão	102
5.3.3. Impressão	103
6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	104
6.1. Trabalhos futuros	104
6.2. Conclusões	104
7. BIBLIOGRAFIA	109
ANEXOS	117

Anexo A – Simulação cadeira/banco	117
Anexo B – Desenho 2D do abrigo	117
ANEXO BA APOIO CENTRAL_ TECTO E CHÃO	117
ANEXO BB PAINEL CHÃO E PAREDE	117
ANEXO BC PAINEL TECTO	117
ANEXO BD PERFIS TECTO E LATERAL	117
ANEXO BE PDF DINÂMICO DO ABRIGO	117

1. Introdução

1.1. Nota preambular

É consciência coletiva como temos de proteger o nosso planeta da poluição, dando especial atenção aos locais onde a pegada ecológica, nomeadamente em locais onde hoje em dia muitas equipas de investigadores e aventureiros habitam durante grandes temporadas.

A possibilidade de viver em ecossistemas isolados como as ilhas oceânicas e/ou a Antártica que são extremamente frágeis e dependentes do equilíbrio ecológico. Assim, pequenas mudanças podem colocar em risco a sobrevivência de diversas espécies. O plástico não ocorre naturalmente no ambiente, o que o torna diferente de outros tipos de poluição, como metais ou óleo, este tipo de lixo tem origem antrópica. A ocorrência do lixo nestas áreas pode provocar efeitos letais e/ou sub-letais em espécies que não ocorrem em outros lugares do planeta [1].

Um simples copo de plástico precisa de 50 anos para se degradar e para a decomposição de uma garrafa de plástico, estima-se que sejam precisos cerca de 450 anos [2], este motivo por si só já nos deve obrigar a pensar em alternativas aos materiais atuais, procurando que os novos materiais sejam o mais “verdes” possíveis.

Desde a antiguidade que a procura de soluções de engenharia, foi muitas vezes satisfeita à conta de produtos naturais que estavam ao dispor das comunidades, as fibras de origem vegetal estão entre estes recursos. Atualmente os recursos com base no petróleo estão a ser inferiores às necessidades de consumo e satisfação das necessidades de uma sociedade cada vez mais exigente com o seu conforto.

Tanto a consciência como as necessidades de satisfação, têm impellido os estudiosos na procura de novas soluções técnicas capazes de deleitar os seus utilizadores, abrindo a porta a uma nova família de matérias-primas, entre as quais se encontram os compósitos; Existem já soluções comprovadas, como capacetes militares ou peças para a indústria automóvel [3], provando aos céticos que os compósitos de matriz polimérica reforçada com fibras naturais de origem vegetal, têm o seu espaço e que se vão afirmando como alternativa válida.

1.2. Motivação para o Tema

As necessidades dos laboratórios e dos acampamentos de base, ao nível da comodidade e funcionalidade, obriga ao transporte de elevadas quantidades de material do tipo instalações e respetivo mobiliário, muito embora exista legislação que obrigue a que em determinadas zonas de exploração, os organismos responsáveis pelas expedições sejam obrigados a limpar e remover o lixo da expedição [1], nem sempre o mesmo é possível sem criar problemas ecológicos maiores.

Perante o problema delineado, julguei importante procurar uma solução que cumprisse com a premissa de ser capaz de resolver as solicitações de comodidade e funcionalidade necessárias e ao mesmo tempo ser o mais ecológico possível, fazendo uso de materiais naturais, com auxílio de uma matriz comercial que cumprisse com o compromisso de deixar a menor pegada ecológica possível.

Serve-me também de motivação a noção que o material possa servir para efeitos menos nobres, mas que o viabilizem como alternativa comercial pelas suas características, térmicas, acústicas e de *design*.

1.3. Objetivos

- O presente trabalho tem por objetivo, o processamento e caracterização de um novo material, criado a partir de fibras: Juta, Sisal e Ráfia, sobre uma matriz de resina SR GreenPoxy 56, a qual tem na sua génese 60% de carbonos de origem vegetal apresentando-se assim como um produto biodegradável.

A metodologia a seguir, é a criação de materiais com o recurso ao processo de moldação por compressão de um grupo de compósitos de matriz epóxida, reforçada com as fibras vegetais atrás mencionadas.

Apresentarei também duas aplicações experimentais de um abrigo modular e de uma peça de mobiliário, tentando que as duas aplicações sejam extensíveis a outras aplicações distintas sem que para tal seja necessário alterar as especificações do produto.

Com os resultados dos testes aos quais o compósito foi sujeito, pretende-se viabilizar o mesmo como material de engenharia capaz de cumprir os requisitos necessários ao fabrico das aplicações propostas no parágrafo anterior.

Vou impor como objetivos fundamentais deste trabalho:

- ✓ Determinar as características mecânicas, físicas dos diversos compósitos e de como as diversas frações volúmicas de reforço em fibra naturais influenciam as mesmas.
- ✓ Estudo das alterações dos diversos compósitos quando sujeitos a condições como os raios UV ou submersão em água.
- ✓ Estudo do comportamento de isolamento perante o calor e o som.
- ✓ *Design* do abrigo e da cadeira de forma a criar objetos de fácil montagem, transporte e armazenamento.

1.4. Estrutura geral

Este estudo é apresentado, dividido em diversos capítulos, na parte inicial é apresentado o enquadramento ao mesmo, constituído por uma revisão bibliográfica dos conceitos que iremos utilizar e dos materiais aplicados no desenvolvimento do objeto de estudo, bem como uma alusão aos métodos experimentais usados.

Os dados obtidos pela experimentação e ensaios realizados, serão posteriormente discutidos, sendo expostas detalhadas tabelas e gráficos, que suportem as conclusões apresentadas no capítulo final.

Como complemento ao trabalho experimental, será apresentado um modelo real à escala e desenhos em CAD, de uma das possíveis aplicações dos materiais estudados.

O trabalho apresentado é constituído por 7 partes perfeitamente definidas, começando por as formalidades de apresentação de relatório, nas quais se incluem por exemplo: resumo, lista de tabelas, figuras e siglas.

O capítulo seguinte, denominado por “Introdução”, expõe os objetivos e as motivações que me impulsionaram a esta tarefa.

Segue-se o capítulo onde de forma resumida se expõe o que vulgarmente se denomina por estado da arte, em que sem querer ser exaustivo, enquadro os trabalhos, as valências e conhecimentos consensualmente aceites.

A terceira parte retrata os materiais e os processos experimentais usados, onde se apresenta desde as características do material de base, o seu processamento e os ensaios a que foi submetido.

O quarto capítulo é onde se apresentam os valores do trabalho experimental feito, sendo apresentada também a discussão dos resultados.

No 5º capítulo, são apresentadas duas aplicações possíveis, um abrigo modular e um banco extensível, passíveis de serem construídos com os materiais estudados, tendo sido executada a modelação, desenho e simulação de resistência do banco a condições de serviço na máxima solicitação de projeto. Tanto os relatórios dos ensaios no programa de modelação, como os desenhos em 2D dos projetos, são apresentados em anexo ao trabalho. Por uma questão de separação de objetivos, neste módulo também são apresentadas algumas definições de estado da arte sobre impressão 3D, já que foram feitos alguns modelos em escala, com recurso a PVC, de modo a que os conceitos passassem por o processo de ensaio.

O módulo sexto, apresenta as conclusões e trabalhos futuros, já que no decorrer do processo, foram-se abrindo novas janelas de procura de resposta, as quais por falta de tempo e por estarem além dos objetivos iniciais, terão de ser deixadas para outras oportunidades.

Termina-se o trabalho com a referenciação merecida aos investigados, que sobre os seus trabalhos inspirei este. Se por ventura tiver feito má citação ou não os tiver referenciado de acordo com o que lhes é devido, justifica-se única e exclusivamente por incúria da minha parte, não sendo em caso algum, vontade de me apropriar de trabalho alheio.

Por fim são apresentados em anexo os documentos já referidos no quinto capítulo.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Viver em locais remotos

O mundo está repleto de locais poucos visitados e frequentados apenas por grupos de pessoas com características muito específicas, como por exemplo a Antártica. Só nesta região, existem cerca de 1000 pesquisadores a viver em permanência, divididos por 65 bases de 30 países. Se pensarmos neste número a nível mundial poderemos ver que a quantidade de pessoas que vivem em locais inóspitos é imensa e que estas se distribuem por todo o globo, bem como, existe uma quantidade considerável de campos, onde se encontram alojados.

As instalações são muito díspares e podem variar desde pequenas cabanas abrigo, a laboratórios extremamente sofisticados como o apresentado na figura 1, que representa a Estação Britânica Halley VI, instalada em permanência na Antártica.



Figura 1 - Instalação Científica Halley VI; www.elconfidencial.com -11-06-17

Os alojamentos deste tipo podem ter de considerar outros fins que não os meramente científicos, como o de assegurar as necessidades de sobrevivência humana e o seu conforto. Exemplo disso é o caso dos acampamentos na base nos Himalaias, perto de grandes montanhas e de onde saem as expedições que tentam os feitos de subida com êxito. Durante a época anual em que estas subidas são possíveis, todos os dias o Evereste tem cerca de 300 turistas em atividade.

Os problemas de poluição gerados por estes últimos são do conhecimento geral. Sabe-se que são retiradas só desta montanha cerca de 3 toneladas de resíduos provenientes de equipamento deixado para trás propositadamente [4] e não são conhecidos os números do material abandonado. A figura 2, demonstra um depósito aberto por uma avalanche

onde é possível ver a quantidade de material plástico abandonado e identificar que parte pertence a abrigos não permanentes.

As situações atrás apresentadas tendem a aumentar de ano para ano, se por um lado a investigação científica tende a aumentar para melhor conhecermos o nosso habitat e como o estamos a influenciar, por outro lado, cada vez é mais acessível viajar para locais recônditos que durante muito tempo estavam vedados à maioria das pessoas.



Figura 2 - Lixo nos Himalaias; www.materiais.com.br; 11-06-17

Perante estes cenários podemos facilmente extrapolar que no mundo, todos os dias milhares de pessoas vivem em locais muito frágeis ecologicamente. Mesmo quando consideramos locais pouco habitados e que deveriam estar mais protegidos é praticamente impossível evitar danos ambientais. O atrás exposto, valida por si só a minha ideia de procurar um material que minimize a pegada ecológica.

2.2. As preocupações ecológicas

Com o aumento da qualidade de vida muito promovida pela revolução industrial, a indústria teve de procurar novos materiais para matéria-prima, sendo que as escolhas dos mesmos recaiu fortemente sobre materiais que permitiram acrescentar como mais-valia o seu baixo valor de aquisição. Exemplos são, as matérias-primas de origem não renovável, entre as quais estão os plásticos. Por sua vez, estas podem ser rotuladas de maneira grosseira como resistentes, eficazes e duradouros, mas são como é do conhecimento geral, de difícil reciclagem e, conseqüentemente, causadores de problemas ambientais [5].

O crescimento económico associado à massificação da tecnologia, tem sem margem para dúvidas influenciado o nível de vida das sociedades de forma positiva. No entanto, este sucesso tem como reverso perverso o consumo compulsivo, promovendo a resposta desenfreada da indústria na busca de satisfazer essas mesmas necessidades de consumo, através da utilização de energias fósseis, de descargas industriais, de metais pesados, etc. ... culminando na poluição do ar, do solo e da água e no conseqüente lixo urbano [6]. As conseqüências desta atitude são uma equação, sobre a qual dominamos muito poucos fatores, podendo estar a hipotecar os recursos capazes de manter um mundo sustentável para as gerações seguintes [7].

Hoje os consumidores começam a estar alerta para as questões ambientais e as suas solicitações. Face a um produto/material preveem situações que vão muito além do que pretendem para a sua satisfação. O conceito de desenvolvimento sustentável é atualmente um dos fatores que condiciona as tomadas de decisão a nível industrial e político. Esta ideia, foi sintetizada de forma clara e concisa no Relatório Brundtland em 1987, com as seguintes palavras:

“Por desenvolvimento sustentável entende-se o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazerem as suas próprias necessidades. Possibilitando às pessoas, agora e no futuro, de atingirem um nível satisfatório de desenvolvimento social e económico e de realização humana e cultural, fazendo ao mesmo tempo, um uso razoável dos recursos da terra e preservando as espécies e os habitats naturais” [8].

Assim, a consciência coletiva tem demonstrado uma crescente preocupação com os problemas do meio em que se insere, os recursos naturais e as aplicações dos mesmos, tomando decisões que promovem o uso de materiais sustentáveis [9;10]. Esta nova perspectiva de ver o problema tem promovido a investigação e o uso de materiais compósitos reforçados de fibras naturais. A indústria automóvel tem estado na vanguarda deste movimento, promovendo atitudes que permitem cumprir as normas ambientais, cada vez mais apertadas e ao mesmo tempo conseguir as desejadas reduções de peso e custos obrigatórios na boa gestão industrial [11].

2.3. Polímeros e Plásticos

No âmbito da linguagem comum, as duas palavras fundem-se, no entanto as diferenças entre ambas é significativa. Um polímero é uma macromolécula constituída por unidades estruturais repetitivas, unidas entre si por ligações covalentes [12]. Já o termo "plástico" advém do grego "plastikos", significando "moldável", uma das características intrínsecas a estes materiais quando submetidos solicitados a variações de pressão e temperatura. São igualmente constituídos por macromoléculas sintéticas. Têm origem orgânica e a sua classificação pode-se dividir em dois grupos distintos [13]:

- ✓ Termoendurecíveis, plásticos caracterizados por não permitirem o reprocessamento, a polimerização é consequência de uma reação química irreversível não podendo ser fundidos novamente. Um exemplo deste tipo de plástico é a resina epóxi.
- ✓ Termoplásticos são materiais com a característica de poderem ser processados inúmeras vezes, não obstante ao facto de cada vez que são reprocessados irem alterando as suas propriedades químicas e físicas, tendendo esta alteração à perda de características mecânicas.

A título de resumo, a diferença entre polímeros e plásticos baseia-se no facto dos últimos apresentarem na sua constituição impurezas que poderão ser de origem ocasional ou de aditivos. Quando se incorporam impurezas propositadamente nos polímeros de maneira a alterar as suas propriedades devido à dificuldade de fazer uso dos mesmos isoladamente e com o fim de produzir artigos úteis ao consumo. Esta necessidade acrescida do facto de estes materiais terem a característica de serem instáveis aos agentes atmosféricos, sofrerem de baixa resistência mecânica específica e serem altamente inflamáveis, tornando-os por isso bastante limitados ao nível da utilização prática [12].

2.4. Material Compósito

Pode-se assumir a demonização material compósito ou simplesmente que um compósito é um material composto por pelo menos duas fases, sendo estas diferentes em propriedades químicas e físicas. Apresentado de forma muito sucinta por Ricardo Feltre

como a “classe de materiais compostos por uma fase contínua (matriz) e uma fase dispersa (reforço ou modificador) que pode ser contínua ou não e, cujas propriedades, são obtidas a partir da combinação das propriedades dos constituintes individuais (regra das misturas)” [14].

As propriedades mecânicas dos materiais compósitos dependem do comprimento, da forma, do tamanho, da composição, da orientação e distribuição das fibras, bem como da sua fração volumétrica, das propriedades mecânicas da resina, da adesão ou ligação entre as fibras e a matriz e das técnicas de fabricação [15]. Podendo em certos casos também conter alguns aditivos e cargas de enchimento designadas por “*fillers*”, que são utilizados com o objetivo de complementar as suas propriedades, como por exemplo baixar os custos, facilitar o manuseamento, melhorar as características de moldação ou melhorar as propriedades pós-cura [16].

Uma boa combinação de polímero, fibra de reforço e processo de fabricação conduzirá a uma aplicação com propriedades excelentes, nomeadamente: relação resistência/peso, vida longa, resistência à corrosão, baixa manutenção, estabilidade dimensional, resistência às condições atmosféricas, facilidade de fabricação, poupança de energia e competitividade de custos, combinada com baixas densidades [17].

2.4.1. Evolução dos materiais compósitos

A humanidade tem tido com os materiais que utiliza uma relação estreita, esse efeito é tal que as épocas passadas têm sido muitas vezes definidas pelos materiais característicos, cronologicamente: Idade da Pedra, Idades do Bronze e do Ferro.

A procura de resposta às solicitações que foram apresentadas no decorrer dos tempos, fez com que os materiais passassem de ser utilizados no seu estado bruto e natural para serem utilizados estando sujeitos a ferramentas cada vez mais evoluídas e sofisticadas, tendo a evolução transformado materiais considerados simples à vista atual, como o é o caso do processamento de ligas metálicas e cerâmicas em materiais de elevado desempenho e complexidade tecnológica, como são exemplo disso os nano materiais [18].

Sem ser exaustivo no que respeita à história dos materiais compósitos, e com o propósito de salientar que a utilidade dos mesmos é paralela com a história da humanidade apenas enumero alguns exemplos que julgo permitirem criar um perfil da evolução destes

materiais temporalmente e ao mesmo tempo ilustrar como foram evoluindo a par com as inovações tecnológicas: no Neolítico fabricava-se tijolos com palha a servir de reforço ao barro; 1500 a.C. os Egípcios dominavam a técnica de aglomerar madeira para a construção de Sarcófagos; os arcos de guerra eram construídos por estruturas laminadas, juntando madeira, pele, osso, chifres e tendões 800 anos a.C. [19;20] pelo que o uso de fibras de origem vegetal e animal é conhecida e usada no fabrico de compósitos há muito.

As necessidades tecnológicas fizeram com que os reforços naturais nos compósitos, tenham sido renegadas para segundo plano até há relativamente pouco tempo, no entanto na segunda metade do século XX, a necessidade de uso de estruturas leves e de materiais com especificações muito próprias quanto ao seu comportamento, nomeadamente que respeita a propriedades físicas e químicas tais como o comportamento elétrico, dielétrico e eletromagnético [21], abriram de novo um caminho da importância destes materiais como matéria-prima.

Nos anos 40 do século passado, os compósitos começaram a tornar importantes como material de engenharia nomeadamente nas estruturas com fins militares, aeroespaciais, náuticas, ferroviárias e automóveis [22], nos anos 30 deu-se o aparecimento das primeiras aplicações de matriz polimérica reforçada com fibra de vidro e com o surgimento das fibras de carbono e de boro nos anos 60, estes materiais consolidaram a sua importância como material estrutural [23]

As décadas de 80 e 90, o uso na aviação e na indústria aeroespacial vulgarizou-se, associado ao surgimento de uma mentalidade ecológica e sustentável, bem como a procura de materiais mais económicos, fez surgir novamente os reforços com recurso ao uso de matérias naturais [21].

2.4.2. Importância dos compósitos face aos outros materiais

Muito embora estes materiais tenham ganho uma importância significativa desde meados do século passado, o seu uso é ainda muito pequeno face às outras matérias-primas, rondando apenas 0,5% da matéria-prima aplicada no fabrico de componentes, este valor é praticamente irrisório se o compararmos com os 70% de aplicação do aço [24].

Os estudos sobre a aplicação de materiais compósitos dita que o principal mercado para os compósitos continua a ser os transportes com 31% seguido pela construção civil com 19,7%, segue-se o material náutico com 12,4%, o equipamento elétrico e eletrônico com uma cota de 9,9%, os produtos de consumo representam 5,8% do material disponível e no fim da lista aparece a indústria aeronáutica e aeroespacial com apenas 0,8% [21].

Na figura (03), apresentada, pode ver-se graficamente a importância dos compósitos em relação aos outros materiais, e de como os materiais foram evoluindo no decorrer do tempo. É de salientar, a importância que os materiais compósitos vêm evidenciando desde os anos 90 do século XX, com a diminuição da dependência dos metais e ligas em detrimento dos outros materiais.

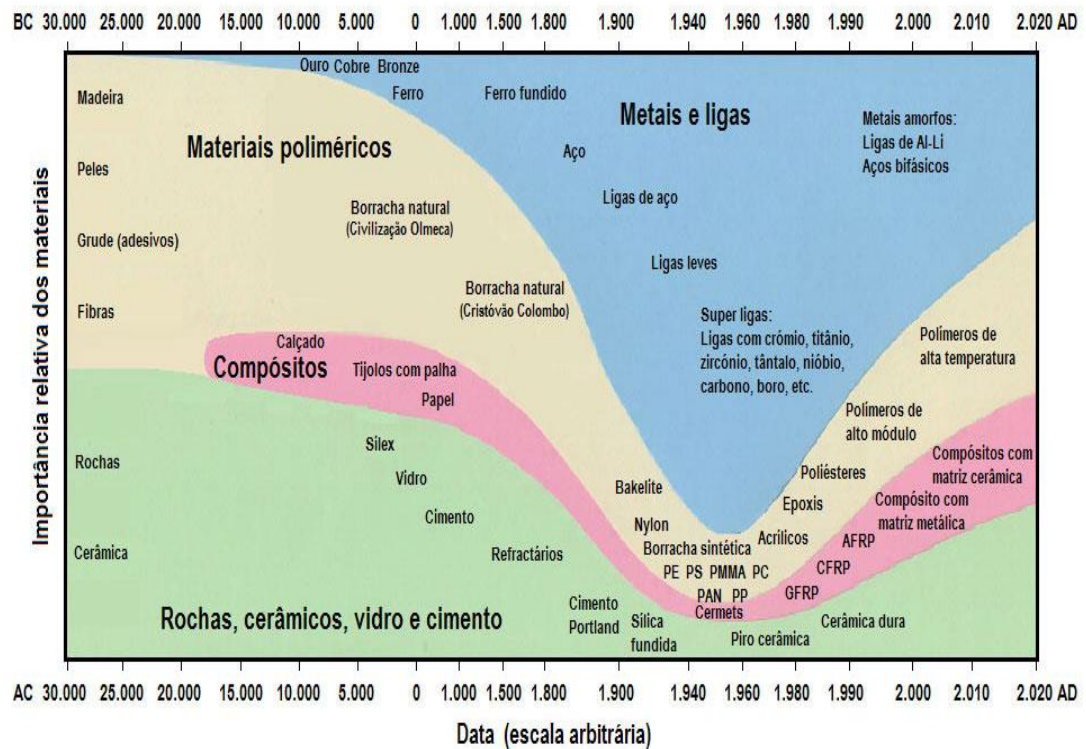


Figura 3 - Evolução dos materiais utilizados no fabrico de componentes [22].

2.5. Classificação dos compósitos

Os compósitos de matriz polimérica podem ser divididos em três grupos principais, consoante a morfologia do reforço, obtemos compósitos reforçados de partículas,

reforçados com fibras e compósitos estruturais [16]. O esquema apresentado na figura (04) ilustra de forma simples essa classificação:

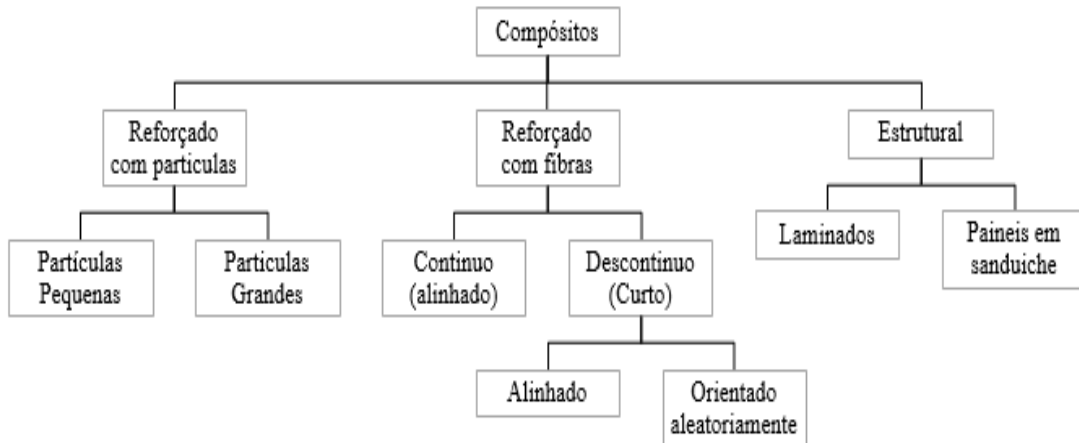


Figura 4 - Esquema de classificação dos materiais compósitos [16].

2.5.1. Compósitos reforçados com partículas

Os compósitos deste tipo, podem ser carregados com partículas de dimensões distintas, dispersas e envoltas no material da matriz, diferenciada por características físicas e químicas da carga. Na figura (05) apresenta-se um esquema deste tipo. O exemplo mais conhecido deste tipo de compósito é o betão, no caso específico a matriz é o cimento, carregada com as partículas, areia e brita. Mas a mesma figura pode simbolizar Cermeto, utilizado com ferramenta de corte para aços, onde partículas de extrema dureza à base de cerâmicas refratárias, são envolvidas por uma matriz de metálica, vulgarmente cobalto ou níquel [15].

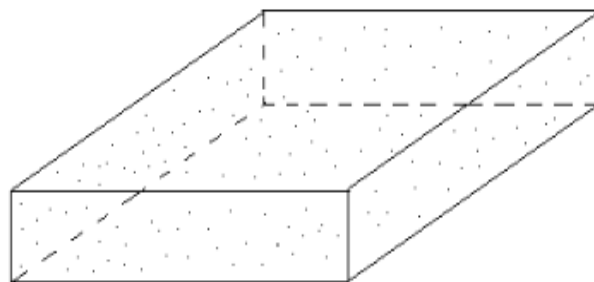


Figura 5 - Compósito reforçado com partículas [25].

Os materiais compósitos reforçados com partículas de pequenas dimensões têm a sua resistência aumentada por dispersão. As partículas apresentam diâmetros compreendidos entre os 0,01 e 0,1 μm e são mais rígidas e resistentes que a matriz. Numa matriz polimérica, estas partículas são designadas por aditivos e cargas de enchimento (*fillers*) e são adicionadas para ampliar a rigidez do material (módulo elástico), reduzir custos ou modificar as propriedades térmicas e elétricas [26]. As partículas de reforço tendem a restringir o movimento da fase matriz na vizinhança de cada partícula. Essencialmente a matriz transfere parte da tensão aplicada às partículas, as quais suportam uma fração da carga [27].

2.5.2 Compósitos reforçados com fibras.

Também neste tipo de compósitos as fibras são envoltas numa matriz de cariz distinto das cargas, matrizes poliméricas [28]. Os materiais mais conhecidos desta classe são as fibras de vidro, carbono e “*kevlar*”, no entanto estas fibras podem ser juta, sisal e rafia, como é objeto deste estudo.

Existem duas classes de classificação em relação à orientação das fibras, alinhado com eixo longitudinal da fibra, ou um alinhamento totalmente aleatório como é o exemplificado na figura (06). Normalmente o alinhamento está associado ao tipo de fibra usado. Por exemplo, quando se faz uso de fibras contínuas estas estão alinhadas ao inverso do uso de fibras descontínuas que tendem a estar desalinhadas ou parcialmente orientadas [21]

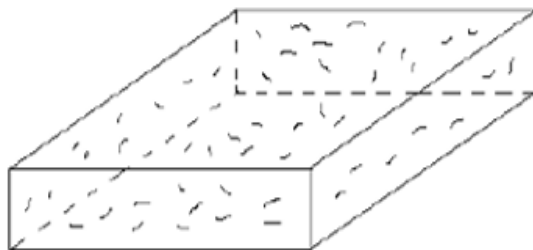


Figura 6 - Compósito reforçado com fibras descontínuas [25].

As respostas às solicitações mecânicas dos compósitos com fibras contínuas dependem de vários fatores como o comportamento tensão-deformação das fases fibra e matriz, as frações volumétricas das fases e das direções na qual a tensão ou carga é aplicada. Embora os compósitos com fibras descontínuas e alinhadas tenham uma eficiência de reforço menor, estas estão cada vez a ter mais aplicações [28].

2.5.3. Compósitos estruturais

Estes tipos de compósitos diferem dos anteriores por não existir uma matriz que envolve os reforços. Um compósito estrutural é composto por materiais homogêneos ou por compósitos, sendo que as suas propriedades não são dependentes das propriedades dos elementos constituintes. Mais, é fortemente influenciado pelo posicionamento dos diversos elementos e os exemplos mais conhecidos destes são os contraplacados, os laminados de fibras e resina, sanduiche. Podem ser divididos em dois tipos principais, nomeadamente os compósitos laminados e os compósitos de sanduiche.

2.5.3.1. Compósitos laminados

Caraterizados por serem constituídos por diversas camadas empilhadas (lâminas) orientadas em direções pré-definidas, como se pode ver no esquema apresentado na figura (07). As diversas combinações de orientação, espessuras e materiais de cada lâmina que compõem o laminado, ditam o comportamento do material ao nível das suas caraterísticas, que podem ser diferentes das lâminas constituintes, no entanto na maior parte das vezes estes compósitos podem ser considerados como materiais isotrópicos.

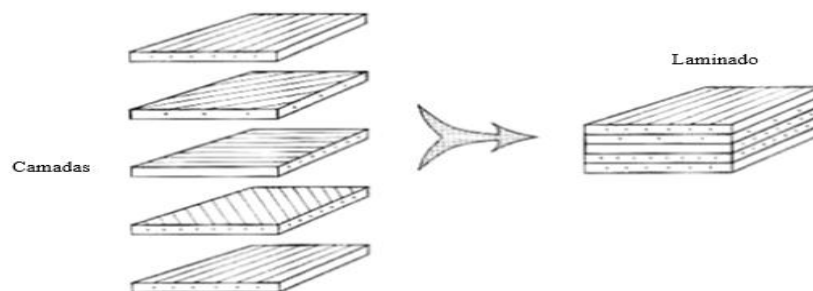


Figura 7 - Composição de um laminado (adaptado de [28]).

2.5.3.2 Compósitos do tipo sanduiche

São formados por lâminas finas e rígidas e mais resistentes. Constituídos por material mais denso e por um núcleo constituído de material de baixa densidade e, normalmente, de inferior rigidez e densidade que as lâminas que o constituem. O núcleo proporciona um certo grau de rigidez contra a tensão de corte ao longo dos planos perpendiculares às faces e resistência às deformações [25].

Existem diversas formas de onde se destacam as espumas, as madeiras leves e as estruturas em forma de ninho de abelhas, como é apresentado na figura (08).

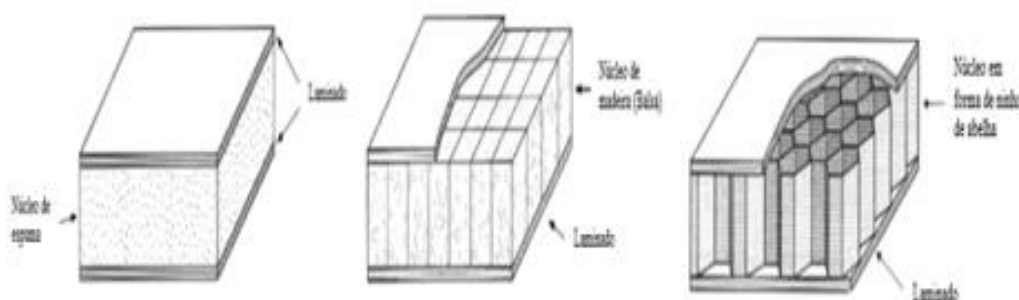


Figura 8 - Compósitos sanduiche com o núcleo: espuma, madeira leve, ninho de abelha [28].

2.6. Reforços

A fase dispersa da matriz polimérica é definida como o reforço que fica inserido pelo material da matriz (figura 9). Os aditivos e cargas incorporadas na matriz do compósito também estão incluídos nesta definição. Os reforços são elementos responsáveis pelas boas prestações mecânicas dos materiais compósitos, pois os mesmos são os responsáveis por suportar praticamente a totalidade das cargas aplicadas sobre o material [16]. Os reforços têm como intenção a melhoria das características mecânicas e físicas (rigidez, resistência mecânica, resistência à fadiga), propriedades mecânicas, resistência ao fogo, resistência a abrasão e a corrosão, propriedades elétricas, etc. [28].

Os reforços podem ter origem vegetal, mineral ou sintética. Podem ser geometricamente esféricos ou alongado e podem aparecer sob a forma de fibra ou tecidos, sendo que os mais vulgares são as fibras. As configurações e frações volumétricas são calculadas em função das aplicações pretendidas [29].

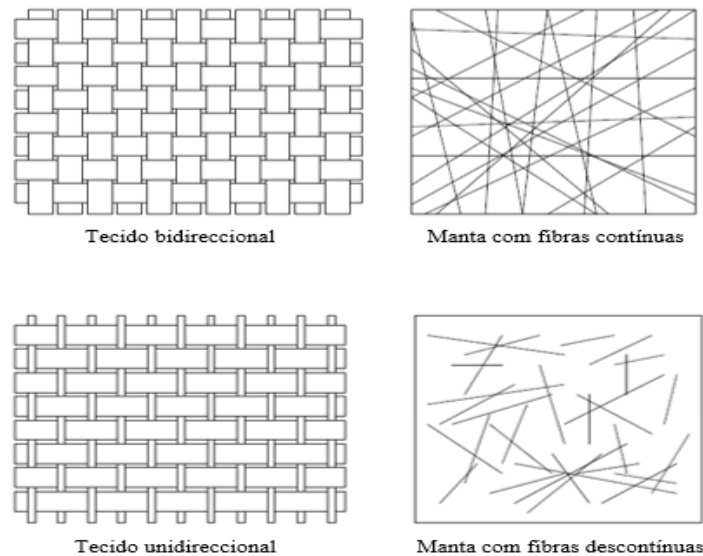


Figura 9 - Formas possíveis de utilização das fibras no fabrico de materiais compósitos [31].

No fabrico de compósitos de matriz polimérica, ao nível dos reforços os aspetos mais significativos são:

- ✓ Módulo de elasticidade superior ao do polímero a ser reforçado,
- ✓ Tensão de rutura superior à do polímero a ser reforçado,
- ✓ Geometria conveniente para ser combinado com o polímero,
- ✓ Assegurar uma boa adesão com a matriz,
- ✓ Não se deteriorar no contacto com o polímero e/ou outros constituintes químicos presentes no compósito,
- ✓ Facilidade de manuseamento e baixo custo [30].

2.7. Classificação das fibras naturais

As fibras naturais são aquelas encontradas na natureza e utilizadas nesse estado ou em estado tratado. As fibras naturais podem ser divididas: fibras de origem animal, fibras de origem vegetal e fibras de origem mineral. De modo a facilitar a identificação das mesmas por género segue a figura 10, onde se apresenta a divisão de diversas fibras com aplicação industrial por grupos

Um providencial interesse deve ser dado à utilização de fibras naturais, de origem vegetal, pois são imensas as plantas disponíveis na biodiversidade, passíveis de serem

encontradas, e por ser uma fonte de recurso renovável. Diversas fibras naturais vegetais são produzidas em praticamente todos os países sendo usualmente são designadas por materiais lignocelulósicos ou celulósicos [32].

Fibras Naturais	Animais	Lã e pêlos finos	Angorá	
			Cashemira	
			Coelho	
			Lã de ovelha	
			Mohair	
		Pêlos grossos	Cabra	
		Seda	Seda cultivada	
				Seda silvestre
	Minerais	Amianto (asbesto)	Crisotila	
			crocidolita	
	Vegetais	De Caules	Cânhamo	
			Juta	
			Linho	
			Malva	
			Ramí	
		De Folhas	Caroá	
Sisal				
Tucum				
De Frutos e Sementes		Algodão		
	Cocô			

Figura 10 - Tipos de fibras naturais; <http://www.blogtextil.santanarepresentacoes.com/fibras-naturais.html> (27/09/17)

2.7.1 Compósitos de polímeros com fibras vegetais naturais

Existe uma grande variedade de fibras vegetais com diferentes propriedades químicas, físicas e mecânicas. As fibras e cargas naturais vegetais, podendo ser ou não provenientes de resíduos e que a literatura especializada apresenta como potenciais materiais a servirem de reforço de polímeros são: sisal, coco, juta, rami, curauá, fibra de bagaço de cana-de-açúcar, soja; kenaf, fique, hemp; amidos; resíduos de madeira; casca de arroz, trigo e outros cereais. [33]

A origem anatômica da fibra é um fator determinante para as propriedades finais do compósito, motivo pelo qual as fibras com origens diferentes tenham geralmente

propriedades distintas e, portanto, campos de aplicação específicos. Além deste parâmetro também a espécie, a idade, a história da planta, as condições de cultivo, as condições climáticas e as técnicas de extração são fatores chave para as propriedades finais das mesmas [30].

Praticamente todas as fibras de origem vegetal podem ser usadas como reforço, as fibras originárias da folha são as mais utilizadas, pelo fato de geralmente serem mais duras do que as fibras do caule. As fibras da folha são geralmente conhecidas como “fibras duras”, porque são ásperas e pouco macias. As fibras do caule são conhecidas como “fibras macias”, por serem relativamente moles e flexíveis [34].

É possível classificar as fibras de origem vegetal pela sua origem na planta, como se vê na figura 11, onde se apresentam algumas das fibras mais significativas a nível industrial.

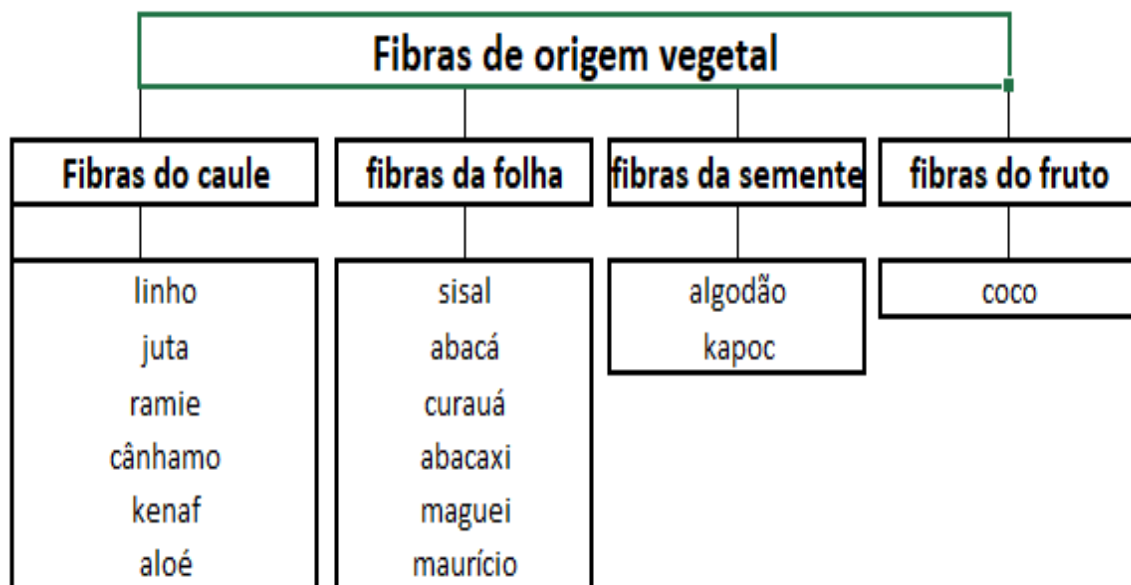


Figura 11 - Classificação das fibras de origem vegetal, adaptado de [31]

2.7.1.1. Fibras do caule

As fibras provenientes do caule, estão associadas ao tecido vascular de floema e são constituídas por uma única faixa de fibras, com várias camadas de espessura, localizadas na região periférica externa do cilindro central das plantas dicotiledóneas. Estas fibras percorrem todo o comprimento do caule

2.7.1.2. Fibras da folha

As fibras provenientes das folhas de monocotiledóneas estão associadas aos tecidos vasculares, que percorrem todo o seu comprimento.

2.7.1.3. Fibras da semente/fruto

As fibras de algodão e coco, não são mais do que pelos epidérmicos provenientes de sementes e frutos, respetivamente [31].

2.7.2. Vantagens das fibras vegetais

Em geral as principais vantagens das fibras naturais vegetais são:

- ✓ Fibras de vegetais são materiais renováveis e sua disponibilidade pode ser considerada ilimitada.
- ✓ Devido a enorme diversidade de plantas lenhosas e fibrosas encontrável na biodiversidade, existe enorme potencial para a descoberta de fibras naturais com propriedades desejáveis (resistência mecânica, estabilidade química e biológica, resistência ao fogo, leveza, resistência à abrasão e ao corte, entre outras propriedades de interesse).
- ✓ As fibras naturais são menos abrasivas que as fibras artificiais usualmente utilizadas como reforço, como, por exemplo, fibra de vidro, e assim geram um menor desgaste dos equipamentos envolvidos no seu processamento
- ✓ São materiais biodegradáveis, característica crucial para componentes que se pretende abandonar após a sua utilização.
- ✓ Compósitos reforçados com fibras naturais, que também utilizam matrizes biodegradáveis, são considerados os materiais menos agressivos ao meio ambiente e podem ser compostados no final da sua utilização.
- ✓ As fibras naturais representam uma nova fonte de rendimento para a população rural, promovendo a fixação das populações e evitando a desertificação das zonas rurais
- ✓ Possuem baixa densidade e alta deformabilidade quando comparadas com materiais similares neste campo de aplicação
- ✓ Apresentam baixo custo, em relação aos reforços atualmente empregados [35].

2.8. Matrizes poliméricas

O processamento do material compósito com fibra em matriz polimérica, pode ser dividido em duas grandes famílias em relação à matriz: as matrizes termoendurecidas; as matrizes termoplásticas. Ambas cumprem o mesmo papel de impossibilitar o movimento das fibras, conglobar e isolar as fibras constituintes do meio ambiente, conferir uma geometria estável que facilite a distribuição das solicitações a que o material esteja sujeito [36]. É apanágio de uma matriz de qualidade:

- ✓ Boa resistência à tração,
- ✓ Módulo de elasticidade elevado,
- ✓ Boa tenacidade e resistência ao impacto, ao corte e à degradação térmica,
- ✓ Coeficiente de dilatação térmico próximo do da fibra,
- ✓ Baixa condutibilidade térmica e elétrica,
- ✓ Boa resistência à degradação química e adesão às fibras,
- ✓ Boa capacidade em solidificar ou curar rapidamente,
- ✓ Relativo baixo custo [37].

2.8.1 Matrizes termoendurecidas

Podendo somente ser processadas uma única vez, apresentam-se no estado de líquido a temperatura ambiente, tendo uma viscosidade de baixo valor antes do processo de cura, facilitando o impregnar das fibras que constituem o reforço. Quando a resina é excitada pela presença do agente endurecedor, é promovida uma reação exotérmica que origina a cura da mesma e o composto assume a geometria pretendida. No mercado existe uma panóplia de resinas desta família com as mais diversas especificações. São relativamente acessíveis de adquirir, no entanto são extremamente difíceis de se reciclarem quando se encontram já devidamente curadas [16].

Estes materiais apresentam habitualmente boa estabilidade térmica, dimensional, comparadas com as resinas dos tipo termoplásticas normalmente apresentam melhores valores para a rigidez, resistência elétrica e química. São usadas em maior número de aplicações quando se espera destas elevadas prestações de desempenho [30].

As aplicações mais realizadas com este tipo de resinas, são as aplicações não-estruturais ou semiestruturais realizadas com recurso a resinas do tipo poliésteres

insaturados, as resinas de viniléster e as resinas fenólicas. Quando se pretende compósitos com elevada resistência recorre-se aos epóxidos, às bismaleimidas e as poliamidas [28]

2.8.2. Matrizes termoplásticas

A matriz desta família habitualmente é apresentada em forma de grão no estado sólido à temperatura ambiente e é passível de ser processada pelo binómio de calor e pressão. Vulgarmente são aplicados em processos de fabrico do tipo injeção e termoformação. É passível de reprocessamento através de ciclos de aquecimento e arrefecimento, praticamente sem perda de características, o que promove a sua facilidade em ser reciclada.

As suas características mecânicas e físicas em relação às matrizes termoendurecíveis são: melhor resistência ao impacto, melhor tenacidade e serem pouco higroscópicos. Os materiais mais vulgares são: Polipropileno (PP), Poliamida (PA), Policarbonato (PC), Poli-éter-éter-cetona (PEEK), Poliamidas termoplásticas e Polisulfureto de fenileno (PPS) [16].

2.8.3 Escolha do tipo de matrizes

A escolha do tipo de matriz a ser usada no projeto tem de ser feita com as pretensões do material a processar e com as prestações a que o composto vai ser sujeito. É ainda importante estar ciente dos custos inerentes ao processo de produção do mesmo.

As principais diferenças que auxiliam a tomada de decisão relativamente à seleção das matrizes a escolher são apresentadas na Tabela 2:

Tabela 1 - Principais diferenças entre as matrizes termoendurecíveis e as termoplásticas [38].

	Matrizes Termoendurecíveis	Matrizes Termoplásticas
Estado Físico	Viscoso	Sólido
Tempo de armazenamento	Reduzido	Ilimitado
Impregnação dos reforços	Fácil	Difícil
Obtenção de forma	Aquecimento contínuo	Aquecimento/arrefecimento
Processamento	Simple	Complexo
Ciclo de processamento	Longo (polimerização)	Curto
Propriedades Mecânicas	Boas	Boas
Resistência ao impacto	Limitada	Razoável
Resistência à temperatura	Boa	Reduzida
Durabilidade no exterior	Boa	Excepcional
Utilização dos resíduos	Não reciclável (carga)	Reciclável
Impacto ambiental	Exalação de solventes	Sem influência considerável

2.9. Propriedades mecânicas nos compósitos

Para se poder definir as propriedades mecânicas é necessário proceder a determinados processos, vulgo ensaios mecânicos que podem ser estáticos ou dinâmicos. O ensaio de materiais compósitos é tomado de grande complexidade pelo facto da difícil definição da microestrutura destes materiais.

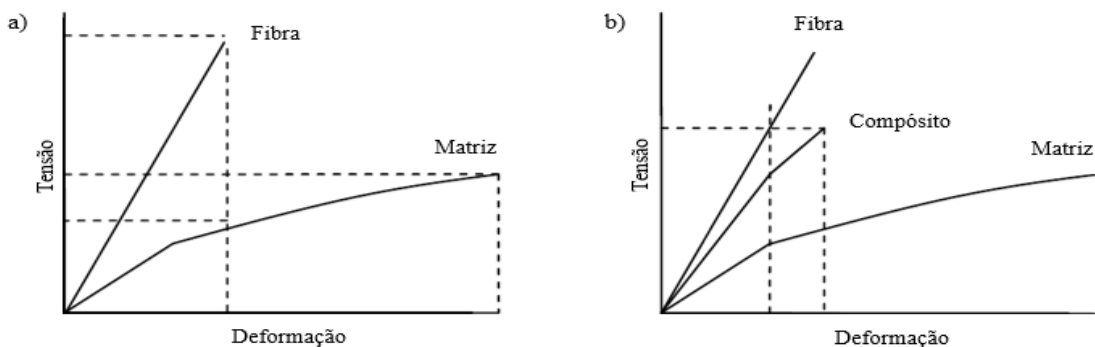


Figura 12 - Diagrama esquemático da curva de tensão/deformação: a) Fibra e matriz, b) Fibra, matriz e material compósito [38].

Os compósitos permitem combinações entre materiais com comportamentos de dureza completamente distintos. A combinação pode ser do tipo, fibras com elevado módulo de elasticidade combinada com uma matriz com uma elasticidade de baixo valor. Na figura (12a) é apresentado o esquema tipo para um binómio, matriz e fibra em termos de tensão e deformação dos materiais isoladamente. Na figura (12b) é apresentado o resultado da combinação dos dois materiais quando devidamente fundidos como compósito [38].

Das diversas baterias de ensaios a que um material é sujeito, normalmente de acordo com as especificações de projeto, podem-se determinar valores dos tipos: resistência à tração, compressão, flexão, impacto, fadiga, abrasão, dureza e tenacidade à fratura [26].

2.9.1. Considerações a ter na seleção de compósitos

As características finais dos compósitos estão dependentes de diversos fatores, nomeadamente das características dos materiais de reforço tanto as físicas como as

mecânicas, bem como a orientação das mesmas, a quantidade (Fração Volúmica de Fibra), tamanho e formato; Propriedades Mecânicas da Resina; e do interface entre a matriz e as fibras. [39].

2.9.1.1. Efeito da orientação das fibras

A orientação das fibras na matriz pode ser alinhada ou aleatória, conforme o que se pretende a nível do projeto, as fibras são escolhidas para serem solicitadas a esforços preferencialmente ao longo do seu comprimento, em detrimento da sua largura. Pode mesmo afirmar-se que a anisotropia cresce de forma mais significativa com o aumento do comprimento e com o aumento da fração volúmica de fibra [30]

Quando se consegue que o compósito seja processado de maneira a que o alinhamento das cargas seja feito no sentido das solicitações, consegue-se que o mesmo apresente resistência mecânica e módulo de elasticidade com melhores prestações contrariamente ao que acontece quando as solicitações são transversais à orientação preferencial onde as propriedades mecânicas apresentaram valores inferiores. Se as solicitações forem em direções perpendiculares, a solução do problema pode ser minimizada com o recurso a orientar as fibras por camadas com a orientação perpendicular em cada camada [30]. Na figura 13, apresenta-se um esquema genérico de como a orientação das fibras e a fração volúmica das fibras influenciam as suas propriedades de resistência.

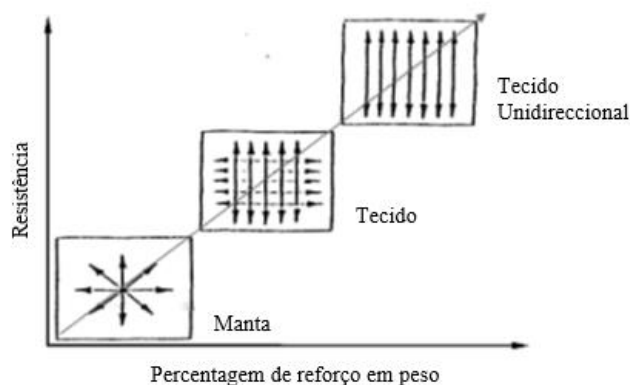


Figura 13 - Resistência dos materiais compósitos [28].

2.9.1.2. Fração volúmica de fibras

A quantidade de fibra carregada no compósito influencia o mesmo de forma muito significativa já que é a mesma que vai servir de elemento estrutural. Os compósitos que

apresentam fibras mais juntas e com menor espaço entre as mesmas são os que têm maior valor de fração de volume de fibras no laminado [40].

Para frações volúmicas maiores, as tensões aplicadas sobre o compósito são distribuídas de forma mais uniforme e o desempenho do componente mecanicamente é superior devido às cargas que foram transferidas para as fibras, explicando o porquê de o módulo de elasticidade e resistência a tração superiores [39].

O aumento da quantidade de fibra nem sempre é sinónimo de aumento da resistência do material sendo que a mesma tende a baixar de valor quando o binómio entre a fibra e a resina deixa de ser equilibrado. Isto acontece sempre que a resina deixa de facilitar a correta união entre as fibras. Este fenómeno é visível quando a resistência a tração começa a baixar de valor [30].

Em matrizes com uma baixa fração volúmica de material fibroso, em que o espaço entre fibras é muito significativo é normal observar que a matriz apresenta deformações localizadas e que estas tendem a promover a rutura da ligação matriz fibra [41].

2.9.1.3. Comprimento da fibra

As cargas aplicadas são sobre a matriz e só depois estas podem ser transferidas para os reforços, pelo que o seu desempenho no compósito é dependente de fatores como: comprimento, diâmetro, distribuição (no caso dos compósitos de fibras curtas) e a sua fração volúmica [39]. As fibras contínuas apresentam muitas vantagens sobre as fibras descontínuas, tais como a resistência ao impacto e estabilidade dimensional, mas por outro lado as fibras descontínuas proporcionam um baixo custo e são mais fáceis de processar [42].

As fibra tem características físicas associadas ao seu comprimento L e à sua secção transversal (ou diâmetro d) em que $L > d$. A relação conhecida por aspeto é o coeficiente entre comprimento e secção transversal. Este pode ser significativamente diferente entre fibras. A valores maiores da relação L/d estão associados melhores valores de resistência da fibra e conseqüentemente, melhor resistência mecânica no compósito [41].

2.9.1.4. Interface Matriz fibra

As matrizes poliméricas são caracterizadas por terem baixa densidade, resistência e estabilidade térmica. A função das cargas é melhorar estes parâmetros promovendo a melhoria da resistência mecânica, a rigidez e a tenacidade.

A transferência das cargas de solitação da matriz para os reforços é feita na zona de fronteira entre a resina e as fibras, normalmente denominada por interface. Assim uma boa adesão no interface é primordial para a transferência da carga e, conseqüentemente, para as características mecânicas do compósito.

A qualidade da adesão no interface é dependente da natureza química dos seus constituintes, os quais podem sofrer alterações na estrutura molecular durante a fase de polimerização. Os coeficientes de expansão térmica têm igualmente uma importância vital para a qualidade do compósito ao nível das prestações mecânicas, já que se durante o processo de cura os coeficientes não estiverem próximos, as expansões e contrações das fibras e das resinas ao serem diferentes, tendem a provocar cortes na zona de adesão, com conseqüência de falha prematura do componente [39].

2.10 Aplicações de materiais compósitos com fibras.

Desde o início da civilização, que fazemos uso de matérias-primas compósitas naturais nas nossas construções. Sem se contar com o controlo do fogo e da invenção da roda, a fiação foi provavelmente o avanço tecnológico mais importante da humanidade. Permitiu a sobrevivência e expansão humana por todas as latitudes do globo terrestre. O fabrico manual de tecidos flexíveis e a fiação de fibras tais como o algodão, o linho e a juta foi um importante avanço no desenvolvimento humano comparável com a utilização de peles de animais [43].

A indústria automóvel apresenta-se como principal impulsionadora para o desenvolvimento deste tipo de compósitos. Atualmente são incorporados nos automóveis vários compósitos reforçados com fibras naturais em diversos modelos. A aplicação em componentes de revestimentos internos, como por exemplo, painéis laterais, filtros acústicos, isoladores frontais, caixas de rodas, estofos e isoladores de capô, estando ainda os elementos estruturais pouco desenvolvidos [44;45]].

Em 1939-45 durante a segunda Guerra, a falta de alumínio, levou à utilização de fibras de linho impregnadas com resina de fenólica para a construção da fuselagem dos *spitfires* (Figura 14) [46].



Figura 14 - Spitfire Mk IIa, 41stSqn, RAF, 1940; <http://asasdeferro.blogspot.pt/2015/04/supermarine-spitfire.html> (12/8/17)

Durante os anos 70 e 80 do século passado as fibras sintéticas substituíram as fibras naturais, devido ao seu melhor desempenho e relativo baixo custo. Só nos últimos 15-20 anos é que as fibras naturais têm vindo a ganhar espaço, muito por causa de uma necessidade de encarar processo industrial de forma sustentada, fazendo ressurgir o seu interesse, que se reflete no aumento da sua utilização (Tabela 3) [46].

Tabela 2 - Evolução do consumo das fibras naturais na Indústria automóvel Europeia em toneladas [47].

Tipo de fibra	1996	1900	2000	2005	2010
Linho	2.100	15.900	20.000	Não estimado	Não estimado
Cânhamo	0	1.700	3.500	Não estimado	Não estimado
Juta	1.100	2.100	1.700	Não estimado	Não estimado
Sisal	1.100	500	100	Não estimado	Não estimado
Kenaf	0	1.100	2.000	Não estimado	Não estimado
Coco	0	0	1.000	Não estimado	Não estimado
Total	4.300	21.300	28.300	50.000-70.000	>100.000

De acordo com Eichlorn, as fibras de origem vegetal, são as fibras mais comercializadas, entre as quais se destacam as fibras de linho e juta (*Corchorus capsularis*) [48].

Na procura de novos materiais procura-se utilizar recursos renováveis e sustentáveis, promovendo um crescente interesse na utilização de fibras naturais em materiais compósitos. Estes materiais são tidos como de baixo custo, abundantes, provêm de fontes renováveis e não poluentes [49].

A utilização de materiais que exijam uma menor quantidade de energia na sua transformação, proporcionem uma melhor reciclagem, quer em termos de recursos utilizados, quer em termos da sua decomposição final, ganham uma importância vital [50].

São muito diversificados os exemplos de indústrias que hoje fazem uso de materiais compósitos no fabrico total ou parcial dos seus produtos, como é o caso da indústria aeronáutica/aeroespacial, indústria automóvel e naval, indústria de infraestruturas, indústria de energia eólica e petrolífera, indústria do desporto de alta competição e lazer.

Inicialmente, as aplicações limitavam a sua aplicação a componentes estruturais secundários ou a combinações com outros materiais tais como o aço, o alumínio e a madeira. Hoje, assistimos à crença crescente nas capacidades destes materiais, que se expressa na construção de estruturas para satélites, naves espaciais, automóveis, barcos, etc [51].

2.10.1. Lazer e desporto

Devido às suas características os compósitos têm ganho espaço entre os fabricantes de material de desporto. Existem vários produtos desportivos que são fabricados com materiais compósitos reforçados com fibras, tais como canas de pesca, esquis para a neve, pranchas de snowboard, raquetes de ténis, tacos de golfe, cordas, bicicletas que podem ser adaptadas às exigências de cada atleta, capacetes, pranchas de windsurf, de surf (figura 15), etc [16].

A sua utilização é potenciada pelas características intrínsecas deste tipo de materiais, em geral, o ganho no peso, ganho de rigidez e resistência, associado a um *design* mais atrativo e de acordo com as tendências atuais, devido à facilidade de moldagem.



Figura 15 - Coco Mat Sup board é uma prancha produzida a partir de fibras naturais de coco;
<http://almasurf.com> (12/08/17)

2.10.2. Indústria energética

Na indústria do fabrico dos aerogeradores, faz-se uso de madeira que é amplamente utilizada para pás de rotores pequenos (até 10 m de diâmetro). O baixo peso da madeira é uma vantagem, mas deve-se cuidar para evitar variações do teor de humidade interna, o que pode causar degradação das propriedades mecânicas e variações dimensionais, que enfraquecem a estrutura das pás e podem causar rompimentos na estrutura [52].

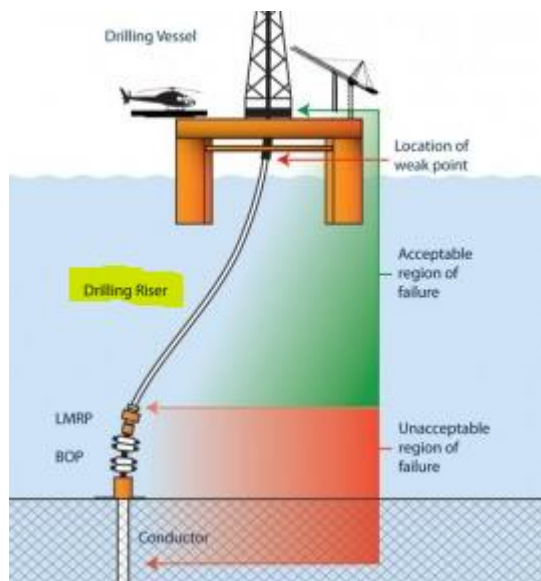


Figura 16 - Riser; <http://www.drillingcontractor.org/riser-failure-study-ids-well-control-weak-links-14604> (27/09/17)

Os “risers” são estruturas com a função de transporte de crude, desde a furação até as plataformas de exploração como se observa na imagem 16, estes têm na sua constituição materiais compósitos, por os mesmos apresentarem vantagens significativas em relação aos materiais mais vulgares na engenharia, como o aço. São mais leves, apresentam melhores características de correção, boa resistência à fadiga e um bom isolamento térmico [25]

Os compósitos de carbono têm encontrado aplicação em células de combustível como elétrodos e outros componentes estruturais, devido à sua excelente resistência à corrosão e boas propriedades térmicas e elétricas. A maioria das células modernas de combustível é baseada no uso de eletrólitos à base de ácido fosfórico como eletrólito, operando a 204°C e gerando de 200 kW a 11 MW de energia elétrica. Estas células individuais são ligadas em série formando módulos.

A aplicação dos compósitos reforçados com fibras de carbono em reatores de energia por fusão e fissão também é promissora por apresentar como características o baixo

número atômico, baixa secção de choque com neutrões, alta estabilidade térmica, não se funde, excelente resistência ao choque térmico, tolerância a danos por neutrões, baixo coeficiente de expansão térmico, alta resistência mecânica, baixo módulo de Young, resistência à erosão e baixa libertação de gases.

Os compósitos reforçados com fibras de carbono também pode ser utilizados no fabrico de cápsulas de proteção de isótopos utilizados em missões espaciais para gerar calor e eletricidade [53].

2.10.3 Indústria Construção

A indústria da construção tem desde tempos imemoriais feito uso de compósitos com fibras naturais (tijolos do antigo Egipto). Na atualidade, o uso de fibras longas tem sido opção em estruturas que se querem leves mas com boa resistência mecânica e rigidez. Na figura 17 é apresentada uma ponte onde se faz uso de matérias-primas à base de polímeros reforçados com fibras de carbono. Este tipo de construção está a ser utilizado em zonas de franca atividade sísmica como o Japão ou a Califórnia [54]

Tem-se observado que os pilares submersos de pontes em betão, apresentam vulgarmente corrosão dos reforços em aço. Para tentar minimizar o problema tem-se utilizado materiais compósitos no revestimento destes pilares.



Figura 17 - Pontes de betão utilizando arcos em Polímeros Reforçados com Fibras de Carbono;
<https://www.engenhariacivil.com/construcao-pontes-polimeros-reforçados-fibras-carbono-cfrp> (13/08/17)

2.10.4 Indústria automobilística e naval

A indústria naval é rica em exemplos de aplicações em compósitos, desde os excêntricos navios de cimento que ajudaram a ganhar a segunda grande guerra que foram usados comercialmente para o transporte marítimo de mercadorias [55] onde os cascos eram feitos como estruturas de prédios como se vê na figura 18.

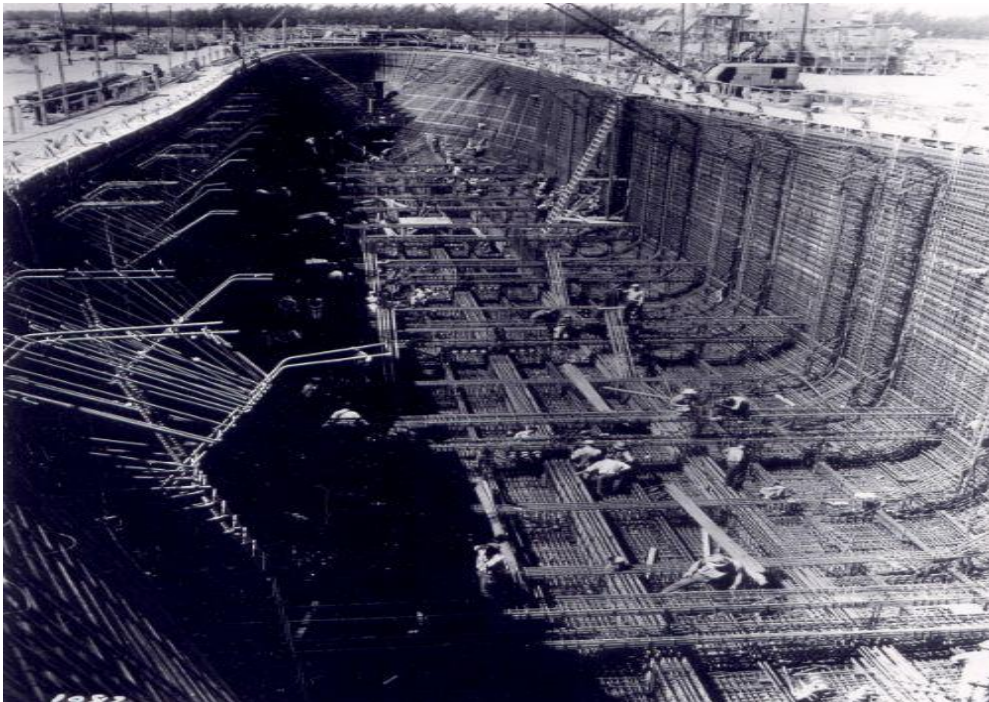


Figura 18 - Armaduras de aço cobertas por concreto davam origem aos navios [55]

A indústria automóvel tem trabalhado na procura da baixa de pesos, consumos, custos e reciclagem, apresentando um produto de qualidade nos seus automóveis. O maior problema tem-se prendido com o custo de produção face a outras soluções. A solução dos compósitos reforçados a fibra de vidro está já muito difundida nesta indústria [46]. Na Formula 1, os materiais compósitos à base de carbono passaram a ser eleitos como matéria-prima de grande aplicação como se pode ver no chassi do McLaren MP4/1C apresentado na imagem (19). Na indústria mais massificada são feitos com recurso a estes materiais componentes tão diversos como molas de lamina, painéis interiores, para-choques, guarda-lamas, carroçarias, elementos de suspensão e de transmissão e depósitos para o combustível entre outros [28].



Figura 19 - Monocoque do McLaren MP4/1C, em fibra de carbono; <http://www.formula1-dictionary.net/monocoque.html> (13/08/2017)

2.10.5. Indústria aeronáutica/espacial

Na busca de materiais de engenharia com alto desempenho a indústria aeroespacial tem desenvolvido aplicações com materiais compósitos reforçados com fibras de vidro, carbono, aramida e boro. A aviação militar tem feito uso maciço de compósitos reforçados com fibras de carbono e fibras de aramida. O helicóptero RAH-66 (figura 20) Comanche pertencente ao exército Norte-Americano utiliza compósitos reforçados com fibras de carbono em cerca de 70% da sua estrutura o que lhe permite ter um baixo peso e deixar um arrasto nos detetores muito pequeno [46].



Figura 20 - Boeing-Sikorsky RAH-66 Comanche; <http://www.techeblog.com/index.php/tech-gadget/5-interesting-facts-about-the-stealth-comanche-helicopter> (18/08/17)

A aviação civil tem sido mais conservadora no uso de materiais compósitos reforçados com fibras, devido principalmente aos custos elevados deste tipo de material e ao seu processamento. A Embraer bem como outros fabricantes vão progressivamente

transformando as suas aeronaves recorrendo a componentes compósitos como se pode ver na figura 21, onde estão apresentadas as diversas partes da aeronave Tucano fabricadas em compósito.

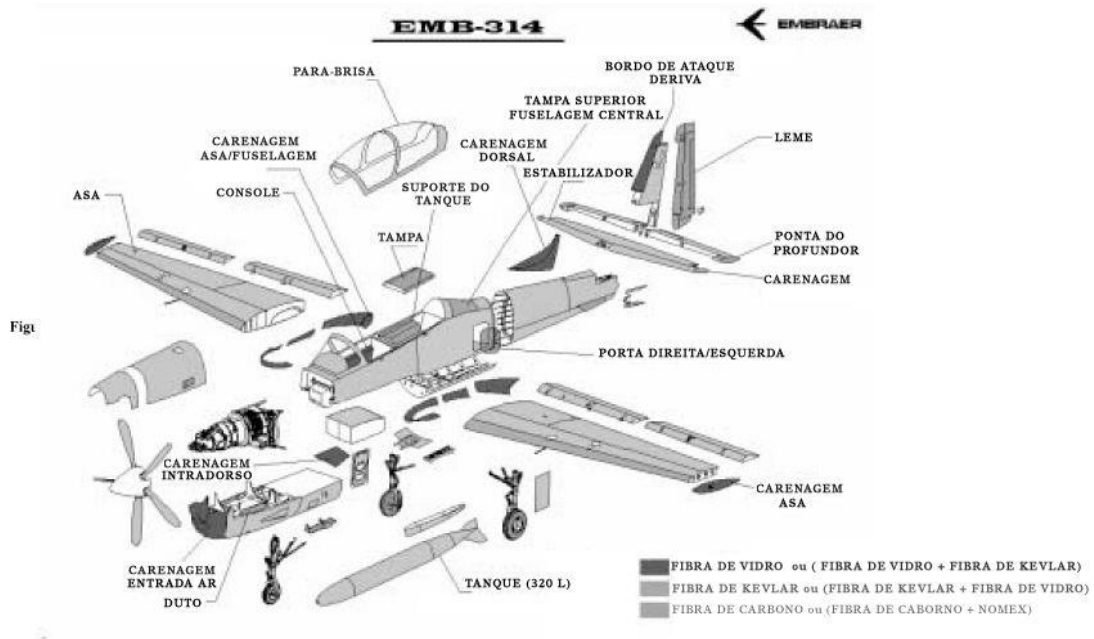


Figura 21 - aeronave Tucano produzida pela EMBRAER [53]

Na tecnologia de propulsão de foguetes que usam combustíveis sólidos, os compósitos carbono/fenólica têm um papel fundamental como suporte da garganta de tubeira em compósitos reforçados com fibra de carbono, ou seja, funcionam como protetor térmico na região de saída dos gases de queima do propelente e nas regiões anterior e posterior à garganta (Figura 22) [53].

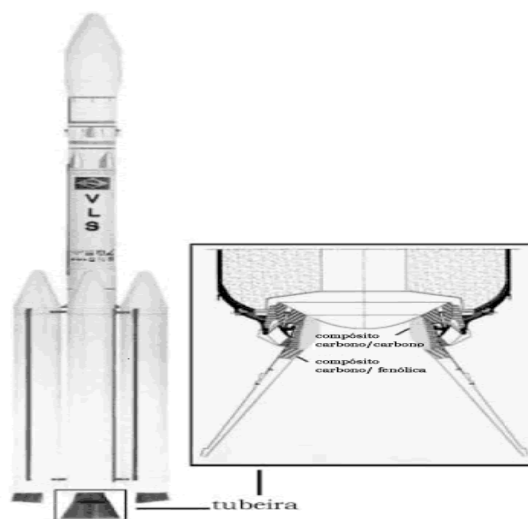


Figura 22 - esquema de uma garganta de foguete produzida pela CIA, onde tem o pormenor do uso de compósitos contendo Carbono e fenólica [53]

2.11. Processamento de materiais termoendurecíveis

Este tipo de polímeros são os mais difundidos para o fabrico de compósitos, pelo seu baixo custo, facilidade de processamento, alta resistência térmica e dimensional, sendo que os mais utilizados na matriz são as resinas epoxídica, poliéster e fenólica. O maior *handicap* de utilização são a faixa limitada de temperaturas de serviço, a baixa estabilidade térmica e dimensional, a sua degradação em ambientes húmidos e a impossibilidade de serem usados em temperaturas próximas ou acima da transição vítrea, na qual os polímeros perdem as suas propriedades físicas.

Os elastómeros, vulgarmente denominados de borrachas, apresentam propriedades que os posicionam entre os termoplásticos e termoendurecíveis, formados por moléculas lineares que estão reticuladas entre si por ligações covalentes. Com este tipo de ligações, há uma melhoria da rigidez e da resistência à temperatura.

As resinas termoendurecíveis mais utilizadas nos materiais compósitos são as epóxidas, poliéster e éster vinílico. As duas últimas são utilizadas quando se objetiva obter materiais com bons desempenhos mecânicos e uma razoável durabilidade. Não são recomendadas para aplicações em produtos que suportam aplicações exigentes, motivadas pelas contrações de cura serem significativas. Dependendo do tipo de polimerização ou reação de cura das resinas termoendurecíveis originam diferentes resinas, as epóxida e poliamida são obtidas por uma reação de adição sem produção de voláteis, enquanto as resinas fenólicas são obtidas por reações de condensação [56].

As resinas epóxidas são resinas sintéticas que abrangem inúmeras propriedades desde líquidas de baixa viscosidade sem solvente até sólidas de alto ponto de fusão, os agentes de cura ou endurecedores reagem com as mesmas originando moléculas das mais variadas composições, formando um material termoendurecíveis com excelentes propriedades mecânicas, químicas e de isolamento elétrico. Os agentes de cura são em muito responsáveis pelas propriedades finais dos produtos sintetizados.

O material termoendurecível é consequência do processo de cura das resinas epóxidas e as suas propriedades mecânicas estão dependentes deste processo, já que as moléculas epóxi em estado puro e a temperatura e pressão ambiente não tendem a reagir entre si, facilitando o seu armazenamento por elevados períodos temporais, desde que se

respeite as condições de armazenamento, nomeadamente no que respeita à baixa humidade do local. De modo a promover a reação entre as moléculas é necessário a adição de catalisadores, os quais vão promover o desenvolvimento de estruturas tridimensionais estáveis e insolúveis. A resina epóxi é a consequência da polimerização entre um bisfenol A e a Epicloridrina (esquematizado na figura 23), utilizando como catalisador o hidróxido de sódio, a relação de mistura faz com que se obtenham resultados finais com diferentes níveis de viscosidade, reatividade e flexibilidade [57].

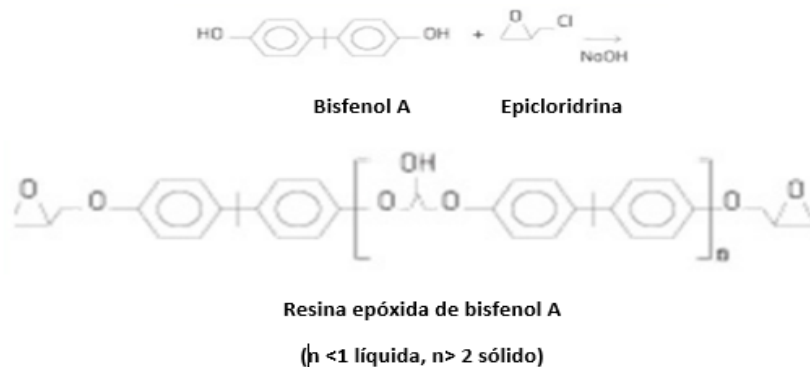


Figura 23 - Cadeia Molecular da resina epóxida adaptado [58]

A quantidade de ligações cruzadas dita de outra forma, as características de resistência química da resina, quanto maior a densidade maior será a resistência química pelo facto de dificultar a penetração de qualquer outro produto. Para além disso a temperatura de transição vítrea e a resistência mecânica também aumentam com o aumento da densidade [58].

Se compararmos as propriedades de duas resinas termoendurecíveis mais utilizadas, nomeadamente as resinas epóxidas e o poliéster, verificamos que a resina epóxida tendencialmente mais dispendiosa [59], apresenta melhor resistência mecânica e à humidade, tem menor contração durante a cura, baixa absorção de água e uma maior faixa de temperaturas de utilização. A Tabela 4 apresenta algumas propriedades mecânicas destas duas resinas.

Tabela 3 - algumas propriedades mecânicas das resinas Poliéster e Epóxida [59].

Resinas	Módulo de Elasticidade à tração [GPa]	Resistência à tração [MPa]	Extensão na Rotura (%)	Densidade [Kg/m ³]
Poliéster	2,1-4,1	20-100	1,0-6,5	1000-1450
Epóxida	2,5-4,1	55-130	1,5-9,0	1100-1300

As resinas epóxicas quando utilizadas como matriz em compósitos com cargas, apresentam inúmeras vantagens tais como: baixa contração na cura, favorecendo a precisão dimensional e o evitar de tensões residuais; boa adesão favorecida pela sua natureza polar, que facilita o leque de cargas a usar, ausência de produtos voláteis evitando a formação de bolhas no seu interior e apresenta uma estrutura reticulada, oferecendo uma excelente resistência em ambientes quimicamente agressivos. Apresenta ainda, um alto módulo de elasticidade, boa compressão e baixa viscosidade o que facilita a moldação. Apresenta como principais desvantagens, baixa aderência nas paredes do molde em que é processada e a impossibilidade de reciclagem, sendo no entanto passível de ser usada como carga.

2.12. Técnicas de processamento de compósitos

Podemos de forma grosseira dividir os processos em dois, os com o molde aberto ou fechado. No primeiro, apenas a superfície em contacto com o molde apresenta bons acabamentos, no entanto, este processo permite trabalhar com peças de grande dimensão e elevada complexidade. A emissão de produtos voláteis nocivos a saúde é muito reduzida comparativamente ao outro processo. Em contrapartida o processo de molde fechado permite ter bom acabamento em toda a peça e uma boa reprodutibilidade [60]

2.12.1. Moldação Manual

A moldação manual é um processo não automatizado e que é destinado à produção de compósitos em número reduzido. Neste método, a sobreposição e a impregnação de sucessivas camadas de reforço (sob a forma de manta ou tecido) é feito manualmente em molde aberto (figura 24). Sendo este um processo que requer elevada mão-de-obra, embora pouco qualificada, tem um peso considerável em termos de custo de produção. As principais vantagens do método são: simplicidade, reduzido investimento inicial, poucas restrições à geometria das peças a realizar (espessuras mínimas de 1mm e raios de curvatura mínimos de 5mm. As maiores desvantagens desta moldação são relativas à necessidade de uma quantidade de mão-de-obra considerável, à forte dependência da habilidade e cuidado do operário, à baixa produtividade, ao bom acabamento superficial

numa só face, ao teor de fibra heterogéneo, à necessidade de maquinação da peça para eliminação de rebarbas e ao melhoramento dos acabamentos [61].

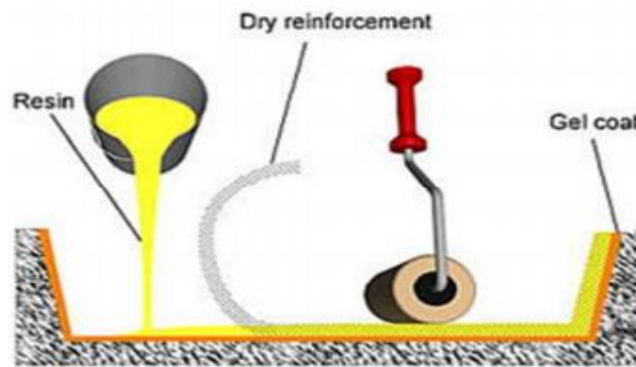


Figura 24 - Esquema da moldagem manual adaptado [37].

2.12.2. Moldagem manual por projeção

A moldagem manual por projeção, também conhecida por Spray-Up, é um processo muito semelhante ao processo anterior (Figura 24). Consiste na aplicação simultânea da resina e fibra sobre um molde, mas neste caso usando uma pistola de projeção de ar comprimido. O reforço, geralmente uma fibra, é alimentado em rolo, o qual é cortado nas dimensões pretendidas pela pistola. A camada depositada sobre o molde é compactada através da passagem do rolo, de forma a remover o ar e assegurar a impregnação das fibras de reforço. Nesta técnica também podem ser adicionadas várias camadas até obtenção da espessura pretendida (Figura 25).

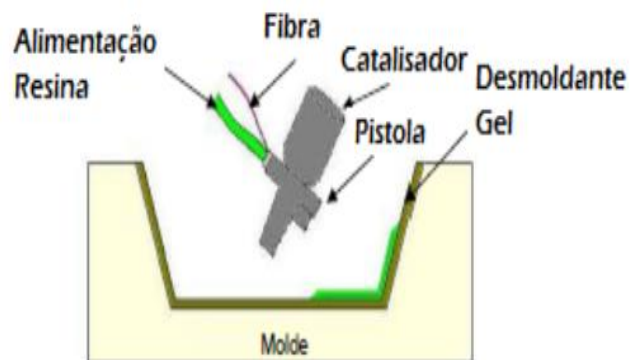


Figura 25 - Moldagem por Spray Up, adaptado [40]

A moldação por Spray Up apresenta uma maior produtividade e maior homogeneidade entre a matriz e material de reforço, quando comparado com a técnica de moldação por contacto.

Na técnica de moldação com pré-impregnados também é necessária a colocação de desmoldante no molde e só depois, é aplicado o material pré-impregnado, ou seja, a resina com o material de reforço já incorporado. A peça deverá ser submetida a vácuo, com o objetivo de reduzir a quantidade de ar presente no material e ajudar a resina a penetrar uniformemente as fibras. A cura do material deverá ser efetuada à temperatura ambiente ou em estufa, dependendo das características do material usado. Este tipo de técnica, em comparação com as anteriores apresenta algumas vantagens como obtenção de peças com maior homogeneidade e com menor quantidade de imperfeições, como poros, apesar de ser mais exigente para a mão-de-obra e na dificuldade de aplicar vácuo em peças complexas [37].

2.12.3 Moldação Manual por contacto

A moldação por contacto manual assistido por vácuo (figura 26 direita) é um complemento que visa servir de complemento a moldação manual e que consiste na aplicação de vácuo no interior do molde que previamente passou pelo processo referido anteriormente (figura 26 esquerda). Este processo permite a obtenção de duas faces lisas, redução das bolhas de ar promovidas pela mistura da resina catalisada e remoção de excesso de resina, conseguindo assim percentagens de fibra até 70%.

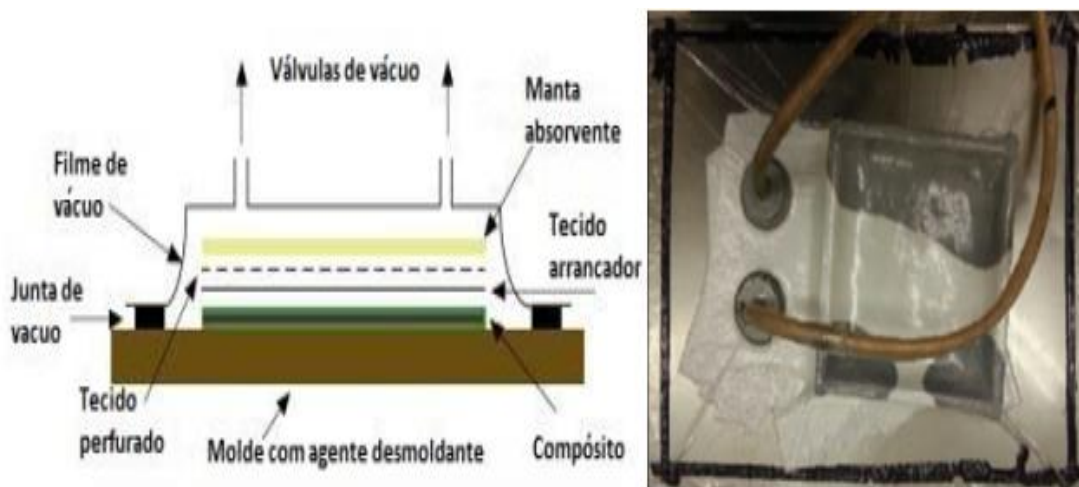


Figura 26 – (Esq.)Esquema de montagem de vácuo; (Dir.) Exemplo de saco de vácuo

2.12.3. Moldação por compressão a quente

Este processo consiste na compressão de reforços juntamente com uma matriz que é adicionada sob a forma líquida por cima do reforço (figura 27). Este processo também pode ser utilizado para a compressão de semi-produtos, como é o exemplo dos pré-impregnados. Adicionalmente ao processo de compressão a frio, neste são aquecidos o prato superior e inferior a uma temperatura desejada do processo. Devido à temperatura e pressões do processo os moldes deverão ser metálicos. O ciclo de produção depende das condições do compósito a criar, ou seja, variam com o tipo de matriz (se for termoplástica para além do aquecimento o arrefecimento deverá ser possível: forçado, rápido e sob pressão. Ou pode ser termoendurecível onde se criam ligações cruzadas definitivas na polimerização dos monómeros e estes cuidados já podem ser desprezados). As peças obtidas incorporam maiores quantidades de reforço, o que melhora as propriedades mecânicas conseguidas. As velocidades de produção, tolerâncias dimensionais e repetibilidade do processo aumentam significativamente relativamente ao processo de moldação manual [61].

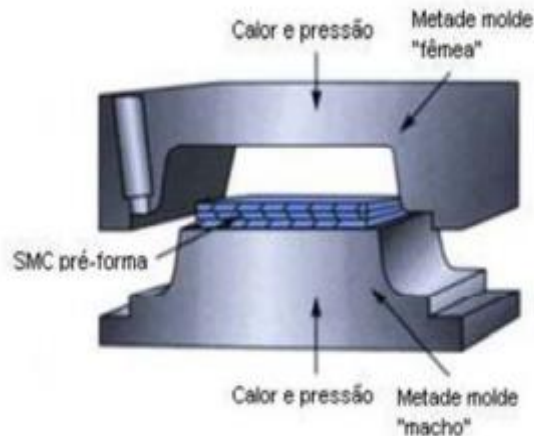


Figura 27 - Esquema do processo de fabrico por compressão a quente [61].

2.12.4. Moldação em autoclave

O processo de moldação em autoclave consiste em consolidar um componente pré-formado através da aplicação simultânea de temperatura, pressão e vácuo (figura 28 direta). É um processo utilizado para produção de componentes em pouco número, devido à morosidade na moldação, estando os mesmos sujeitos aos mais exigentes requisitos de

desempenho mecânico e qualidade, como se verifica na indústria aeronáutica e no desporto automóvel. Permite a produção de peças de grandes dimensões, geometria complexa com elevada qualidade e excelentes propriedades mecânicas, devido à elevada fração volúmica de reforço. Numa primeira fase procura-se baixar a viscosidade da resina para eliminação de voláteis e promover o fluxo de resina, de modo a garantir teores de fibra elevados e homogêneos. A aplicação de vácuo no molde é decisiva para eliminação de porosidades e aumentar a adesão das fibras à matriz. A etapa seguinte é a cura e consolidação do componente, na qual a pressão desempenha papel mais relevante [61].

A lista de consumíveis para o processo de moldação em autoclave é extensa (Figura 28 esquerda): Agente de desmoldagem: permite a libertação do pré-impregnado dos moldes no fim do processo; Teflon poroso: camada opcional que permite o escoamento do excesso de resina e voláteis durante a cura. Pode ser removido facilmente após a cura para proporcionar uma superfície de ligação ou para pintura; Tecido absorvente: normalmente feito de tecido de vidro que tem como objetivo absorver a matriz em excesso. O fluxo da matriz pode ser regulado pela quantidade de tecido por forma a produzir compósitos com um volume de fibra conhecido; Filme de desmoldagem: esta camada impede a propagação da matriz, permitindo apenas a passagem de ar e voláteis para a camada de respiro acima; Tecido de respiro: proporciona os meios para a aplicação do vácuo e auxilia na remoção do ar e voláteis de todo o conjunto. São necessários respiradores mais grossos quando são utilizadas pressão de processo elevadas; Saco de vácuo e selante: fornece um saco selado para permitir a remoção do ar e a conseqüente formação de vácuo. Normalmente é uma película de Nylon e a vedação nas bordas é garantida pela aplicação de tiras de silicone [62].

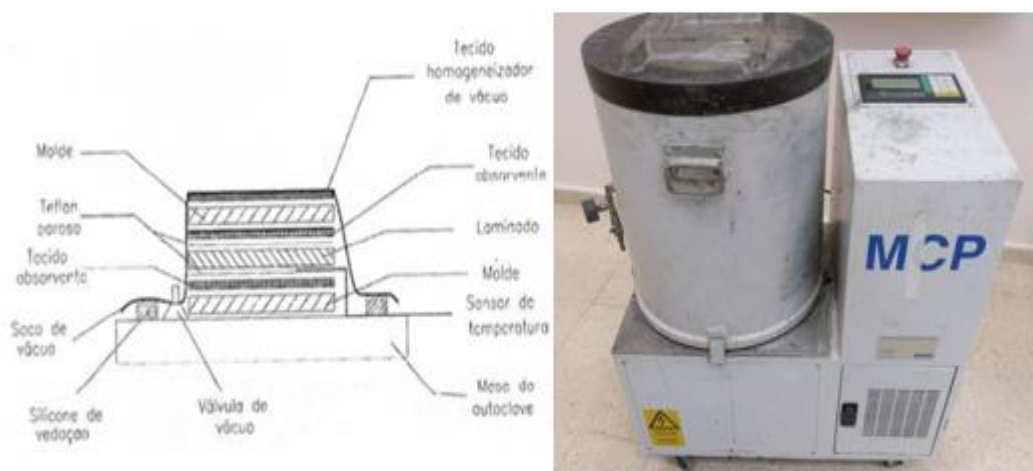


Figura 28 - (Esq.) Representação esquemática da obtenção de um laminado através do processo de moldação em autoclave [62].; (Dir.) autoclave existente na oficina de prototipagem rápida

2.12.5. Moldação mistura e vazamento a vácuo

A mistura e vazamento a vácuo é o processo mais utilizado no processamento dos materiais compósitos reforçados com partículas, podendo também ser adicionado fibras à matriz. Esta técnica de processamento não requer equipamentos dispendiosos, quando comparados com outros processos, mas carece de elevada quantidade de mão-de-obra, o que pode dificultar o processamento dos materiais e encarecer o processo. Este processo é utilizado para a produção de estruturas de pequenas ou grandes dimensões, em pequenas séries, onde o vácuo é o elemento fundamental do processo. Para isso é necessário a utilização de uma bomba de vácuo, que dependendo da dimensão da estrutura ou peças terá de ser adequado à dimensão da peça a produzir. A mistura das partículas com o material da matriz deverá ser realizada de forma manual ou semiautomática (misturadora), na presença de vácuo. De seguida, ocorre o vazamento no molde (que deverá ser revestido com desmoldante para facilitar a extração da peça) e a cura do material deverá ser efetuada na presença de vácuo. O vácuo é utilizado neste processo por duas razões, para garantir uma boa compactação entre os materiais usados na matriz e reforço e para assegurar que todos os espaços vazios entre a matriz e as partículas (e/ou fibras) são preenchidos. O processo apresenta como vantagens a rapidez de processamento, facilidade de preparação e manuseamento dos materiais [63].

2.12.6 Moldação por transferência de Resina (RTM)

O processo de RTM pertence aos processos designados de processos de molde fechado onde, neste caso, é possível executar componentes com frações volúmicas de fibra na ordem dos 60%. O processo consiste na colocação do reforço na cavidade do molde, que seguidamente é fechado com a outra metade do mesmo, para posteriormente, com recurso a pressão, ser injetada a mistura composta por resina, cargas, catalisador e outros possíveis compostos, como podemos verificar na figura 29. De seguida inicia-se o processo de cura no interior do molde que tem uma duração de 6 a 30 minutos, em função dos parâmetros de processamento selecionados, tais como, catalisador, temperatura, materiais, entre outros.

O RTM possibilita o processamento de componentes próximos da sua forma final com bom acabamento nas duas superfícies, pelo facto de ser um processo de molde fechado. Este processo comparativamente com o processamento por injeção e por compressão, permite a utilização de reforços nos mais variados formatos e assim criar componentes estruturais. Permite produzir componentes com custos inferiores pelo facto dos custos das ferramentas serem menos dispendiosos. Neste processo temos como variáveis o fluxo de resina, o processo de cura e a transferência de calor [63].

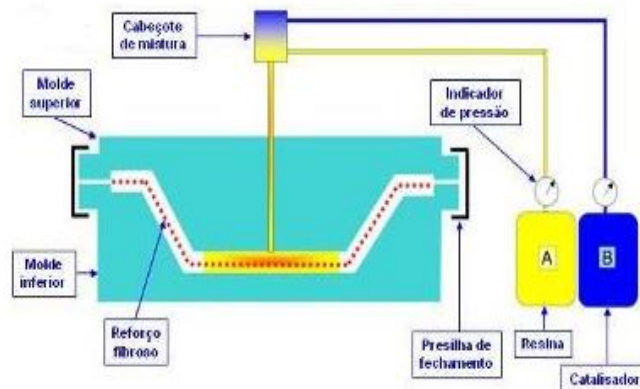


Figura 29 - Esquema simplificado da moldagem por transferência de resina ;
http://www.ufrgs.br/lapol/projetos/procad_arquivos/projeto0303054.htm (20/08/17)

2.13 Furação

Na indústria aeronáutica, bem como noutras indústrias, nas quais se utilizam operações de maquinação, a furação é uma das operações frequentemente utilizada para proceder à fixação de placas de materiais compósitos, bem como é uma técnica para facilitar reparações estruturais.

Os principais defeitos causados pelas operações de furação são: danos à entrada do furo, defeitos de circularidade, danos causados pela temperatura na parede do furo e delaminação na saída do furo. De entre os defeitos listados, a delaminação parece ser o mais crítico [64].

O processo de furação é geralmente uma operação final, qualquer defeito durante esse processo conduz a rejeição da peça. Na indústria aeronáutica, a delaminação durante a furação é responsável por 60% de rejeição de peças [65]. O impacto económico é significativo, devido ao custo de processos anteriores. Além disso, o tempo gasto com a

furação é o maior entre as operações executadas com ferramentas de arestas de corte com geometria definida [66].

Baseada na experimentação de operações furação em placas de material compósito, tem-se tentado estabelecer a relação entre a velocidade de corte e o avanço sobre a delaminação, assim como a influência do material de reforço no resultado final da furação. Os autores concluíram que o avanço é o parâmetro de corte que apresenta estatisticamente maior influência sobre a delaminação [67].

Num estudo de 1998, os autores afirmam que as definições da faixa de velocidade de HSM variam substancialmente conforme se muda de um tipo de processo de fabrico para outro. Por exemplo, se no caso da fresagem uma aplicação de HSM envolve uma velocidade de corte da ordem de cinco a dez vezes maior que a velocidade convencional, o dobro da velocidade convencional já é suficiente para que os processos de furação e roscagem [68].

Com o objetivo de identificar condições de operação que garantissem furos livres de defeitos. Foi elaborado um conjunto experimental de ensaios. Os mapas produzidos para a furação de compósitos de reforçados com fibras de carbono indicaram que o emprego de altas velocidades de rotação associadas a baixos valores de avanço assegura a produção de furos sem delaminação e com baixa rugosidade [69].

Podemos concluir de forma grosseira, que os processos de maquinação de materiais compósitos é um tema muito pouco explorado, e que em algumas situações os resultados de pesquisas mostram-se contraditórios [64].

2.14. Ferramentas de corte

Desde o princípio dos tempos, o homem vem utilizando os mais diversos materiais como ferramentas de corte. O desenvolvimento dos materiais para essa aplicação específica iniciou-se praticamente quando o homem conseguiu extrair o ferro de minério, seguido pelo aparecimento de técnicas de adição de elementos de liga ao aço e, mais recentemente, por inovações na área de desenvolvimento de novos materiais e em processos de fabricação para ferramentas de corte.

Uma ferramenta de corte deve possuir as seguintes propriedades: resistência ao desgaste e boas propriedades mecânicas e térmicas, sob elevadas temperaturas; resistência ao choque térmico e impacto; alta dureza e baixa afinidade química. A melhor ferramenta não é necessariamente a que apresenta maior vida, ou seja, aquela que apresenta melhor relação custo-benefício, e sim a que mantém certa confiabilidade durante todo o processo. Ezugwu e Wallbank, afirmam que a ferramenta ideal de corte deve possuir a dureza do diamante natural, a tenacidade do aço e a inércia química do óxido de alumínio [70].

Não existe uma classificação geral de materiais para ferramentas. No entanto, a figura 30 mostra os principais grupos de materiais para ferramentas de corte

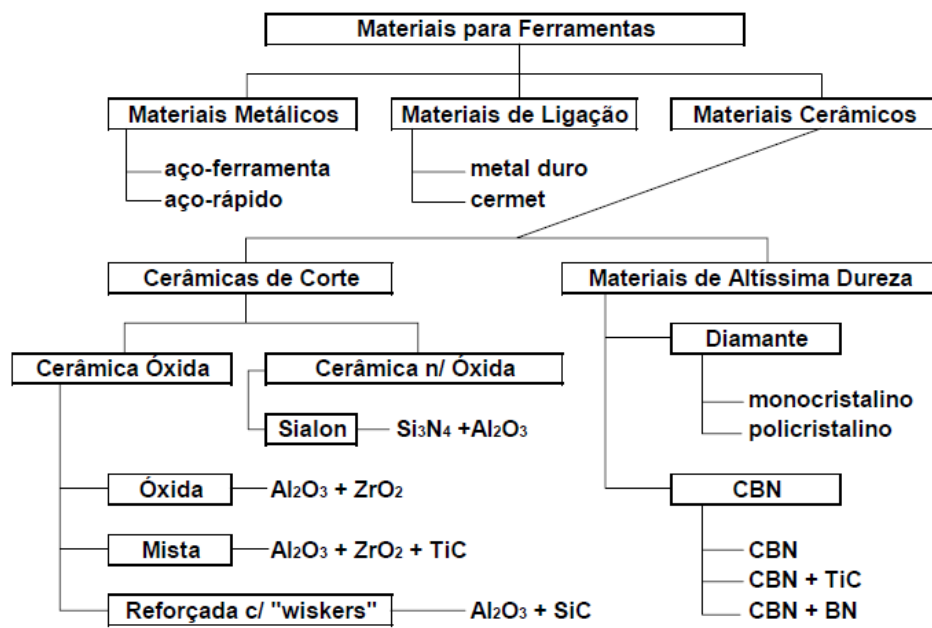


Figura 30 - Materiais para ferramentas de corte [74]

A tabela 5 apresenta as propriedades mecânicas dos seguintes materiais: aço rápido, metal duro, alumina branca – $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$, alumina mista - $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC} + \text{ZrO}_2$, alumina reforçada com whisker - $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiC}$, e alumina de nitreto de silício ou Sialon – $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Al}_2\text{O}_3$, CBN e PCD para ferramentas de corte.

Tabela 4 - Propriedades dos materiais empregados em ferramentas de corte, conforme [71]

Propriedades/ Material	HSS	Metal Duro	Alum. Branca	Alum. Mista	Alum. SiC.	CBN	PCD
Dureza a 25°C (HV)	850	1600	1700	1900	2000	4000	>8000
Dureza a 1000°C (HV)		400	650	800	900	1800	
Tenacidade a Fratura (MPa)	17	13	1.9	2	8	10	7.9
Condutividade Térmica (W/m°C)	37	85	8 a 10	12 a 18	32	100	560
Módulo de Young (kN/mm ²)	250	580	380	420	390	680	841
Coef. de Expansão Térmica (x10)	12	5.5	8.5	8	6.4	4.9	3.8

O aparecimento de novos materiais para ferramentas de corte seguiu o seguinte princípio: controlo das propriedades mecânicas (principalmente dureza e tenacidade) e desenvolvimento de geometrias mais complexas que atendessem às necessidades dos processos de fabricação. A figura 31 ilustra como os grupos de ferramentas se agrupam de acordo com a dureza e a tenacidade. Independentemente dos desenvolvimentos dos materiais de corte, o revestimento das ferramentas oferece a possibilidade de se separarem as propriedades da camada superficial das propriedades do material de base e, assim, poder combinar-se livremente essas propriedades. Com isso, mecanismos de danos mecânicos, como fadiga de material, escoamento e deformação plástica, podem ser suprimidos com materiais de base otimizados. Outros mecanismos de danificação como a aderência, abrasão e difusão, podem ser suprimidos com revestimentos superficiais adequados [72].

Portanto, o revestimento de ferramentas tornou-se um fator indispensável na moderna tecnologia de produção, onde o objetivo é a alta produtividade. Atualmente, podem ser observadas duas importantes tendências na tecnologia de fabrico: as altas velocidades de corte e a maquinação a seco, as quais não podem ser adotadas corretamente sem o emprego de revestimentos modernos. Em algumas áreas, essas tendências tornam-se até mesmo inviáveis sem o uso de revestimentos que, em muitos casos, proporcionam aumentos diferenciados e mesmo extremos da vida das ferramentas também na maquinação convencional. Esse fato ainda é decisivo para se difundir a utilização da tecnologia de revestimento em ferramentas de corte (figura 32) [73].

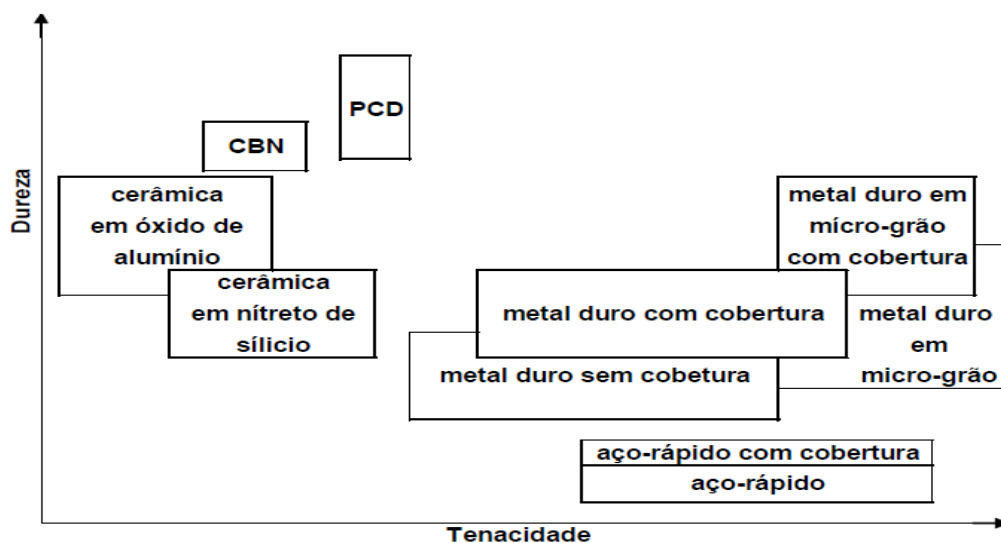


Figura 31 - Esquema das propriedades dos materiais para ferramentas de corte, adaptado; <http://usinagemsemsegredos.blogspot.pt/2010/10/ferramentas-de-corte.html> (27/08/2017)



Figura 32 - Ferramenta de Titânio nitreto revestido de aço; <http://www.dx.com/pt> (29/09/17)

2.15. Esforços de corte no processo de maquinação

O conhecimento sobre o comportamento e as ordens de grandeza dos esforços de corte em operações de maquinação é de primordial importância, já que os mesmos influenciam a potência necessária à operação, a capacidade de obtenção de tolerâncias mais ou menos apertadas dimensionalmente, a temperatura de corte e desgaste da ferramenta.

Existem pelo menos duas abordagens distintas na interpretação dos esforços de corte: A primeira baseada na teórica, partindo do conhecimento sobre a tipologia da formação das aparas. Através de algumas simplificações, como a suposição de que o corte é ortogonal (corte com componentes somente em duas direções), o cálculo dos esforços ocorrem em torno do plano de corte do cavaco e da superfície de saída da ferramenta. A segunda abordagem é fundamentada nos conhecimentos empíricos e nela as solicitações ao corte são equacionadas a partir de valores obtidos de procedimento experimental.

As forças de maquinação devem ser consideradas como a ação da peça sobre a ferramenta. A força total resultante que atua sobre a área de cunha cortante durante o processo de corte é vulgarmente conhecida por força de corte. Pela dificuldade em definir convenientemente a direção e o sentido da força de corte, torna-se extremamente difícil

conseguir quantificá-la corretamente. Perante isto, normalmente não se trabalha com a força de corte propriamente dita, mas com as suas componentes segundo direções conhecidas [75].

2.16. Influência dos parâmetros de corte na furação.

De modo a compreender a relação entre os diversos parâmetros: velocidade de corte, avanço, força e pressão de corte, em 2004 foi publicado um trabalho [74] em que os investigadores efetuaram diversos furos em placas de resina com fibra de vidro fazendo uso de dois tipos de brocas distintas (Stub Length e Brad & Spur) mostradas na figura 33.

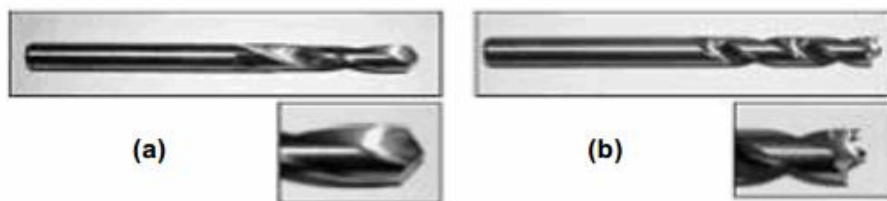


Figura 33 - Brocas: (a) Stub Length e (b) Brad & Spur, usadas na pesquisa [74]

Os investigadores concluíram que a força de avanço (figura 34 dir.), sofre grande influência do avanço no caso de serem utilizadas duas brocas mas que a velocidade de corte é pouco significativa. Assim como, também concluíram, que a (figura 34 Esq.) que a pressão específica de corte em função do avanço é fortemente influenciada pela velocidade de avanço sendo o parâmetro velocidade de corte pouco significativo nos resultados obtidos [76].

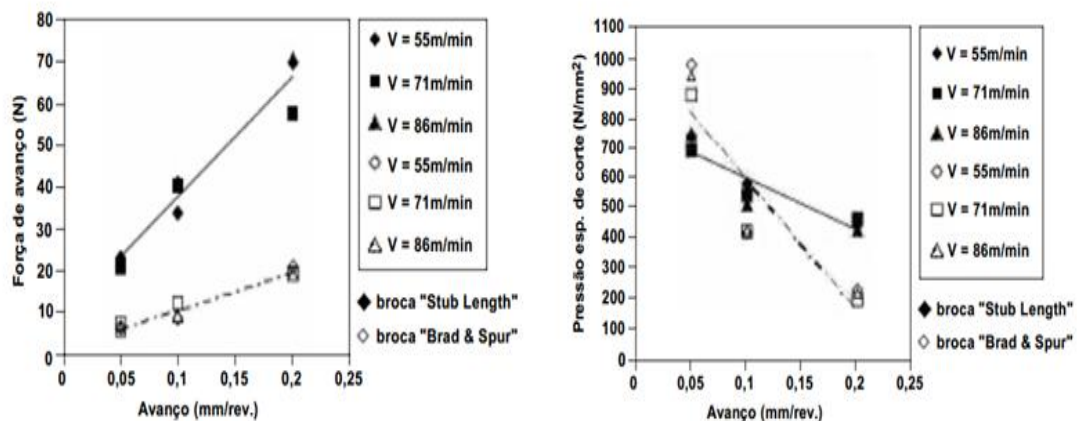


Figura 34 - (Esq.) Influência da velocidade de corte e avanço sobre a força de avanço; (Dir.) Influência da velocidade de corte e avanço sobre a pressão de corte (adaptado de 76)

2.17. Propriedades térmicas

Quando queremos estudar as propriedades térmicas de um material podemos fazê-lo através da termologia ou da termodinâmica. A termologia é o ramo da física que estuda as transferências de energia, entre corpos materiais causadas por diferenças de temperatura. O objetivo desta ciência não consiste em meramente explicar como esta energia é transferida mas sim explicar as condições de inter-relação e quais as taxas de transferência num objeto. Já a termodinâmica estuda os sistemas em equilíbrio, calcula a quantidade de energia necessária para que um sistema transite do estado de equilíbrio estável a outro estado. No entanto, esta ciência não consegue quantificar especificamente a velocidade dessa mudança de estado, em virtude do processo não se dar com o sistema em equilíbrio. Qualquer processo experimental pode ser regido pela primeira e segunda lei da termodinâmica. É através destas leis, onde se compreendem as taxas de transferência de energia de modo a entender como ocorrem as relações de transferência de calor reais [77]

2.17.1. Transferência de calor por condução

Um corpo que apresente uma temperatura que não seja uniforme, tende a promover uma transferência de energia das regiões com mais elevada temperatura, para regiões de menor valor. A energia é transferida por um processo de condução e a taxa de transferência de calor por unidade de área é proporcional ao gradiente normal de temperatura, conforme a equação.

Equação 1

$$\frac{q}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x}$$

Quando se insere a constante de proporcionalidade

Equação 2

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

Onde q é a taxa de transferência de calor e $\partial T/\partial x$ é o gradiente de temperatura na direção do fluxo de calor. A constante positiva k é chamada condutividade térmica do material, sendo o sinal de menos inserido para satisfazer o segundo princípio da

termodinâmica, ou seja, o calor deve fluir no sentido da temperatura decrescente, como indicado no sistema de coordenadas da Figura 35 [77]

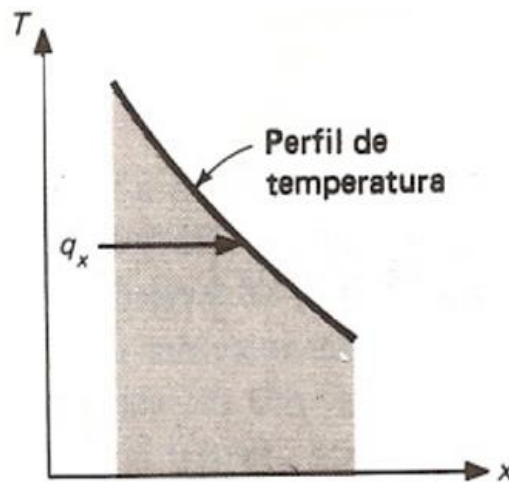


Figura 35 - Esquema que mostra a direção do fluxo de calor [77]

A Equação (2) é conhecida por lei de Fourier da condução de calor, define a condutividade térmica em que k tem unidade de watt por metro por grau Celsius num sistema de unidades onde o fluxo de calor é expresso em watts.

2.17.2. Transferência de calor por convecção

É do conhecimento geral que um metal arrefece mais rapidamente de estiver sobre a influência de um fluxo de ar do que se não houver movimento do ar. Este processo é referenciado por transferência de calor por convecção. Se uma placa aquecida estiver exposta ao ar ambiente sem uma fonte externa de movimentação do fluido, o movimento do ar será devido aos gradientes de densidade nas proximidades da placa. Esta convecção é chamada natural ou livre em oposição à convecção forçada, que ocorre no caso de se ter um ventilador movimentando o ar sobre a placa. Os fenômenos de ebulição e condensação são também agrupados dentro deste assunto de transferência de calor por convecção.

O termo convecção fornece uma noção intuitiva em relação ao processo de transferência de calor; no entanto, esta noção intuitiva deve ser ampliada para que se possa conseguir um tratamento analítico adequado do problema. Por exemplo, sabemos que a velocidade do ar sobre a placa aquecida influencia a temperatura, bem como o tipo de metal da placa, conforme se observa na figura 36, com a condutividade térmica típica de alguns metais vulgares em aplicações de engenharia.

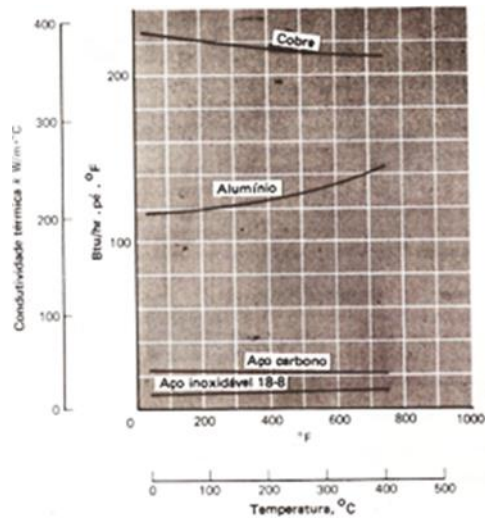


Figura 36 - Condutividades térmicas de alguns sólidos típicos [77]

Considerando a placa aquecida ilustrada na Figura 37, a temperatura da placa é T_p e a temperatura do fluido é T_∞ . podemos dizer que nesta figura (37) está representado o comportamento da velocidade do escoamento quando este se reduz a zero na superfície da placa como resultado da ação viscosa.

Como a velocidade da camada de fluido junto à parede é zero, o calor deve ser transferido somente por condução neste ponto. Assim, devemos calcular o calor transferido, usando a Equação (2), considerando a condutividade térmica do fluido e o gradiente de temperatura junto à parede. Acresce que o gradiente de temperatura junto à parede depende do campo de velocidade. Deve ainda salientar-se que o mecanismo de transferência de calor na parede é um processo de condução [77]

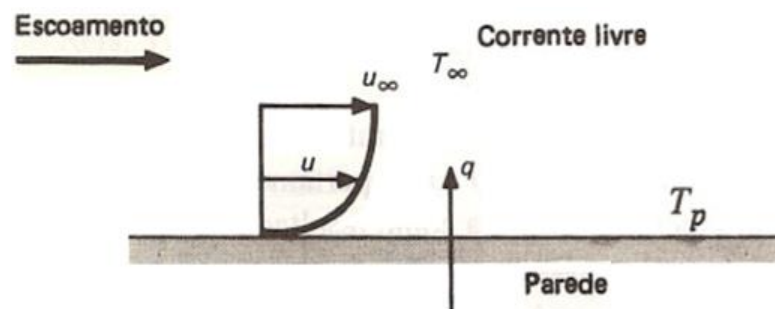


Figura 37 - Transferência de calor por convecção de uma placa [77]

O efeito global da convecção pode ser expresso através da lei de Newton para o aquecimento /arrefecimento de um corpo

$$q = hA (T_p - T_\infty)$$

Onde q é a taxa de variação da temperatura, T_p é a temperatura e T_∞ é a temperatura ambiente(ou do fluido).

Nesta equação a taxa de transferência de calor é relacionada com a diferença de temperatura entre a parede e o fluido e com a área superficial A . A quantidade h é chamada de coeficiente de transferência de calor por convecção. Para alguns sistemas é possível o cálculo analítico de h . Para situações complexas a determinação é experimental. O coeficiente de transferência de calor é algumas vezes chamado de condutância de película devido à sua relação com o processo de condução na fina camada de fluido estacionário junto à superfície da parede. Através da equação (3) entende-se bem porque é que a unidade de h é dada em watt por metro quadrado por grau Celsius, quando se assume que o fluxo de calor está em watt. A transferência de calor por convecção irá exibir uma dependência da viscosidade do fluido além da sua dependência das propriedades térmicas do fluido (condutividade térmica, calor específico, densidade). Isto é esperado porque a viscosidade influencia o perfil de velocidade e, portanto, a taxa de transferência de energia na região junto à parede [77].

2.17.3. Transferência de calor por radiação

Contrariamente aos mecanismos anteriores (condução e convecção), em que a energia é conduzida através de um meio natural, o calor também pode ser transferido em regiões onde existe o vácuo perfeito.

Considerações termodinâmicas mostram que um radiador ideal emite energia numa taxa proporcional à potência quarta da temperatura absoluta do corpo. Quando dois corpos trocam calor por radiação, a troca líquida de calor é proporcional à diferença em T^4 . Sendo este fenómeno quantificado pela equação 4.

$$q = \sigma A (T_1^4 - T_\infty^4)$$

Onde σ é a constante de proporcionalidade (constante de Stefan-Boltzmann que vale $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \times \text{K}$). A equação (4) também chamada de Lei da radiação térmica só é válida para situações de radiadores perfeitos ou corpos negros. Outros tipos de radiação

eletromagnética carecem de cálculos muito mais complexos. Um corpo negro é um corpo que emite energia de acordo com a lei T^4 . Tal corpo é denominado negro porque superfícies negras, como um pedaço de metal coberto por negro de fumo, se aproximam deste tipo de comportamento. Outros tipos de superfícies, como uma superfície pintada ou uma placa metálica polida, não emitem tanta energia, quanto o corpo negro; entretanto, a radiação total emitida por estes corpos ainda é proporcional a T^4 . De modo a se poder compreender o comportamento dos corpos que não se inserem no grupo dos radiadores perfeitos é introduzido outro fator na equação (4), a emissividade ϵ , que relaciona a radiação de uma superfície não negra com a de uma superfície negra ideal. Além disso, devemos levar em conta que nem toda a radiação que deixa uma superfície atinge outra superfície, uma vez que a radiação eletromagnética se propaga segundo linhas retas havendo perdas para o ambiente. Pelo que a equação (4) é reescrita como:

Equação 5

$$q = F_{\epsilon} F_G \sigma A (T_1^4 - T_{\infty}^4)$$

Onde F_{ϵ} é a função emissividade e F_G é a função "fator de forma" geométrico. O fenómeno da transferência de calor por radiação pode ser muito complexo e os cálculos raramente são tão simples como o indicado pela equação (5) [77].

2.18. Propriedades Acústicas.

As ondas sonoras propagam-se com diversas frequências, contudo a capacidade do ouvido humano restringe a que o mesmo só interprete sons compreendidos nas frequências entre 20 Hz e 20 000 Hz. A Figura 38 ilustra os sons sensíveis ao ouvido humano.

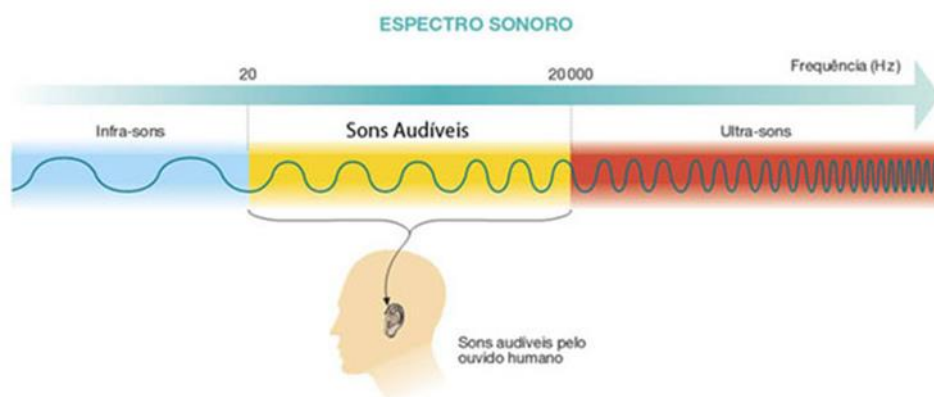


Figura 38 - Sons sensíveis ao ouvido humano ; www.aulas-fisica-quimica.com/8f_07.html (13/09/17)

A receção do som pelo ouvido é maioritariamente feita através do ar, sendo este o responsável pela propagação da onda, pelo que se entende facilmente o facto do som se transmitir com maior facilidade a baixas altitudes, onde o ar é mais denso ao contrário do ar mais rarefeito, característico de grandes altitudes, em que o mesmo apresenta as moléculas gasosas mais afastadas umas das outras, dificultando a transmissão da energia cinética da onda de molécula em molécula, dificultando a propagação da mesma. Este fato explica facilmente o porquê de não existir transição de som no vácuo, já que o mesmo carece de meios materiais para se difundir. De modo grosseiro é assumido que os sólidos, são melhores condutores de som que os líquidos, e estes são mais eficazes que os gases. Na tabela 6 são apresentados alguns valores de velocidade de propagação do som em alguns materiais.

Tabela 5 - Velocidade de propagação do som a 25°C em diferentes materiais [7]

Meio físico	Velocidade (m/s)
Ar	340
Água	1498
Ferro	5200
Vidro	4540

A energia elementar de um som é conhecida como o seu nível de pressão de som, a unidade de medida é o decibel (dB). O valor de 1 dB corresponde à menor alteração do nível de som que normalmente pode ser detetada pelo ouvido humano. Para a maior parte dos humanos saudáveis, 10 dB representa o valor mínimo para se proceder à audição e 120 dB o limiar da dor [78], na figura 39, estão representados é diferentes níveis sonoros de sons comuns, quantificados em dB.

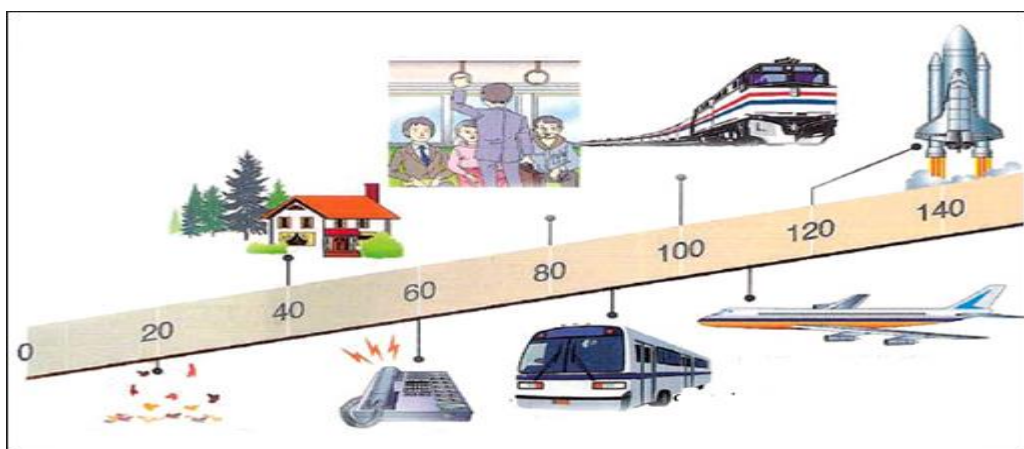


Figura 39 - Nível sonoro em dB de sons comuns; <https://saudesemgluten.blogspot.pt/2012/04/como-o-ruído-afeta-sua-saude.html> (22-09-17)

3. Materiais e Procedimentos Experimentais

Neste capítulo são apresentados em três secções os diferentes materiais utilizados no processamento das placas em material compósito com diferentes frações mássicas de fibras naturais, as técnicas de processamento utilizadas, o equipamento e as normas de ensaios consideradas nos ensaios de densidade e nos ensaios de flexão. São também apresentados os procedimentos considerados na realização dos ensaios de avaliação térmica e acústica.

3.1. Materiais: matriz e fibras naturais

No processamento das diferentes placas em material compósito foi utilizada a resina **SR GreenPoxy 56** e diferentes frações de fibras naturais: Juta, Sisal e Ráfia. Na tabela 7 pode-se observar as composições dos diferentes materiais compósitos processados.

Tabela 6 - Materiais compósitos processados com diferentes frações mássicas de fibras naturais

Materiais compósitos	Fibras naturais wf [%]	Resina SR GreenPoxy 56 wf [%]
R1	Rafia 10	90
R2	Rafia 20	80
R3	Rafia 40	60
J1	Juta 10	90
J2	Juta 20	80
J4	Juta 40	60
S1	Sisal 10	90
S2	Sisal 20	80
S4	Sisal 40	60
C		100

3.1.1 Resina Epóxida utilizada no processamento dos compósitos

Os materiais utilizados para o processamento das placas foram os seguintes resina SR GreenPoxy 56 e fibras naturais que vão servir de reforço: Juta, Sisal e Ráfia. A relação de mistura da resina (resina e endurecedor) foi de 100/42 (2/1 em volume). A viscosidade da mistura a 20°C (resina) é de 1400 ± 300 (cps ou MPa.s) e a densidade a 20°C é de 1.198

g/cm³. A temperatura de transição vítrea (T_g) varia entre 80 a 100°C, função do tratamento de pós cura.

O tratamento de pós cura, recomendado pelo fabricante [79], para todas as placas processadas, foi o seguinte: ciclo de 24h a 23°C, ciclo de 4 h a 40°C e ciclo de 8 horas a 60°C.

3.1.2 Fibras naturais utilizadas no processamento dos compósitos

Juta

A juta é das fibras naturais mais baratas do mercado e tem como principal vantagem a sua boa resistência mecânica. Apresenta, também, uma significativa resistência ao desgaste, exemplo disso é o tempo de vida dos sacos de sarapilheira (figura 40 direita) usados nas atividades agrícolas [30]. Estas fibras apresentam comprimentos entre 1 e 4 metros, e têm diâmetros médios compreendidos entre 0.002 e 0.015mm [46]. Os principais produtores destas fibras naturais são a Índia, Bangladesh, China, Nepal, Myanmar, Brasil (figura 40 Esquerda) e Tailândia (cerca de 95% da produção mundial) [51].



Figura 40 - (Esq.) cultura da planta da juta no brasil; (Dir.) Saco de sarapilheira; www.fuchic.com.br/single-post/2015/07/07/Juta-a-fibra-de-mil-utilidades- <http://www.wildfibres.co.uk/html/jute.html> (11-9-17)

Sisal

As fibras de sisal são muito utilizadas e são responsáveis por cerca de metade da produção total de fibras têxteis (figura 41). Estas fibras são extraídas das folhas de Sisal

apresentam comprimentos entre 1 a 1,5m, secções transversais arredondadas, com diâmetros médios compreendidos entre os 0,1 e 0,3mm [80]. As fibras de Sisal podem ser denominadas de fibras estruturais pois estas têm como função dar sustentação e rigidez às folhas da planta de sisal [81]. A resistência à tração das fibras de sisal não é uniforme ao longo das mesmas. As regiões mais próximas das raízes da planta apresentam uma menor rigidez e resistência quando comparadas com as regiões superiores desta [80]. Atualmente, os maiores produtores e exportadores mundiais de fibras de sisal são o Brasil e a Tanzânia [82;83], sendo responsáveis por 51% da produção mundial, seguido por outros países tais como a China (15%), Venezuela e Madagáscar (4%, cada) [84]. O sisal tem folhas rígidas, lisas, verdes, com cerca de 8 a 10 cm de largura e 150 a 200 cm de comprimento (Figura 42 esq.) [85]. O ciclo de transformação do sisal em fibras naturais tem início aos 3 anos de vida da planta, ou quando as suas folhas atingem cerca de 150 cm de comprimento [86].

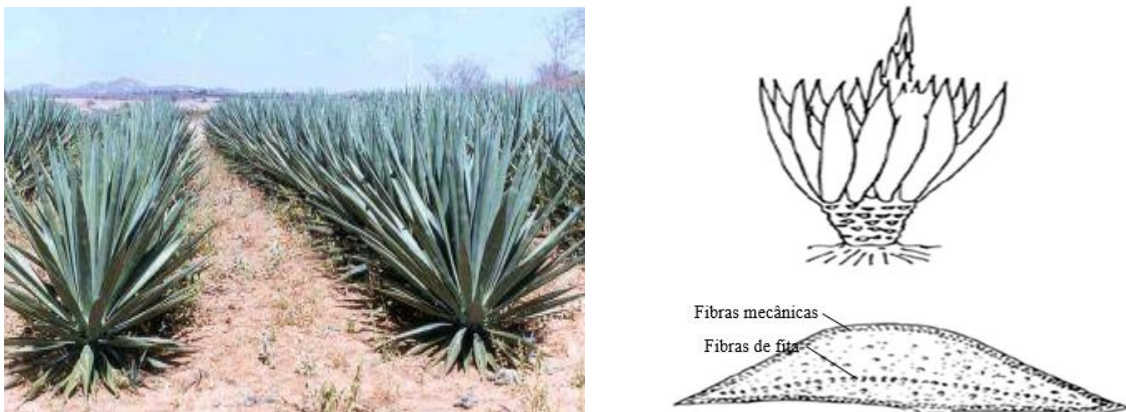


Figura 41 – (Esq.) Planta do sisal (Odilon Reny R. F. da Silva; tps://www.embrapa.br em 03/08/17); (Dir.) Esboço da planta de sisal e da secção transversal de uma folha (adaptado de [83]).

As folhas de Sisal são formadas predominantemente por dois tipos de fibras: fibra mecânica e fibra de fita ou xilema (Figura 41 dir.). As fibras mecânicas estão presentes em maior número e são extraídas da periferia da folha enquanto as de fita são extraídas da zona central e em função destas características são definidas as suas aplicações [81].

Ráfia

As fibras de ráfia (figura 42) são obtidas a partir de palmeiras da América e de África e são caracterizadas por ter boas propriedades mecânicas. Estas fibras são extraídas a partir de talos de folhas de certas variedades de palmeiras. Uma dessas palmeiras é a Raphia

raffia que cresce abundantemente na costa nordeste de Madagascar. Uma outra palmeira é a *Raphia taedigera* que é cultivada nas ilhas do Japão. Estas palmeiras têm com caules com dimensões de 2 a 9 m de altura [87].



Figura 42 - Raphia farinifera [87]

3.2. Processamento das placas

Os compósitos de matriz polimérica foram fabricados reforçando a matriz com diferentes frações mássicas (10, 20, 40%) de fibras Ráfia, Juta e Sisal com comprimentos de 7,5mm. A matriz utilizada no processamento foi a Resina SR GreenPoxy 56, combinada com o endurecedor SD SD Surf Clear, materiais fornecidos pela Sicomin (Châteauneuf les Martigues, France). Esta combinação apresenta boas propriedades mecânicas, viscosidade 1400MPa a 20°C. A relação de mistura da resina e do agente de cura recomendada pelo produtor foi de 100:40 em massa. As fibras naturais foram adquiridas em fornecedor especializado, no formato de fibras contínuas e posteriormente cortadas.

As placas em compósito de matriz epóxida com diferentes tipos de fibras naturais (Ráfia, Sisal e Juta), com diferentes frações mássicas de fibras (tabela 7), foram processadas por compressão, tendo sido desenvolvido e fabricado um molde metálico para a realização deste trabalho (fig. 43 dir.). As diferentes combinações em peso de resina e de fibras curtas foram misturadas e posteriormente colocadas numa câmara de vácuo durante cerca de 10 minutos. A mistura foi depois desta fase colocada na cavidade do molde (fig. 43 dir.). O molde foi fechado e colocado na prensa (fig. 43 esq.) onde foi aplicado uma carga de compressão de 1500 kg, correspondente a uma pressão de cerca 45 bar, durante

cerca de 24 h (fase de cura). As placas processadas em material compósito foram então sujeitas a um processo de pós-cura.

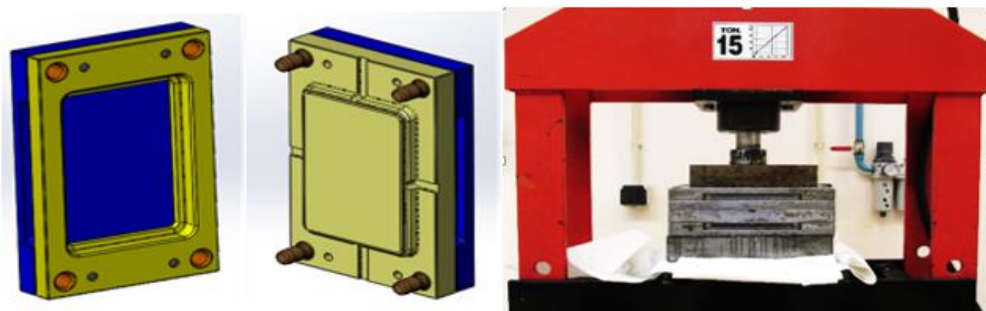


Figura 43 - (Dir.) Molde de compressão utilizado no processamento das diferentes placas em compósito; (Esq.) Prensa utilizada no processamento das placas em material compósito

As placas em material compósito têm a geometria (65x12x6mm) indicada na figura 45 e as seguintes dimensões: 150x100x6mm (fig 44). A partir destas placas foram obtidos os provetes utilizados nos diferentes ensaios realizados.



Figura 44 - Placas processadas em compósito



Figura 45 - Geometria e dimensões dos provetes em compósito para os ensaios de flexão em 3 pontos

3.3. Ensaios

3.3.1 Ensaio de Densidade

As densidades dos vários materiais compósitos processados foram obtidas com base no Princípio de Arquimedes, segundo o qual "Um corpo mergulhado num fluido (líquido ou gás) sofre, por parte do fluido, uma força vertical para cima (Impulso), cuja intensidade

é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo" [89]. As medições foram realizadas numa balança hidrostática METTLER TOLEDO AG204 (figura 46), tendo sido utilizado um kit específico para a pesagem das amostras dos diferentes materiais compósitos.



Figura 46 - Balança hidrostática utilizada para determinação das densidades e a tabela de conversão dos valores padrão.

A determinação da densidade experimental dos diferentes materiais, com base no Princípio de Arquimedes, é dada pela seguinte equação (6):

Equação 6

$$\rho = \frac{M_1}{M_1 - M_2} \times \rho_{H_2O}$$

ρ – Densidade do corpo (g/cm³)

M_1 – massa da amostra fora de água (g);

M_2 – massa da amostra dentro de água (g);

ρ_{H_2O} – densidade da água destilada (g/cm³).

O processo experimental utilizado para a determinação da densidade dos diversos materiais compósitos, foi realizado através da pesagem diferenciada das diversas amostras, sendo registados os valores medidos ao ar e dentro de água destilada, sendo esta usada como referência de controlo, assumindo esta o valor de 0,9982 de g.cm⁻³ para a temperatura de 20°C [88], O procedimento de pesagem é visualizado na figura 47.



Figura 47 - Balança com os acessórios específicos para facilitar a determinação das densidades

3.3.2. Ensaios de Flexão

Os ensaios de flexão em três pontos foram realizados de acordo com a norma ASTM D638. Na figura 48 pode-se observar de forma esquemática o tipo de carregamento considerado na realização dos ensaios de flexão com um vão de 60 mm. Os ensaios de flexão em 3 pontos foram realizados em uma máquina eletromecânica Zwick modelo Z100 (Figura 49 Esq e pormenor dos apoios na figura 50 Dir.) com uma capacidade de carga de ensaio de 100 kN à temperatura ambiente. Esta possui uma consola de controlo e acoplamento a um computador (figura 49 Dir.), permitindo, através de um *software* específico, o controlo e tratamento de todos os parâmetros (carga, velocidade, deslocamento, etc.) (figura 49 Dir.). Os ensaios foram realizados em controlo de deslocamento, com a velocidade do carregamento em todos os ensaios de 2mm/min, registando-se a força, deslocamento e extensão dos provetes. Foram realizados quatro ensaios para cada fração mássica de material processado e de acordo com a norma ASTM D790.

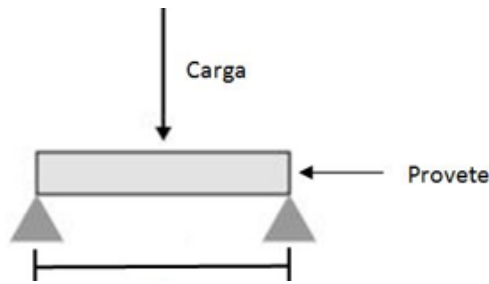


Figura 48 - Representação esquemática do ensaio de flexão a três pontos

A tensão à flexão em três pontos é dada pela seguinte equação (7):

Equação 7

$$\sigma = \frac{M.Y}{I} [Nmm^{-2}]$$

Onde:

M - momento máximo de flexão (igual a $P_{\max} L/2$) [N.mm];

Y - distância do eixo medio do provecto [mm];

I - momento de inércia inicial da secção transversal do provete em relação ao seu eixo [mm⁴], que no caso de provetes de seção retangular (utilizados neste estudo) pode ser calculado através da equação 8):

Equação 8

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

No cálculo da tensão máxima à flexão ($\sigma_{\text{máx.flexão}}$) num provete de secção retangular foi utilizada a **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** (9):

Equação 9

$$\sigma_{\text{máx.flexão}} = \frac{3.P.L}{2.b.h^3}$$

Onde:

P - carga aplicada [N];

L - comprimento do provete [mm];

b - largura do provete [mm];

h - altura do provete [mm];

Após o tratamento dos dados com base nas equações acima referidas, obtiveram-se os gráficos de tensão versus deslocamento, para os compósitos com diferentes frações mássicas dos diferentes tipos de fibras naturais (Sisal, Juta e Ráfia).

Os valores dos módulos dos diferentes materiais processados (E) foram obtidos por regressão linear através da equação (10).

Equação 10

$$E_{flexão} = \frac{P.L^3}{48.y.I}$$

Onde:

y - o deslocamento do provete durante o ensaio [mm];

I - Momento de inércia.

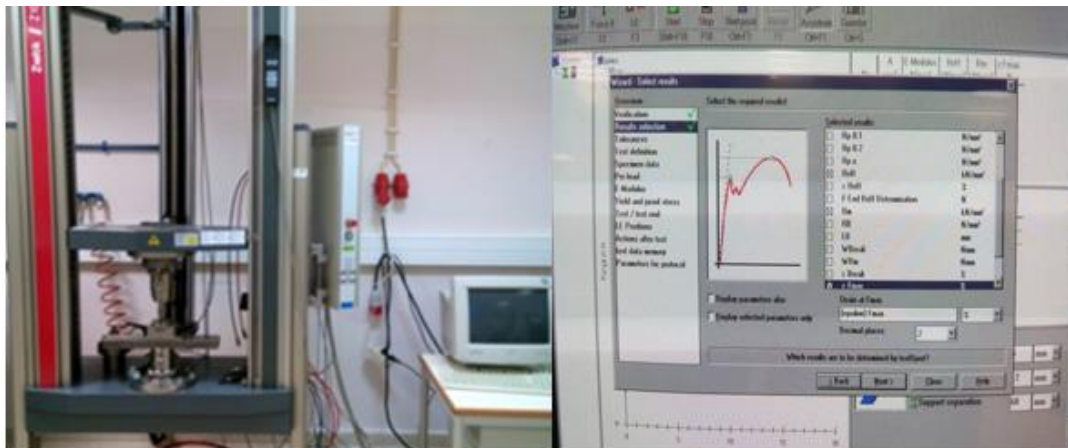


Figura 49 - (Esq.) Máquina eletromecânica Zwick/z100, configurada para ensaios em flexão em 3 pontos; (Dir.) Interface de configuração com software de ensaio



Figura 50 – (Dir.) Provetes prontos ensaios; (Esq.) Sistema mecânico de flexão em 3P (Zwick/Z100).

3.3.3. Ensaio de DMA

A partir dos ensaios DMA (Dynamic Mechanical Analysis) de flexão em 3 pontos, é possível avaliar o comportamento mecânico do material quando sujeito a um programa de temperatura controlada e obter a temperatura de transição vítrea T_g do provete (picos das curvas tangente de delta ou módulo perda de perda). Os ensaios de DMA foram realizados de acordo com a norma DIN 53457 Standard. Deste modo considerou-se o analisador mecânico diferencial Triton Tritec 2000 (Figura 51 Esq.), equipado com os respectivos acessórios para poder ser possível realizar os ensaios de DMA em flexão em três pontos (Figura 51 Dir.) com a variação de temperatura entre 20 °C e 100 °C, e uma taxa de aquecimento de 3 °C por minuto.

Neste caso específico o ensaio de flexão a três pontos realizado pelo equipamento fez uso da janela de temperaturas entre os 20 °C e os 140 °C, de modo a conhecer os valores de temperatura de transição vítrea (T_g), os diversos módulos elásticos (storage modulus; loss modulus) e o fator de dissipação de calor ($\tan \delta$).

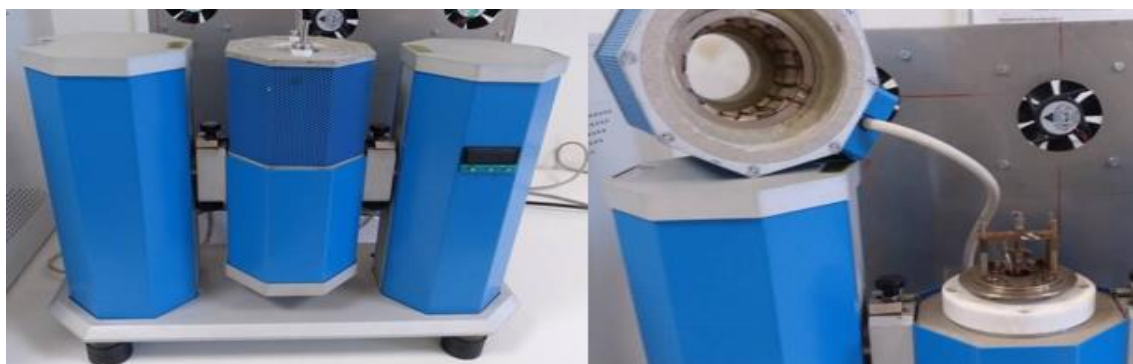


Figura 51 - Equipamento utilizado nos ensaios de DMA: (Dir.) máquina Triton Tritec 2000; (Esq.) Ensaio em flexão em 3 pontos.

3.3.4. Ensaio de Absorção

Com o objetivo de avaliar o comportamento mecânico em função do tempo de imersão em água, de diferentes compósitos com diferentes tipos de fibras naturais e com diferentes frações mássicas, foram realizados ensaios de absorção de água (norma ASTM D570-98). Na realização destes ensaios foi seguida a seguinte metodologia:

Os provetes foram secos numa estufa, à temperatura de 100 °C, durante 60 minutos, e arrefecidos na estufa até à temperatura ambiente e depois pesados;

Os diversos provetes foram em seguida separados por recipientes e rotulados, conforme se pode observar na figura abaixo (figura 52);

As pesagens foram efetuadas inicialmente em períodos curtos e à medida que se observou que os provetes estavam a estabilizar em termos de absorção da água, os períodos de ensaio foram alargados;

Os valores obtidos foram registados em folha de Excel, a partir destas foram feitas representações gráficas da percentagem de água absorvida em função do tempo.

Para obter a percentagem de absorção de água, W , recorreu-se à equação (11):

Equação 11

$$W(\%) = \frac{(\text{Peso molhado} - \text{Peso seco})}{\text{Peso seco}} \times 100$$

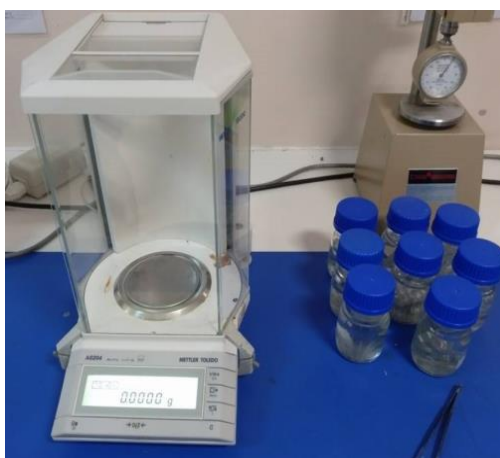


Figura 52 - Balança hidrostática junto com os frascos devidamente identificados com os diversos materiais e densidades

3.3.5 Ensaio de UV

Com o objetivo de avaliar o comportamento mecânico em função do tempo radiação UV, dos diferentes compósitos com diferentes tipos de fibras naturais e com diferentes frações mássicas.

Estes materiais foram expostos a radiação UV (radiação ultravioleta), numa câmara desenvolvida para o efeito, com duas lâmpadas de ultravioletas 40w (figura 53) de modo a que todos os materiais tivessem uma exposição de radiação UV conforme especificado na norma ASTM G26. Estes testes foram realizados tempos distintos de 480 horas e 720 horas, o que corresponde a aproximadamente períodos reais de exposição de 6 e 9 meses respetivamente em climas tropicais [90].

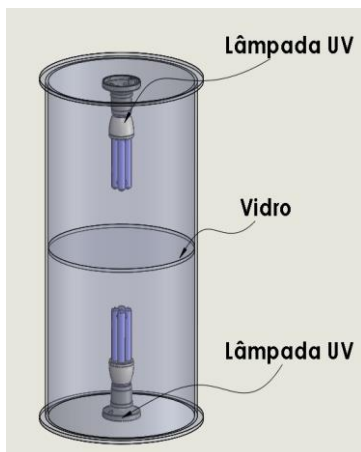


Figura 53 - Estufa desenvolvida para a realização dos ensaios de radiação UV.

3.3.6. Ensaios de Isolamento térmico

Com o objetivo de avaliar a condutividade térmica das diferentes placas processadas, em material compósito com diferentes tipos de fibras naturais e com diferentes frações mássicas, foram realizados ensaios numa câmara desenvolvida para o efeito e com uma câmara FULKE Ti400 (pela normas ASTM C-518-91 e NE 1530-93).



Figura 54 - (Esq.) Câmara de ensaio para os ensaios de condutibilidade térmica; (Dir.) Representação dos procedimentos experimentais considerados nos ensaios de condutibilidade térmica.

Na figura 54 Dir. pode-se observar o sistema de medida de temperaturas a serem posteriormente utilizadas na determinação da condutibilidade térmica (equação da condutibilidade térmica – k) das diferentes placas em material compósito. Foi colocada uma fonte de calor de 46W, no interior da camara (figuras 54), dois termopares nas duas superfícies de maior área da placa em estudo e obtidos os mapas de temperaturas obtidas com a câmara digital a 1 m de distância da camada.

3.3.7. Ensaios de Isolamento Acústico

Na avaliação do comportamento acústico dos diferentes materiais compósitos processados foi utilizado o sonómetro (Tabela 8), colocado a uma distância de 1 m, da face do material processado instalado na caixa, por forma a ser possível realizar medições de intensidade sonora. Para cada material foram efetuadas 3 medidas por condição.

A medição da intensidade sonora foi efetuada numa sala fechada, tendo sido utilizado o equipamento a seguir indicado (Figura 55):

- ✓ Caixa com isolamento acústico;
- ✓ Besouro com tensão de funcionamento de 6 V (fonte de ruído);
- ✓ Sonómetro digital;

Tabela 7 - Características do sonómetro utilizado nos ensaios de avaliação do comportamento acústico [91]

Equipamento	Marca e modelo	Tipo de medição	Sensibilidade/ Erro	Método Analítico
Sonómetro digital	Sound level meter NL - 31	Amostragem pontual	$\pm 0,5\text{dB}$	Equipamento para medição espectral de frequência em intervalos de 1/3 de oitava

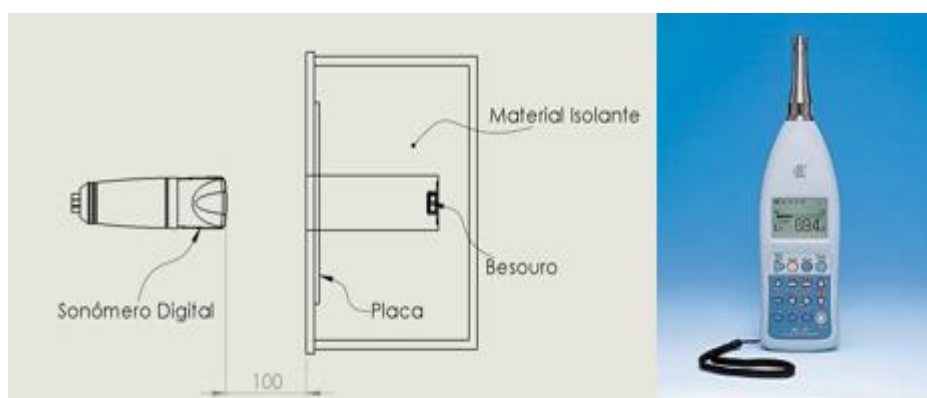


Figura 55 – (Esq.) Equipamento considerado na avaliação da intensidade sonora Caixa isolada; (Dir.) Sonómetro digital

3.3.8. Avaliação de delaminação

Por forma a avaliar os danos de maquinação versus parâmetros de corte foram efetuados testes de maquinação com as diferentes placas processadas com diferentes frações mássicas de fibras curtas (Juta, Sisal, Ráfia e Resina).

Nos testes realizados foram usadas três brocas: 4.0; 6.0 e 10.0mm, (brocas da Izar da serie corta, integralmente em metal duro, referenciadas pela marca com a referencia 9010 (figura 56).



Figura 56 – (Esq.) Broca metal-Duro DIN338N utilizada na maquinação das placas em material compósito; (Dir.) Esquema da Broca Izar [92]

A broca de 4mm (norma DIN338N; características: D-4.00mm; d-4,00mm; L-75.00mm; I-43mm; Angulo de ponta 118°) é indicada para trabalhar em Titânio, Sintéticos, plásticos, Aço, Alumínio, Magnésios, Cobre, Bronze e Latão. No caso dos termoplásticos pode-se trabalhar com velocidades de corte entre 80 e os 170 (m/min.). A broca de 6mm (norma DIN338N; características D-6.00mm; d-6,00mm; L-93.00mm; I-57mm; Angulo de ponta 118°) é indicada para trabalhar com materiais Sintéticos, plásticos, Aço, Alumínio, Magnésios, Cobre, Bronze e Latão. Também é utilizada no caso dos termoplásticos com velocidades de corte entre 60 e os 120 (m/min.). A broca de 10mm (norma DIN338N; tem as características D-10.00_{mm}; d-10,00_{mm}; L-133.00_{mm}; I-87_{mm}; Angulo de ponta 118°) é a indicada para trabalhar com materiais Sintéticos, plásticos, Aço, Alumínio, Magnésios, Cobre, Bronze e Latão. No caso dos termoplásticos pode trabalhar com velocidades de corte entre 80e os 170 (m/Min.)[92].

Na medida da área delaminada das placas de compósito foi utilizado o programa paramétrico SOLIDWORKS, a partir das imagens digitalizadas das placas onde são visíveis as áreas degradadas pela entrada ou saída das ferramentas de corte. O procedimento considerado foi o de desenhar o contorno relativo aos defeitos (figura 57 Esq.), as quais correspondem às áreas delaminação visível (figura 57 Dir.) e, com auxílio do programa foi possível medir a área representada (figura 58).



Figura 57 - (Esq.) Representação esquemática da imagem da área do furo, da área delaminada e da linha de contorno da área delaminada; (Dir.) Pormenor da placa com as zonas delaminadas.

Na figura seguinte (59) é possíveis as diferentes áreas de delaminação referentes à placa de Rafia 10%, do lado da entrada.

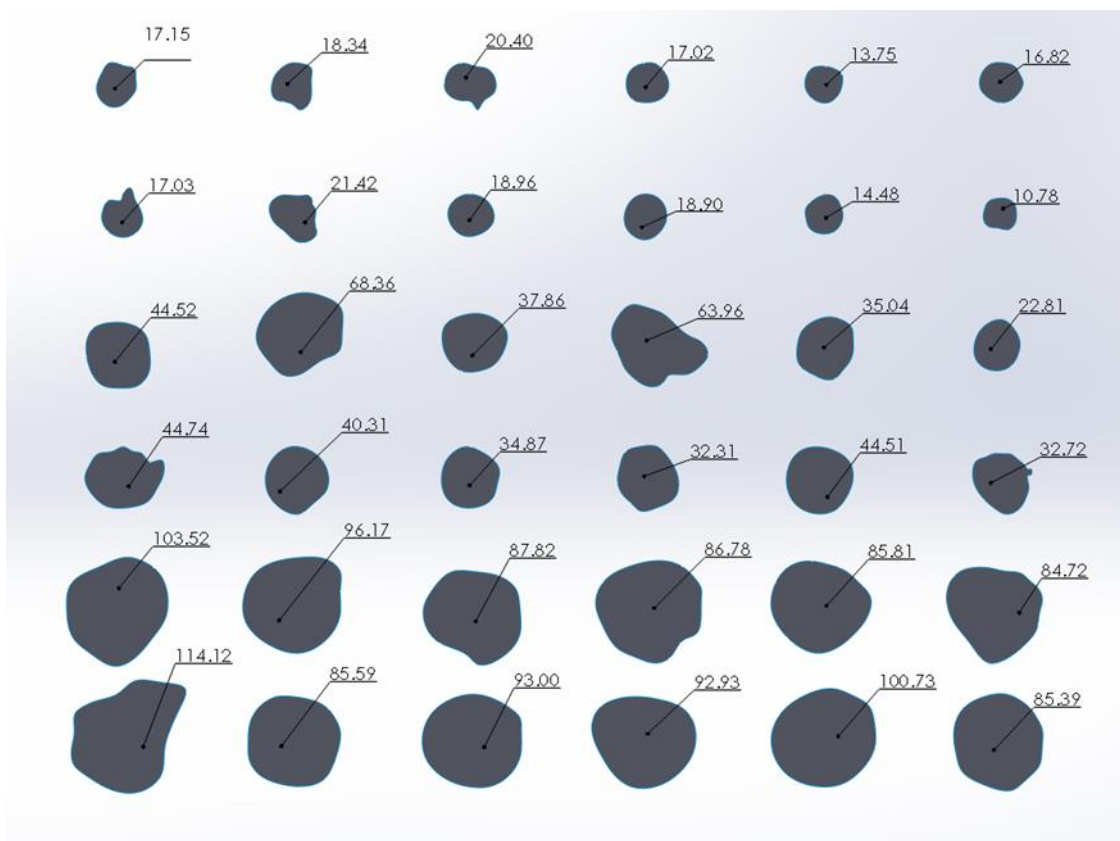


Figura 58 - Áreas de delaminação medidas com recurso ao programa solidwords (Rafia 10%, entrada)

4. Resultados

4.1 Densidade

As densidades dos materiais processados foram efetuadas com base no princípio de Arquimedes. Os valores experimentais obtidos são apresentados na tabela 9, bem como os resultados obtidos a partir da lei das misturas. As diferenças observadas podem ser explicadas com base em erros de pesagem e do processo de fabrico dos materiais compósitos (distribuição das fibras na matriz, tempo e temperaturas de cura, porosidades, entre outras).

Tabela 8 - Valores da densidade experimental, teórica dos materiais processados, desvio padrão e valor de porosidade em %.

Material	Densidade medida [g/cm ³]	Desv. Padrão	Lei das misturas [g/cm ³]	Valor de porosidade [%]
Resina	1.1917	0.0022	1.19	-
Resina + 10% Rafia	1.1775	0.0105	1.20	1.019
Resina + 20% Rafia	1.1917	0.0256	1.22	1.023
Resina + 40% Rafia	1.2100	0.0654	1.27	1.049
Resina + 10% Juta	1.1840	0.0951	1.19	1.005
Resina + 20% Juta	1.1972	0.0038	1.20	1.002
Resina + 40% Juta	1.4152	0.0249	1.23	-
Resina + 10% Sisal	1.1898	0.0256	1.21	1.016
Resina + 20% Sisal	1.2155	0.0141	1.24	1.020
Resina + 40% Sisal	1.2579	0.0973	1.31	1.041

Na figura 59 podem observar-se as variações de densidade versus fração mássica para os diferentes materiais processados com diferentes tipos de fibras naturais. A partir da análise da figura e dos resultados da tabela 9 é possível concluir-se a porosidades nestes materiais.

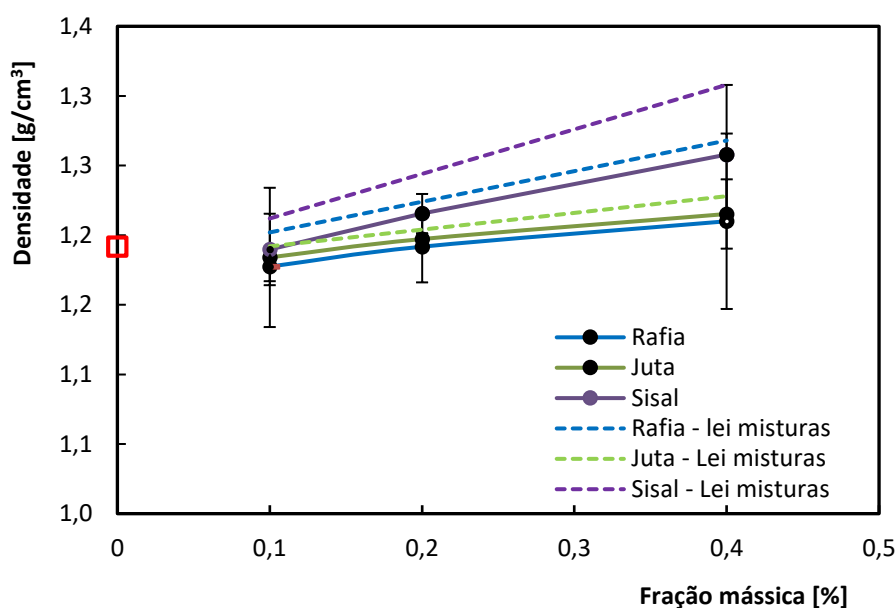


Figura 59 - Valores de densidades obtidas experimentalmente e através da lei das misturas.

4.2. Absorção

4.2.1. Absorção de água em materiais compósitos com fibras de Juta

Na tabela 10 são apresentados os valores de absorção em percentagem versus tempo de imersão em água para os diferentes materiais compósitos processados com fibras de juta.

A partir da análise da figura 60 é possível observar que nos primeiros 10 dias os compósitos com fibra de juta tiveram a maior taxa de absorção de água. Para valores superiores a 40 dias de imersão em água foram atingidos os valores de saturação para os três materiais compósitos com fibras de juta enquanto a resina não atingiu o nível de saturação. As grandes diferenças registadas de absorção de água dos compósitos relativamente à resina podem ser explicadas pelo fato das fibras naturais terem taxas de absorção de água significativas e, também por as fibras nas seções transversais das placas estarem expostas (provetes maquinados) o que permite o aumento significativo da taxa de absorção de água.

Tabela 9 - Valores de absorção de água em porcentagem versus tempo de imersão para os provetes em material compósito com fibras curtas de juta

Número de dias	Resina	Juta 10%	Juta 20%	Juta 40%
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.34	1.98	3.56	5.02
2	0.68	3.45	5.86	8.41
3	0.69	4.21	6.80	9.72
4	0.84	4.88	7.76	11.15
6	0.97	5.91	9.03	12.95
7	1.03	6.41	9.63	13.76
8	1.10	6.68	10.11	14.35
9	1.29	7.13	10.55	14.58
10	1.23	7.36	10.87	15.04
13	1.44	8.32	11.83	15.69
14	1.63	8.50	12.17	15.75
15	1.68	8.69	12.27	15.86
16	1.39	8.84	12.55	16.04
17	1.54	9.11	12.61	16.09
20	1.72	9.41	13.07	16.09
22	1.76	9.67	13.01	16.04
25	2.00	10.12	13.18	16.21
28	1.82	10.44	13.26	16.21
30	2.03	10.46	13.08	16.04
31	2.03	10.46	12.95	15.93
41	2.25	10.97	13.11	16.02
18	2.34	11.18	13.08	16.12
67	2.96	11.41	12.84	15.98

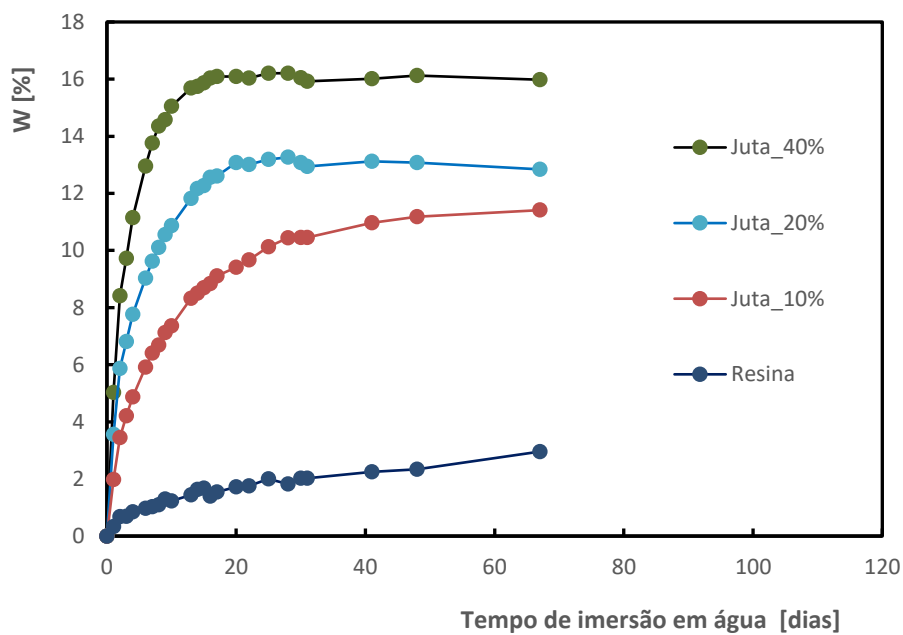


Figura 60 - Variação da taxa de absorção de água versus tempo para os compósitos processados com fibras de Juta.

4.2.2 Absorção no compósito carregado com Sisal

Na tabela 11 são apresentados os valores em percentagem do aumento de peso sofrido pelos provetes provenientes das placas reforçadas com Sisal, quando submersos em água ao longo do tempo.

Tabela 10 - Valores de absorção de água em percentagem versus tempo de imersão para os provetes em material compósito com fibras curtas de Sisal

Número de dias	Resina	Sisal 10%	Sisal 20%	Sisal 40%
0	0.00	0,00	0,00	0,00
1	0.34	2,81	2,28	10,72
2	0.68	4,81	4,01	17,63
3	0.69	5,85	4,92	20,07
4	0.84	6,74	5,84	22,04
6	0.97	8,12	7,15	23,54
7	1.03	8,66	7,62	23,74
8	1.10	9,20	8,24	23,91
9	1.29	9,57	8,60	24,17
10	1.23	9,94	8,89	23,92
13	1.44	10,82	10,32	24,65
14	1.63	10,75	10,41	24,48
15	1.68	10,91	10,77	24,60
16	1.39	11,04	10,86	24,41
17	1.54	11,05	10,97	24,41
20	1.72	11,24	11,89	24,49
22	1.76	11,30	12,15	24,57
25	2.00	11,34	12,79	24,57
28	1.82	11,24	12,88	25,10
30	2.03	11,18	12,67	24,96
31	2.03	11,15	12,65	24,78
41	2.25	11,18	13,38	25,00
18	2.34	11,24	13,61	25,14
67	2.96	11,24	13,52	24,96

Por observação da figura 61 é facilmente visível que durante os primeiros 10 dias o material em teste vai aumentando o seu peso de forma linear. Passado este período o aumento de peso deixa de ser significativo, tendendo o valor de peso a estabilizar o que faz com que as curvas tendam a ficar paralelas com o eixo do tempo de imersão.

A absorção é mais significativa quanto maior for a quantidade de fibra imposta a matriz, já que o material empregue é transmeável e permite absorver a água. O valor da placa de resina é muito inferior ao da outra placa em estudo, por não existir interface resina/sisal e o espaço para água ser bastante diminuto.

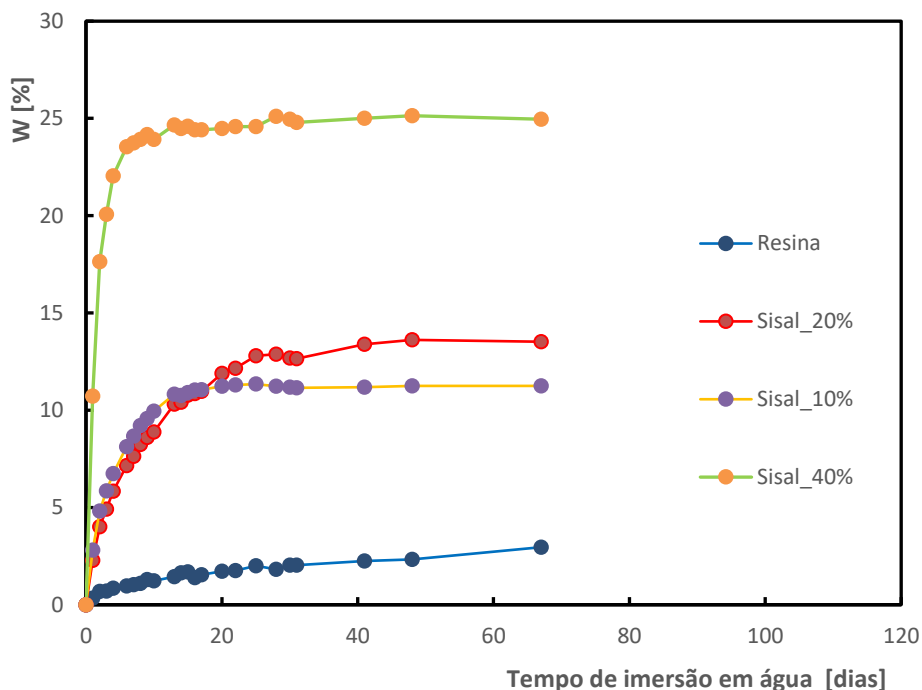


Figura 61 - Representação gráfica dos valores de absorção do compósito com Sisal em relação ao tempo

A quantidade de material inserido na resina dita o tamanho dos interfaces e com o aumento do mesmo pode criar-se um paralelismo com a quantidade de água absorvida. Para os provetes com 40% de fibra o valor de água absorvida representa praticamente o dobro do valor para a placa com 20% de fibra (13.52 e 24.96 respetivamente como está expresso na última medição registada na tabela 11). Pela observação da mesma tabela é possível constatar que nos primeiros dias de ensaio as diferenças percentuais de aumento de peso foram mais significativas nos provetes provenientes da placa com maior interface.

4.2.3 Absorção no compósito carregado com Ráfia

Na tabela 12 são apresentados os valores em percentagem do aumento de peso sofrido pelos provetes provenientes das placas reforçadas com Ráfia, quando submergidos em água ao longo do tempo.

Por observação da figura 62 é facilmente visível que durante os primeiros 10 dias o material em teste vai aumentando o seu peso de forma linear. Passado este período o aumento de peso deixa de ser significativo, tendendo o valor de peso a estabilizar o que faz com que as curvas tendam a ficar paralelas com o eixo do tempo de imersão.

Tabela 11 - Valores de absorção de água em percentagem versus tempo de imersão para os provetes em material compósito com fibras curtas de Rafia

Número de dias	Resina	Rafia 10%	Rafia 20%	Rafia 40%
0	0.00	0,00	0,00	0,00
1	0.34	2,78	4,24	12,11
2	0.68	4,61	6,50	17,29
3	0.69	5,39	7,48	19,56
4	0.84	6,21	8,70	21,79
6	0.97	7,30	9,77	24,15
7	1.03	7,84	10,65	25,13
8	1.10	8,22	10,85	26,09
9	1.29	8,45	11,54	27,53
10	1.23	8,78	11,48	27,40
13	1.44	9,92	12,54	29,64
14	1.63	10,05	12,67	30,27
15	1.68	9,94	13,18	30,61
16	1.39	10,27	13,47	30,92
17	1.54	10,56	13,64	31,07
20	1.72	11,14	14,05	32,32
22	1.76	11,54	14,43	32,39
25	2.00	12,12	15,14	33,26
28	1.82	12,21	15,50	33,47
30	2.03	12,54	15,44	33,46
31	2.03	12,21	15,36	33,43
41	2.25	13,43	16,73	35,16
18	2.34	13,88	17,19	35,99
67	2.96	13,88	18,37	37,21

A absorção é mais significativa quanto maior for a quantidade de fibra imposta a matriz, já que o material empregue é transmeável e permite absorver a água. O valor da placa de resina é muito inferior ao da outra placa a estudo por não existir interface resina/ráfia e portanto o espaço para água ser bastante diminuto.

A quantidade de material inserido na resina dita o tamanho dos interfaces e com o aumento do mesmo pode criar-se um paralelismo com a quantidade de água absorvida. Para os provetes com 40% de fibra o valor de água absorvida representa praticamente o dobro do valor da placa com 20% de fibra (37.21 e 18.37 respetivamente como está expresso na última medição registada na tabela 12).

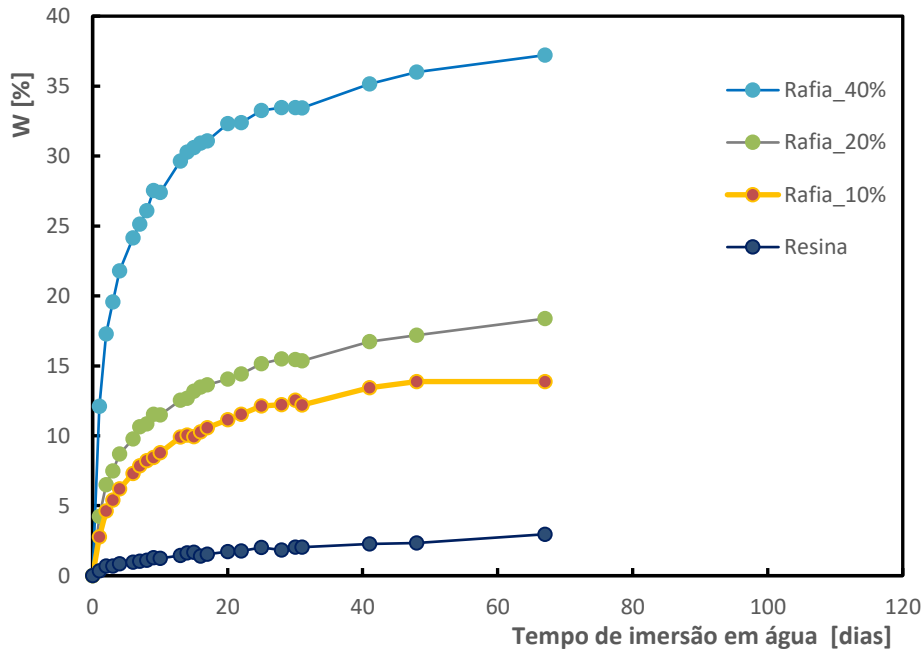


Figura 62 - representação gráfica dos valores de absorção do compósito com Ráfia em relação ao tempo

4.4. Ensaio de Absorção

Neste ponto vão ser apresentados os resultados relativos à variação das propriedades mecânicas versus tempo de imersão em água para os materiais compósitos com fibras naturais (Juta, Sisal e Ráfia).

4.4.1. Propriedades mecânicas dos compósitos de juta versus tempo de imersão em água

Na tabela 13 são apresentados os resultados relativos aos ensaios à flexão a três pontos versus tempo de imersão em água para os compósitos com fibras de Juta processados, bem como os desvios padrão obtidos. Com o aumento do tempo de imersão em água pode constatar-se que tanto a tensão média máxima em flexão ($\sigma_{\text{máx.flexão}}$) em três pontos, como os valores de módulo de elasticidade ($E_{\text{flexão}}$) diminuem (figuras 63 e 64). Estes resultados são coerentes com os resultados da literatura científica. É possível observar uma forte diminuição das propriedades mecânicas nos dois primeiros dias de

imersão em água seguida de manutenção das propriedades mecânicas com o aumento do tempo de imersão em água.

Tabela 12 - Valores de tensão máxima e módulo de elasticidade à flexão versus tempo de imersão em água para os vários materiais compósitos com fibras de Juta

Dias de imersão em água	Material	Tensão [MPa]	Desv.pad	Módulo E [MPa]	Desv.pad
0	Resina	114.4	9.7	2867.6	275.6
2		111.7	3.1	2344.5	87.0
5		103.1	13.2	2285.4	309.0
10		98.4	2.6	2218.3	129.4
0	Juta 10%	66.96	7.5	3014.2	398.8
2		17.3	3.4	328.0	96.4
5		16.3	2.8	301.5	116.9
10		13.7	2.5	304.3	15.7
0	Juta 20%	73.8	16.1	3003.4	2021.4
2		31.3	9.5	940.6	390.0
5		19.1	9.7	509.9	322.1
10		19.5	2.1	754.6	120.6
0	Juta 40%	80.9	6.5	5600.0	479.4
2		17.5	3.2	477.6	205.9
5		22.3	3.2	615.2	152.0
10		19.6	2.2	582.3	73.4

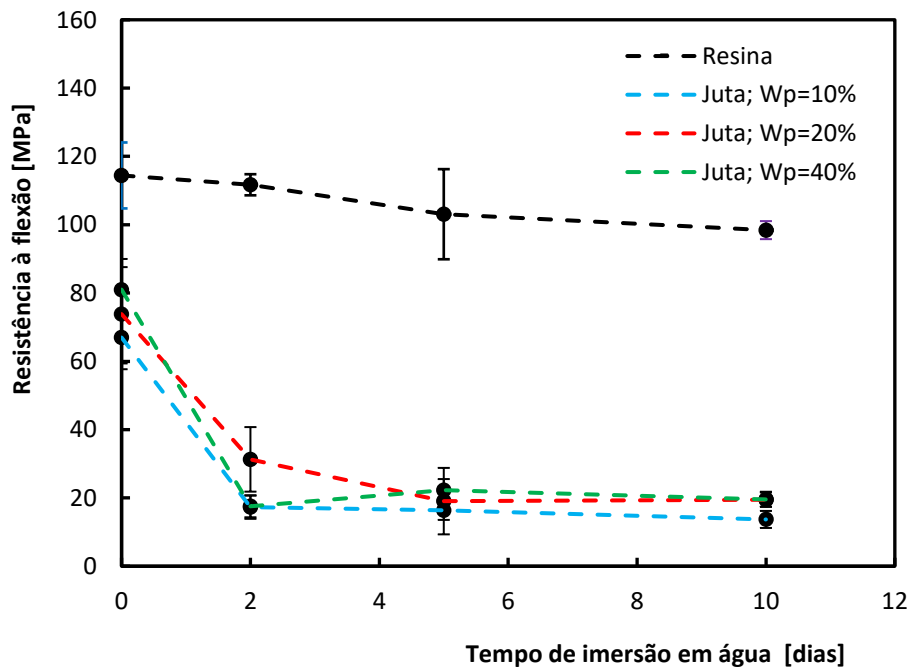


Figura 63 - Valores de tensão máxima à flexão versus tempo de imersão em água para os compósitos com fibras de Juta e placa de Resina

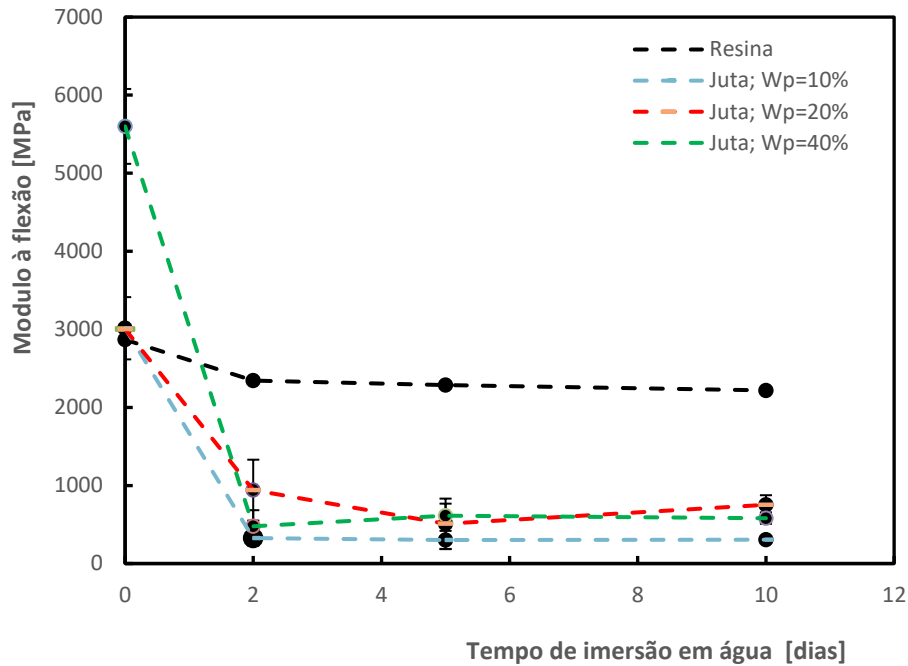


Figura 64 - Valores de módulo de elasticidade à flexão versus tempo de imersão em água para os compósitos com fibras de Juta e placa de Resina.

4.4.2. Propriedades mecânicas dos compósitos de Sisal versus tempo de imersão em água

Na tabela 14 são apresentados os resultados relativos aos ensaios à flexão a três pontos versus tempo de imersão em água para os compósitos com fibras de Sisal processados bem como os desvios padrão obtidos. Com o aumento do tempo de imersão em água pode constatar-se que tanto a tensão média máxima em flexão ($\sigma_{\text{máx.flexão}}$) em três pontos bem como os valores de módulo de elasticidade ($E_{\text{flexão}}$) diminuem (figuras 65 e 66) de acordo com os resultados da literatura científica. É possível observar uma forte diminuição das propriedades mecânicas nos dois primeiros dias de imersão em água seguida de manutenção das propriedades mecânicas com o aumento do tempo de imersão em água.

É possível observar na tabela 14 que o material com 20% de fibra foi o que apresentou uma variação menos acentuada dos valores de tensão máxima ($\sigma_{\text{máx.flexão}}$), valores máximos à flexão de 58.4MPa para os 30.1MPa, para 0 dias de imersão em água e para 10 dias de tempo de imersão em água.

Tabela 13 - Valores de tensão máxima e módulo de elasticidade à flexão versus tempo de imersão em água para os vários materiais compósitos com fibras de Sisal.

Dias de imersão em água	Material	Tensão [MPa]	Desv.pad	Módulo E [MPa]	Desv.pad
0	Resina	114.4	9.7	2867.6	275.6
2		111.7	3.1	2344.5	87.0
5		103.1	13.2	2285.4	309.0
10		98.4	2.6	2218.3	129.4
0	Sisal 10%	58.0	3.8	3119.2	153.6
2		10.5	4.1	223.4	61.9
5		7.1	0.6	135.5	24.8
10		8.8	4.1	219.4	58.2
0	Sisal 20%	58.4	8.9	3697.8	297.1
2		42.4	6.5	1334.0	219.9
5		38.7	12.3	1245.7	305.4
10		30.1	11.3	1263.9	503.4
0	Sisal 40%	59.9	29.8	3424.4	987.9
2		15.1	6.4	301.2	179.1
5		9.2	5.9	142.5	85.2
10		10.5	4.5	326.8	163.8

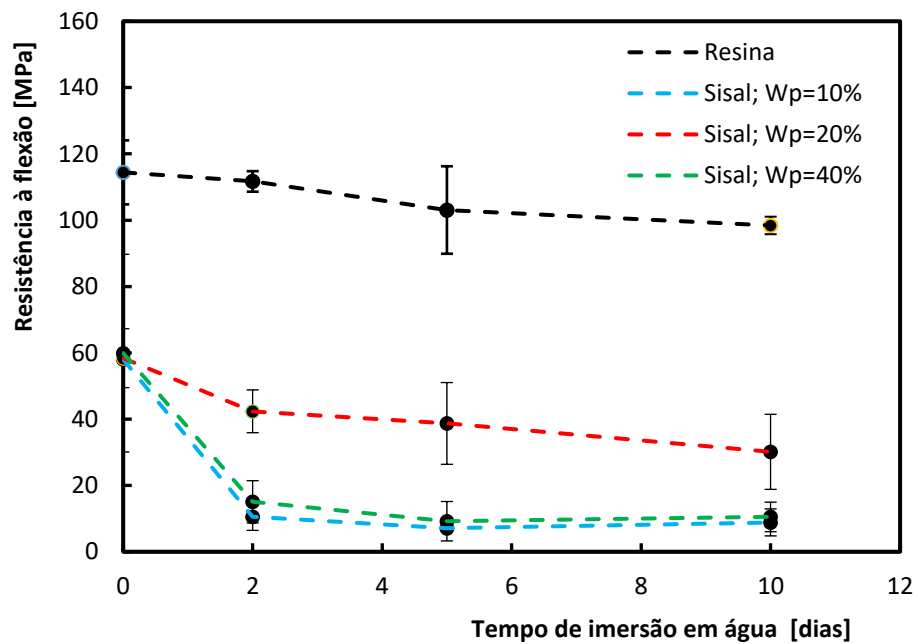


Figura 65 - Valores de tensão máxima à flexão versus tempo de imersão em água para os compósitos com fibras de Sisal e placa de Resina

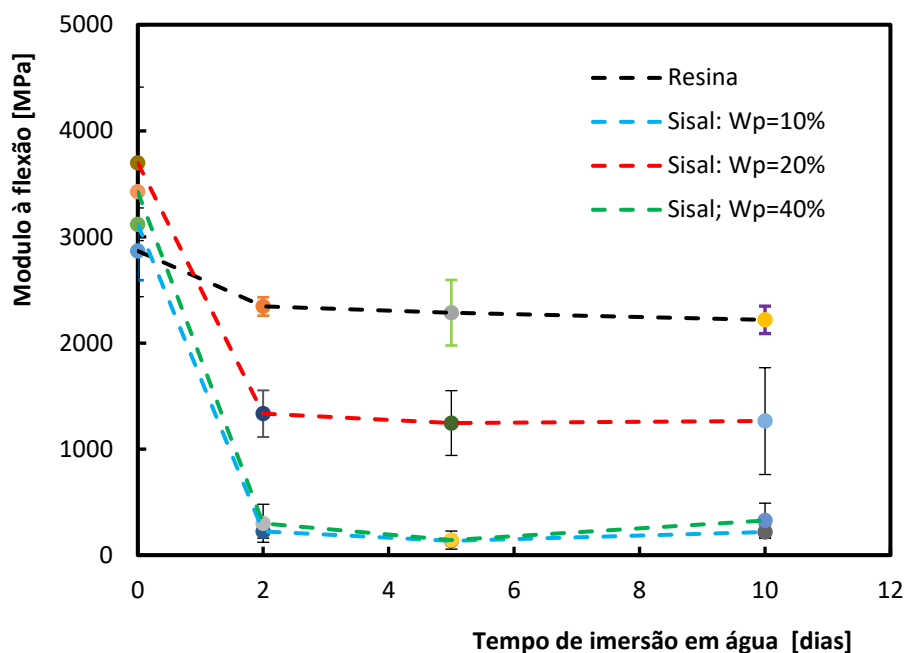


Figura 66 - Valores de módulo à flexão versus tempo de imersão em água para as para os compósitos com fibras de Sisal e placa de Resina.

4.4.3. Propriedades mecânicas dos compósitos de Ráfia versus tempo de imersão em água

Tabela 14 - Valores de tensão máxima e módulo de elasticidade à flexão versus tempo de imersão em água para os vários materiais compósitos com fibras de Ráfia.

Dias de imersão em água	Material	Tensão [MPa]	Desv.pad	Módulo E [MPa]	Desv.pad
0	Resina	114.4	9.7	2867.6	275.6
2		111.7	3.1	2344.5	87.0
5		103.1	13.2	2285.4	309.0
10		98.4	2.6	2218.3	129.4
0	Rafia 10%	23.8	3.3	2869.3	245.1
2		1.5	0.7	17.6	9.8
5		15.9	4.8	357.5	107.1
10		3.6	1.8	120.5	159.8
0	Rafia 20%	25.1	2.4	2869.3	190.9
2		10.8	3.0	317.6	128.5
5		10.8	3.2	317.2	107.7
10		7.8	3.6	329.9	170.4
0	Rafia 40%	11.9	4.9	2267.4	1038.3
2		3.0	2.2	89.8	77.9
5		4.2	1.0	125.8	39.8
10		1.4	0.6	86.8	19.9

Na tabela 15 são apresentados os resultados relativos aos ensaios à flexão a três pontos versus tempo de imersão em água para os compósitos com fibras de Ráfia processados bem como os desvios padrão obtidos. Com o aumento do tempo de imersão em água pode constatar-se que tanto a tensão média máxima em flexão ($\sigma_{\text{máx.flexão}}$) em três pontos, como os valores de módulo de elasticidade ($E_{\text{flexão}}$) diminuem (figuras 67 e 68) de acordo com os resultados da literatura científica. É possível observar uma forte diminuição módulo nos dois primeiros dias de imersão em água seguida da manutenção desta propriedade com o aumento do tempo de imersão em água.

É possível observar na tabela 15 que o material com 20% de fibra foi o que apresentou uma variação menos acentuada dos valores de tensão máxima ($\sigma_{\text{máx.flexão}}$), valores máximos a flexão de 58.4MPa para os 30.1MPa, para 0 dias de imersão em água e para 10 dias de tempo de imersão em água.

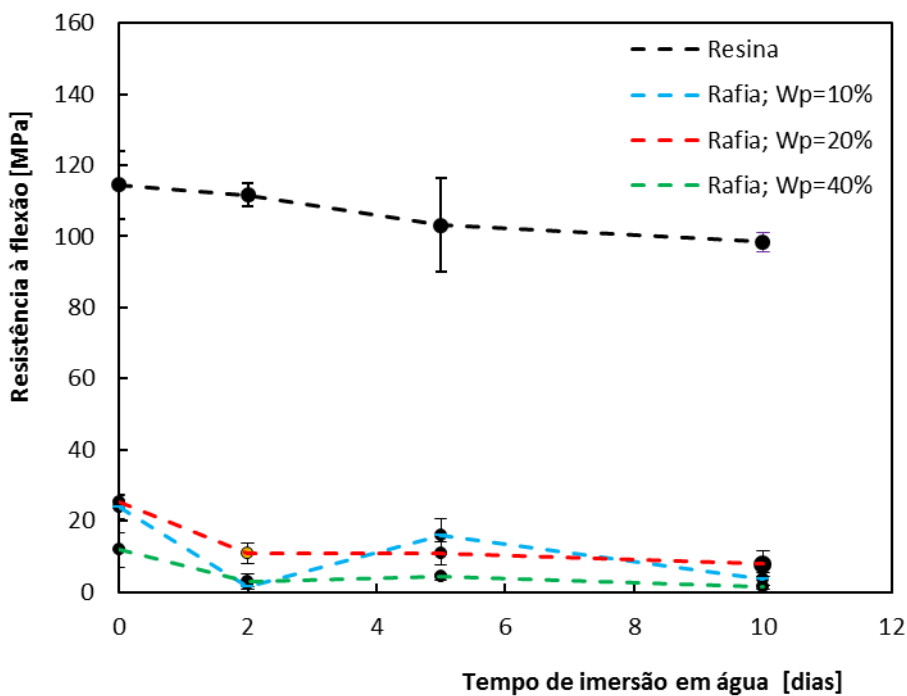


Figura 67 - Valores de tensão máxima à flexão versus tempo de imersão em água para os compósitos com fibras de Ráfia e placa de Resina

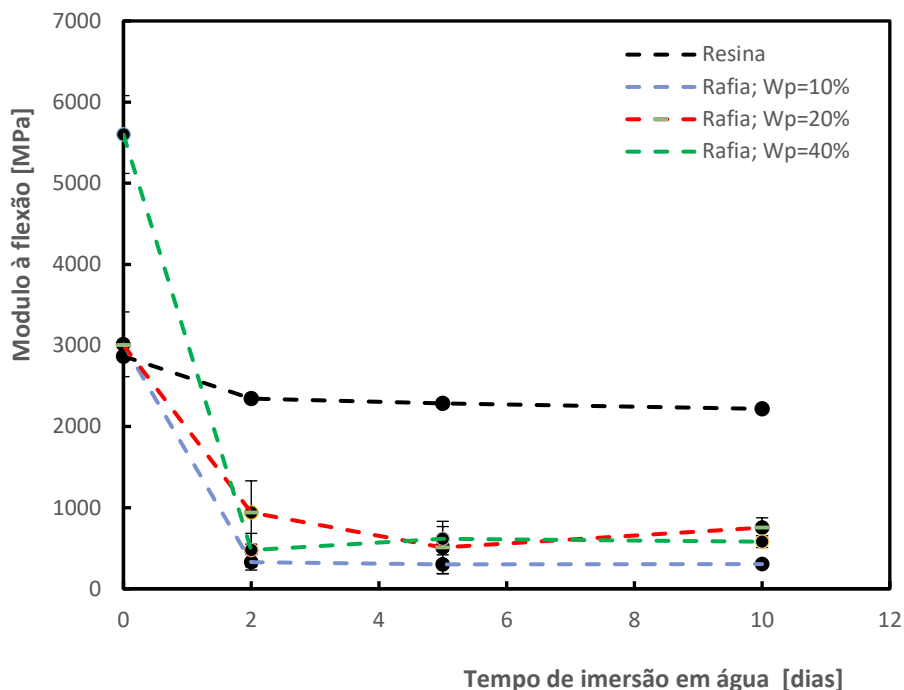


Figura 68 - Valores de módulo de elasticidade à flexão versus tempo de imersão em água para os compósitos com fibras de Ráfia e placa de Resina

4.5. Propriedades mecânicas versus tempo de radiação por ultravioleta

Neste ponto vão ser apresentados os resultados relativos à variação das propriedades mecânicas versus tempo de radiação por ultravioleta para os materiais compósitos com fibras naturais (Juta, Sisal e Ráfia).

4.5.1. Propriedades mecânicas dos compósitos de Juta versus tempo de radiação por ultravioleta

Na tabela 16 são apresentados os resultados relativos aos ensaios a flexão a três pontos versus tempo de radiação UV para os compósitos com fibras de Juta processados bem como os desvios padrão obtidos. Com o aumento do tempo de radiação por UV pode

constatar-se que a tensão média máxima em flexão ($\sigma_{\text{máx.flexão}}$) em três pontos aumenta para tempos de radiação por UV de 20 dias para a resina e para o compósito com 40% de fibras de Juta. No caso dos dois outros materiais compósitos (10 e 20%) é possível constatar uma pequena tendência para aumentar entre os 20 e os 30 dias de radiação por UV. A resina (material da matriz) entre os 20 e 30 dias de tempo de radiação por UV apresenta uma forte diminuição.

Tabela 15 - Valores de tensão máxima e módulo de elasticidade à flexão versus tempo de radiação ultravioleta para os vários materiais compósitos com fibras de Juta

Dias	Material	T [MPa]	Desv.pad	U [mm]	Desv.pad	E [MPa]	Desv.pad
0	Resina	114.4	9.7	5.6	0.2	2867.6	275.6
20		135.8	21.5	2.2	0.8	804.4	171.8
30		38.1	14.4	1.7	1.4	1731.5	677.9
0	Juta 10%	67.0	7.6	3.5	0.4	3014.2	398.8
20		68.3	14.4	1.0	0.1	2368.6	2019.6
30		73.3	3.0	1.1	0.1	3776.1	259.5
0	Juta 20%	73.8	16.1	3.2	0.4	3003.4	2021.4
20		74.4	10.9	0.9	0.1	4520.4	738.4
30		82.7	7.0	0.9	0.0	4907.5	284.1
0	Juta 40%	81.0	6.6	2.1	0.4	5600.0	479.7
20		101.3	21.5	1.1	0.1	5639.9	1575.9
30		96.7	8.0	1.1	0.1	4859.6	239.5

Em termos do módulo ($E_{\text{flexão}}$), figura 70) pode observar-se: a resina apresenta uma diminuição até aos 20 dias de radiação por UV, apresentando um aumento dos valores de rigidez para os 30 dias de tempo de radiação; o compósito com 10% de fibras de juta apresenta a mesma tendência que a resina mas com valores de módulo mais elevados; o compósito com 20% de fibras de juta apresenta uma tendência crescente dos valores de módulo até aos 30 dias de radiação por UV.

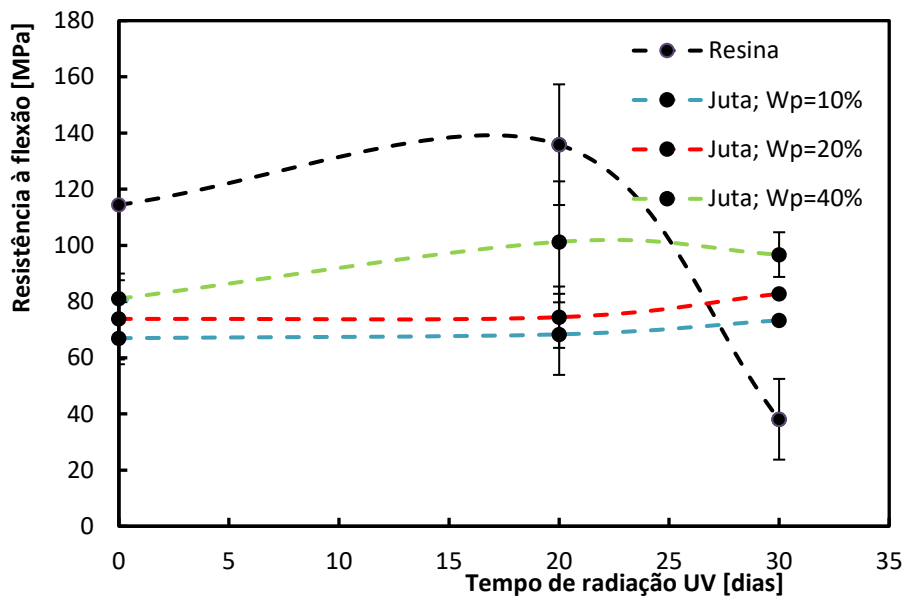


Figura 69 - Valores de módulo de elasticidade à flexão versus tempo de radiação por UV para os compósitos com fibras de Juta e placa de Resina

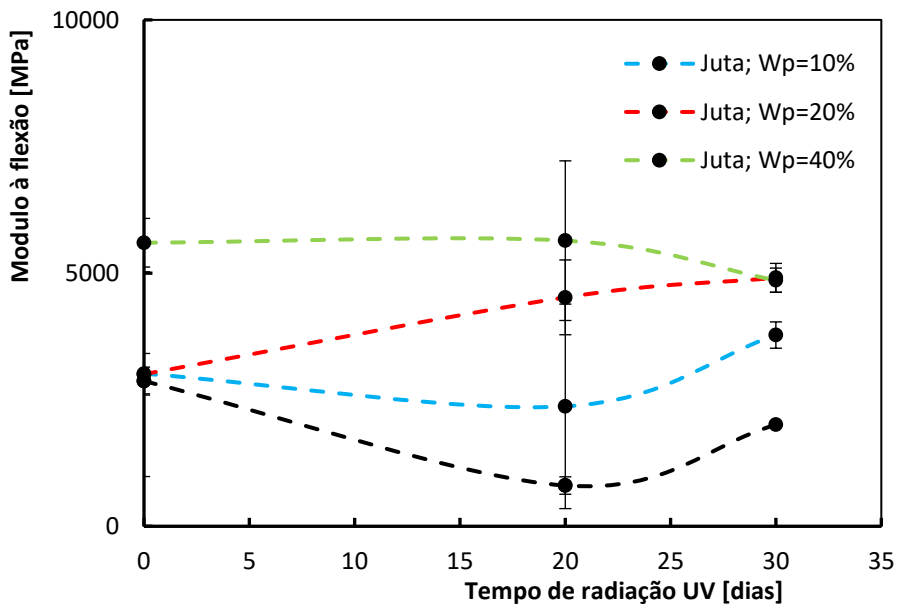


Figura 70 - Valores de módulo de elasticidade à flexão versus tempo de radiação por UV para os compósitos com fibras de Juta e placa de Resina

4.5.2. Propriedades mecânicas dos compósitos de Sisal versus tempo de radiação por ultravioleta

Na tabela 17 são apresentados os resultados relativos aos ensaios à flexão a três pontos versus tempo de radiação UV para os compósitos com fibras de Sisal processados bem como os desvios padrão obtidos.

Com o aumento do tempo de radiação por UV pode constatar-se que a tensão média máxima em flexão ($\sigma_{\text{máx.flexão}}$) em três pontos apresenta uma tendência para aumentar para tempos de radiação por UV até 30 dias para os três compósitos com fibras de Sisal, sendo que esta tendência é mais significativa entre os 20 e os 30 dias de radiação por UV.

Tabela 16 - Valores de tensão máxima e módulo de elasticidade à flexão versus tempo de radiação ultravioleta para os vários materiais compósitos com fibras de Sisal

Dias	Material	T [MPa]	Desv.pad	U [mm]	Desv.pad	E [MPa]	Desv.pad
0	Resina	114.4	9.7	5.6	0.2	2867.6	275.6
20		135.8	21.5	2.2	0.8	804.4	171.8
30		38.1	14.4	1.7	1.4	1731.5	677.9
0	Sisal 10%	58.0	3.8	2.3	0.3	3119.2	153.6
20		51.4	9.9	0.8	0.1	3427.9	882.7
30		70.6	30.5	0.7	0.1	10888.6	3374.6
0	Sisal 20%	58.4	8.9	2.4	0.3	3697.8	297.1
20		75.0	22.3	1.4	0.4	3662.8	387.0
30		120.1	27.5	1.3	0.3	12103.6	2460.1
0	Sisal 40%	74.5	7.2	3.7	0.4	3908.1	245.3
20		100.9	4.6	1.6	0.2	4463.3	361.5
30		122.9	16.8	1.2	0.3	14289.5	255.3

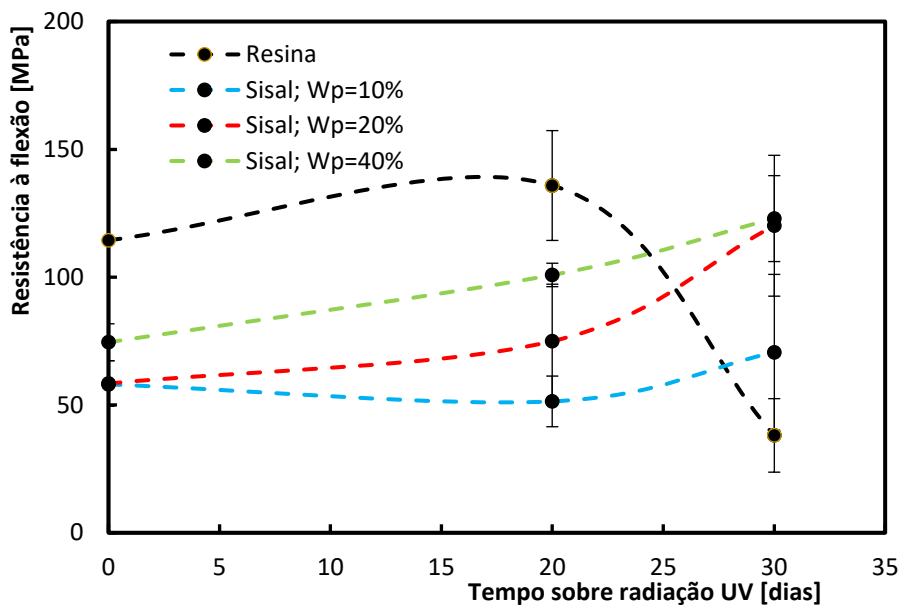


Figura 71 - Valores de módulo de elasticidade à flexão versus tempo de radiação por UV para os compósitos com fibras de Juta e placa de Resina

Em termos do módulo ($E_{flexão}$), figura 72) pode observar-se que os materiais compósitos apresentam uma tendência para aumentar entre os 0 e os 20 dias, e um aumento significativo para os 30 dias de tempo de radiação por UV.

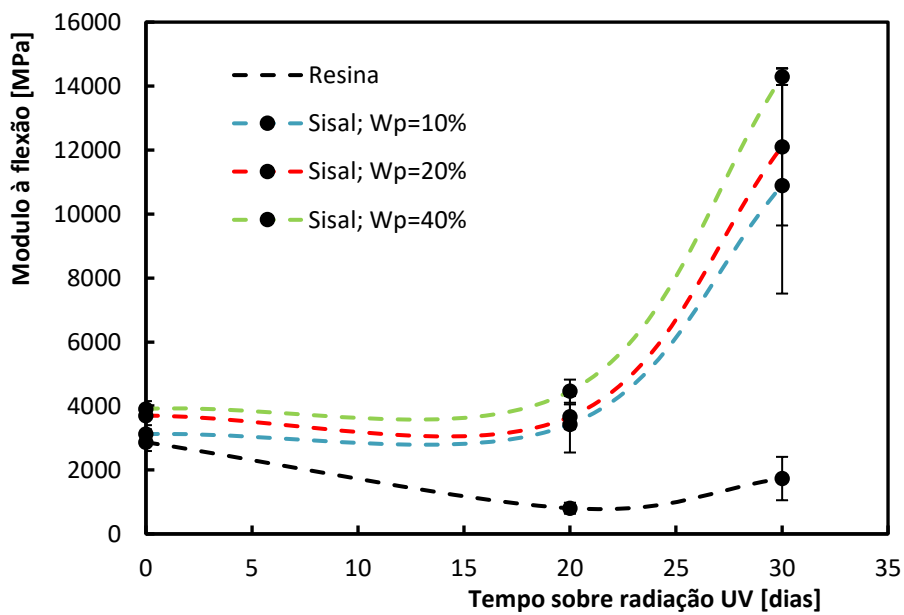


Figura 72 - Valores de módulo de tensão à flexão versus tempo de radiação por UV para os compósitos com fibras de Sisal placa de Resina

4.5.3. Propriedades mecânicas dos compósitos de Ráfia versus tempo de radiação por ultravioleta

Na tabela 18 são apresentados os resultados relativos aos ensaios à flexão a três pontos versus tempo de radiação UV para os compósitos com fibras de Ráfia processados bem como os desvios padrão obtidos.

Com o aumento do tempo de radiação por UV pode constatar-se que a tensão média máxima em flexão ($\sigma_{\text{máx.flexão}}$; figura 73) em três pontos apresenta uma muito ligeira tendência para aumentar para tempos de radiação por UV até 20 dias para os compósitos com 10, 20 e 40% de fibras de Ráfia, sendo está tendência mais significativa entre os 20 e os 30 dias de radiação por UV para os compósitos com 10 e 20% de fibras. No caso do compósito com 40% de fibras de Ráfia apresenta-se uma tendência para diminuir entre os 20 e os 30 dias de tempo de radiação por UV.

Tabela 17 - Valores de tensão máxima e módulo de elasticidade à flexão versus tempo de radiação ultravioleta para os vários materiais compósitos com fibras de Ráfia

Dias	Material	T [MPa]	Desv.pad	U [mm]	Desv.pad	E [MPa]	Desv.pad
0	Resina	114.4	9.7	5.6	0.2	2867.6	275.6
20		135.8	21.5	2.2	0.8	804.4	171.8
30		38.1	14.4	1.7	1.4	1731.5	677.9
0	Ráfia 10%	24.9	3.1	1.7	0.5	2341.1	190.9
20		27.3	5.2	0.8	0.0	2214.7	378.3
30		34.9	11.8	0.6	0.1	7127.8	1120.2
0	Ráfia 20%	25.1	2.4	1.5	0.3	1978.0	1026.5
20		23.1	5.9	0.7	0.2	2296.0	627.6
30		37.2	13.3	0.6	0.2	8575.3	1250.2
0	Ráfia 40%	10.1	5.4	0.8	0.3	1978.0	1026.5
20		16.0	5.8	0.6	0.1	1141.4	836.2
30		9.6	4.4	0.6	0.2	849.1	255.6

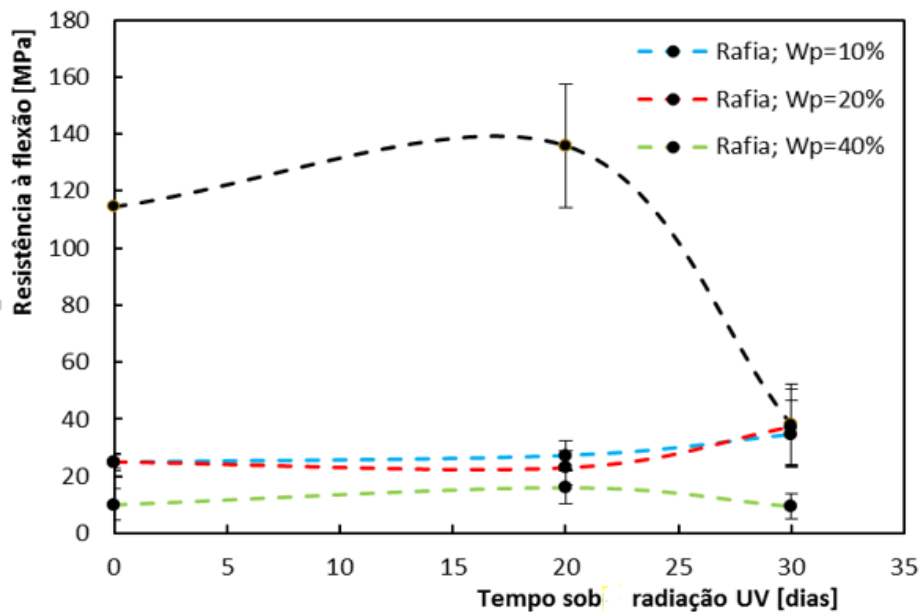


Figura 73 - Valores de tensão à flexão versus tempo de radiação por UV para os compósitos com fibras de Ráfia placa de Resina

Em termos do módulo ($E_{flexão}$), figura 74) pode observar-se que os materiais compósitos apresentam uma tendência para diminuir entre os 0 e os 20 dias, apresentando os compósitos com 10 e 20%, entre os 20 e os 30 dias de tempo de radiação por UV, um forte aumento da rigidez. O compósito com 40% de fibras de Ráfia apresenta uma diminuição entre os 0 e os 30 dias de tempo de radiação por UV.

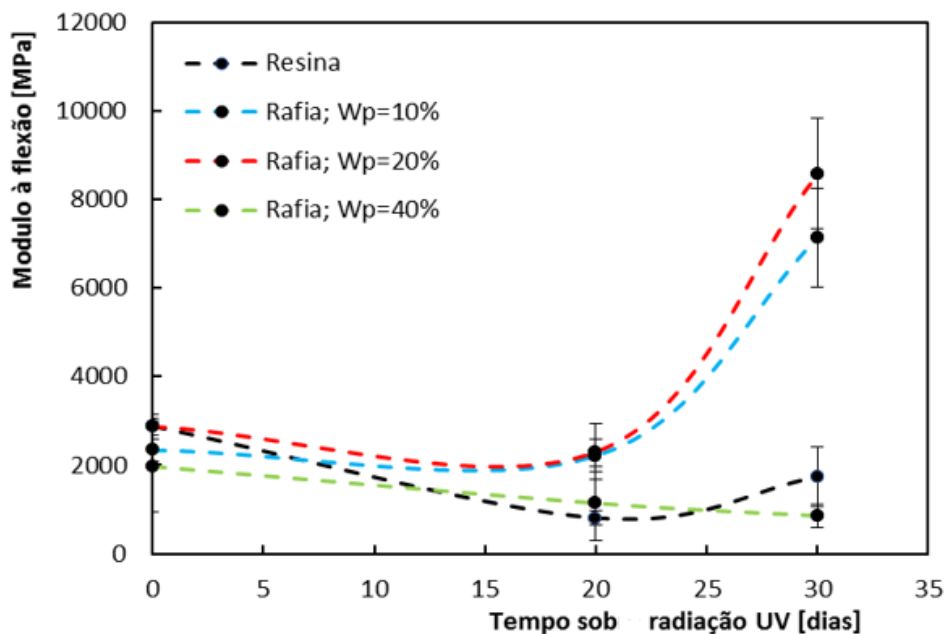


Figura 74 - Valores de módulo à flexão versus tempo de radiação por UV para os compósitos com fibras de Ráfia placa de Resina

4.6 - Ensaios de Condutividade Térmica

Na figura 75 são apresentados os valores do coeficiente de condutividade térmica adimensional em função da fração mássica de fibras e diferente tipo de fibras. É possível constatar que os diferentes compósitos com fibras de Juta apresentam o melhor comportamento em termos de isolamento térmico. Os compósitos com fibras de Ráfia apresentam um comportamento intermédio entre os compósitos de Juta e de Sisal. Constata-se que os compósitos com fibras de Sisal apresentam um baixo desempenho em termos de isolamento térmico, em que o compósito com 40% de fibras de Sisal apresenta um comportamento semelhante ao da resina.

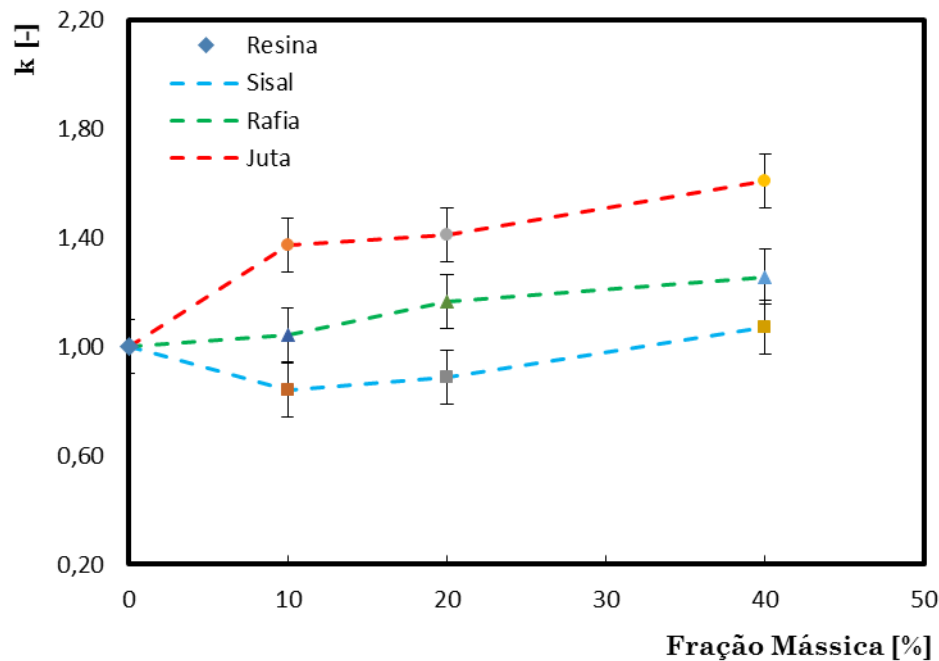


Figura 75 - Valores de coeficiente condutividade térmica versus as frações mássicas para os compósitos de Sisal, Ráfia e Juta.

4.7 - Ensaios Acústicos

Na Tabela 19 são apresentados os resultados relativos aos ensaios acústicos realizados com as placas processadas, com diferentes frações mássicas de fibras naturais (Ráfia, Sisal e Juta) consideradas neste trabalho. Com base na análise dos resultados dos ensaios acústicos obtidos, pode observar-se que com o aumento da fração mássica se observa uma diminuição significativa da intensidade sonora (figuras 76;77) (dB). Os

compósitos processados com fibras de Sisal apresentam o pior comportamento sendo que só o compósito com 40% de fibras de Sisal apresenta um comportamento em termos de desempenho acústico melhor que a placa de resina.

Tabela 18 - Nível de Intensidade sonora medido para as placas de materiais compósitos com diferentes frações mássicas e tipos de fibras (Juta, Sisal e Ráfia)

Superfície a teste	Medição efetuada em dB
Som ambiente da sala em silêncio	30.40
Besouro (fonte de ruído)	104.00
Resina	57.07
Ráfia 10%	55.95
20%	54.76
40%	49.71
Sisal 10%	57.52
20%	57.10
40%	53.75
Juta 10%	55.97
20%	54.02
40%	51.12

Nível de Intensidade Sonora (dB)

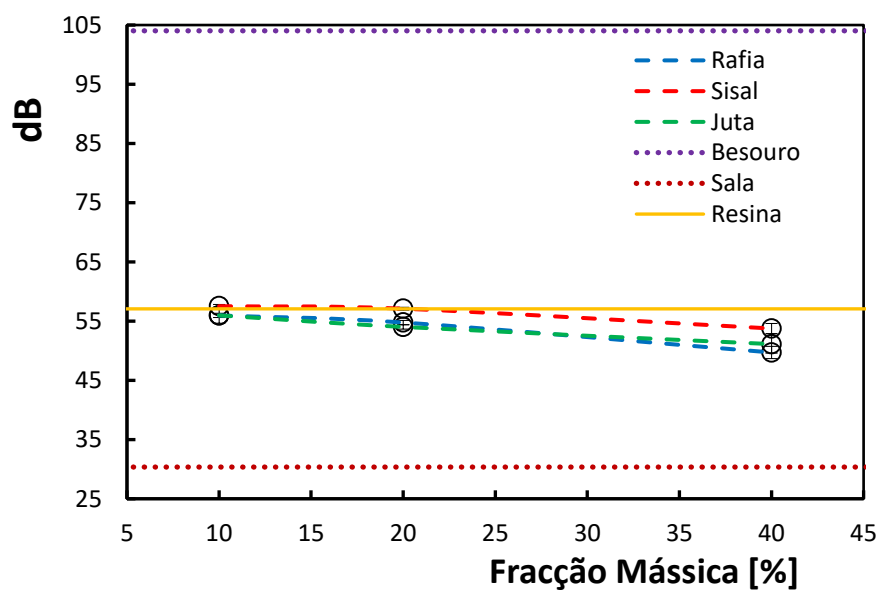


Figura 76 - Intensidade sonora versus fração mássica para as diferentes placas processadas com diferentes tipos de fibras e resina: a) sem material de isolamento; b) som ambiente.

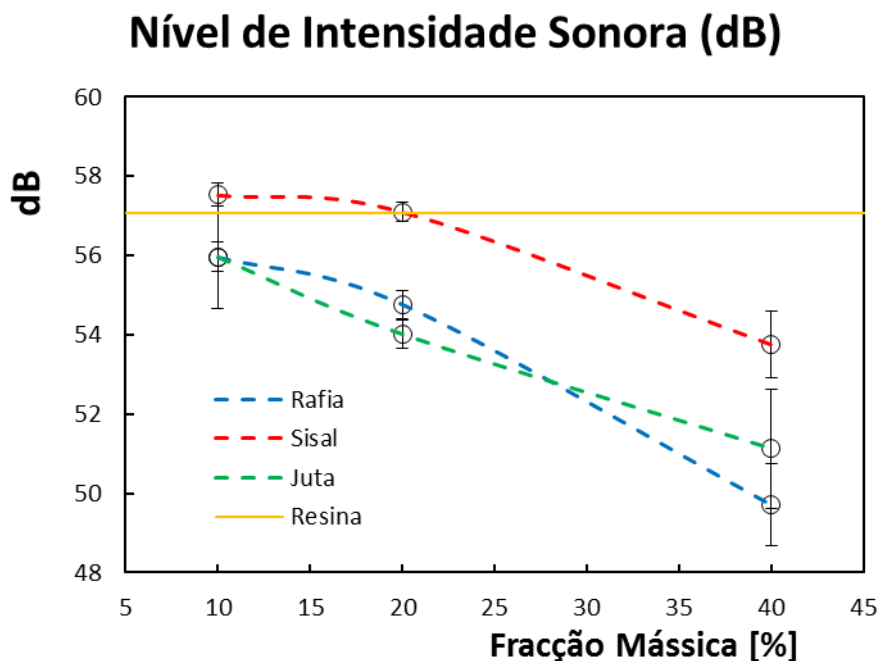


Figura 77 - Intensidade sonora versus fração mássica para as diferentes placas processadas com diferentes tipos de fibras e resina

4.8 Ensaios de Maquinação

Foram realizados ensaios de furação, com diferentes velocidades angulares e diâmetros das ferramentas, por forma a determinar os valores de dano nas superfícies das diferentes placas. Na figura 78 pode observar-se a influência do diâmetro da ferramenta para diferentes velocidades angulares nos valores de dano nas superfícies envolventes dos furos maquinados em placas de resina: para um diâmetro de 10mm é possível observar um aumento dos valores de dano com a diminuição da velocidade da ferramenta; para um diâmetro de 6mm é possível observar uma diminuição dos valores de dano com a diminuição de 3000 para 2000 rpm; no caso da ferramenta de 6mm observa-se um aumento dos valores de dano para a velocidade da ferramenta de 2000 rpm.

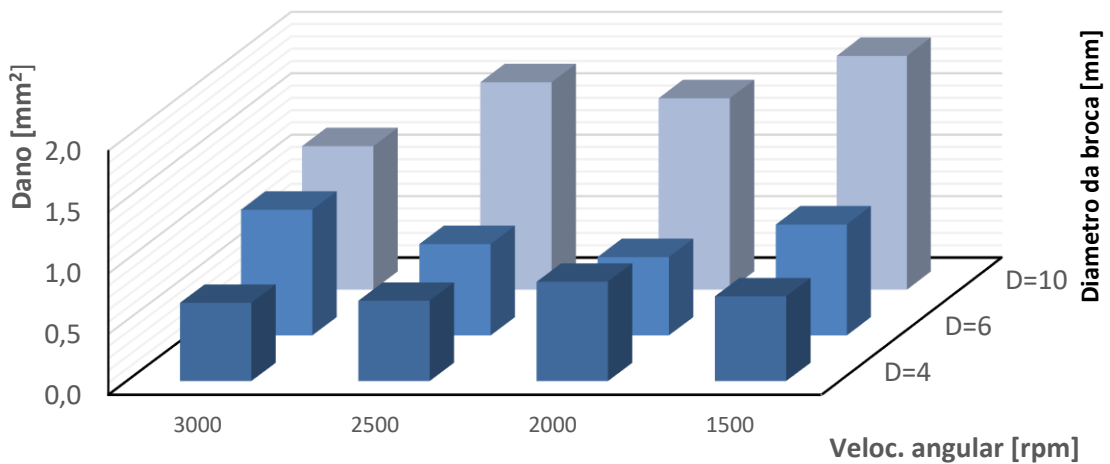


Figura 78 – Valores de Dano versus veloc. Angular e diâmetro de ferramenta para as placas de resina

Na figura 79 pode observar-se a influência do diâmetro da ferramenta para diferentes velocidades angulares nos valores de dano nas superfícies envolventes dos furos maquinados em placas com 40% de fibras de Sisal: para um diâmetro de 10mm é possível observar um aumento dos valores de dano com o aumento da velocidade da ferramenta; para um diâmetro de 6mm é possível observar que os valores de dano são significativamente maiores que os obtidos para a ferramenta de 10mm e que o menor valor de dano se obtém para a velocidade de 2000 rpm; no caso da ferramenta de 4mm são naturalmente muito mais baixos que os obtidos com as outras ferramentas.

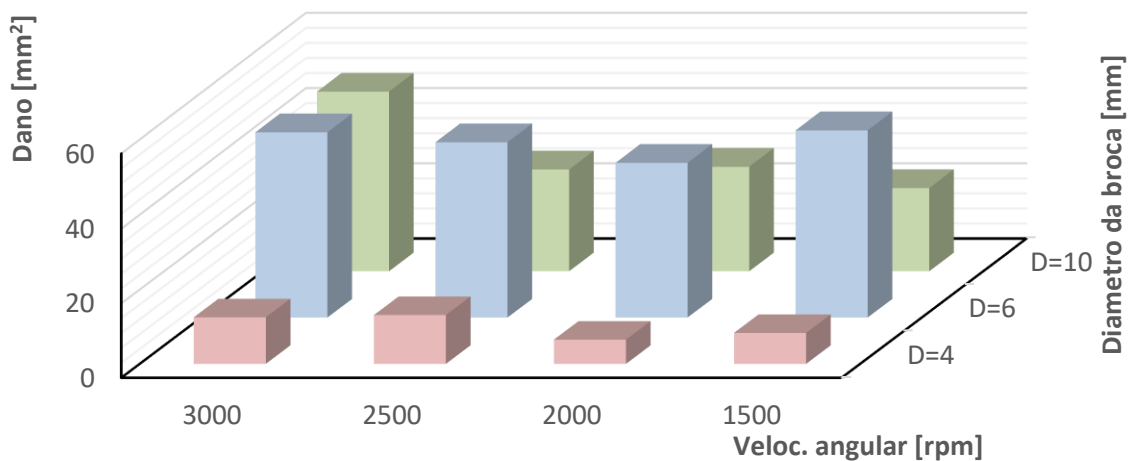


Figura 79 – Valores de Dano versus Velocidade Angular e diâmetro de ferramenta para as placas em compósito com 40% de fibras de Sisal

Na figura 80 pode observar-se a influência do diâmetro da ferramenta para diferentes velocidades angulares nos valores de dano nas superfícies envolventes dos furos maquinados em placas com 40% de fibras de Juta: para um diâmetro de 10mm é possível observar um aumento dos valores de dano para uma velocidade da ferramenta de 2000 rpm; para um diâmetro de 6mm é possível observar que o menor valor de dano ocorre para uma velocidade de 3000 rpm; no caso da ferramenta de 4mm não existem variações significativas dos valores de dano para as diferentes velocidades de ferramenta. As variações observadas podem ser explicadas com base em diferenças de distribuição de fibras nas superfícies das placas.

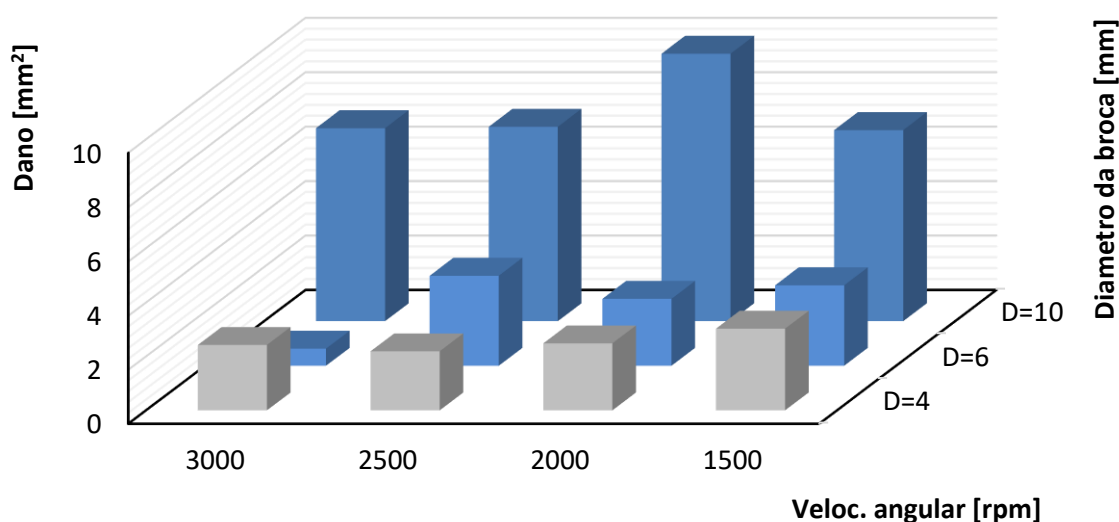


Figura 80 – Valores de Dano versus veloc. Angular e diâmetro de ferramenta para as placas em compósito com 40% de fibras de Juta

Na figura 81 pode-se observar a influência do diâmetro da ferramenta para diferentes velocidades angulares nos valores de dano nas superfícies envolventes dos furos maquinados em placas com 40% de fibras de Ráfia: para um diâmetro de 10mm é possível observar que os valores de dano são significativamente mais baixos que os obtidos com a ferramenta com 6mm de diâmetro e, por outro lado, não apresentam variações significativas com o aumento da velocidade da ferramenta; os valores de dano para um D=4mm são significativamente mais baixos que os obtidos com as outras ferramentas, como seria de esperar. As variações observadas podem ser explicadas com base em diferenças de distribuição de fibras nas superfícies das placas.

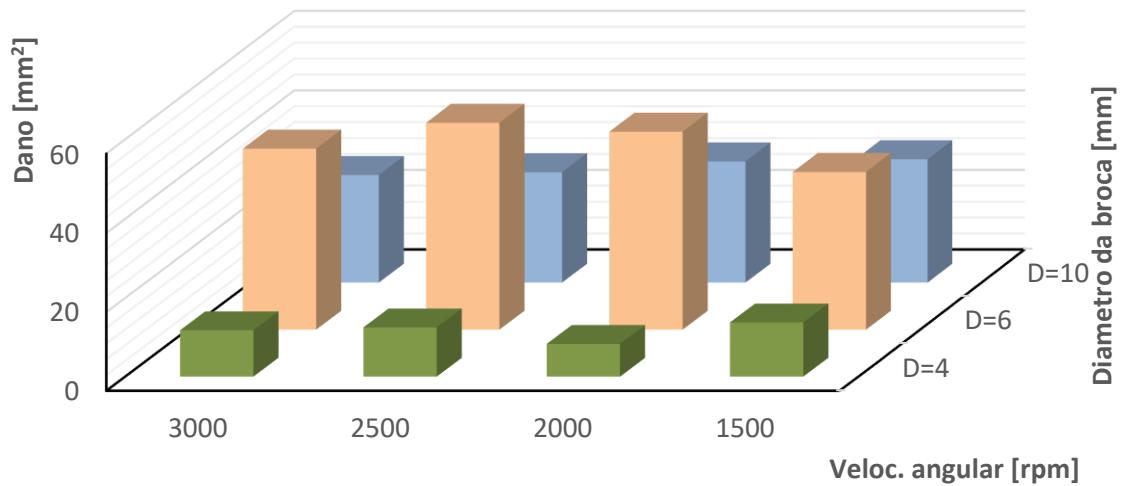


Figura 81 – Valores de Dano versus Velocidade Angular e diâmetro de ferramenta para as placas em compósito com 40% de fibras de Ráfia

4.9 Ensaio de DMA

A partir dos ensaios de DMA é possível obter as curvas de variação do módulo de elasticidade E' , do módulo de perda ou módulo viscoso E'' e da tangente de perda $\tan \delta$ (Tan Delta) em função da temperatura.

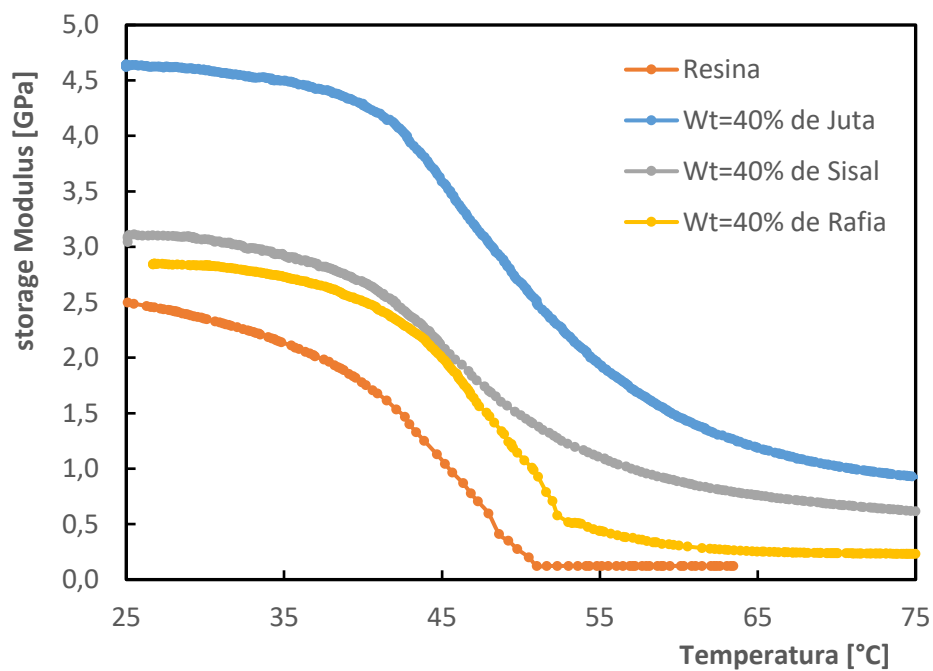


Figura 82 - Variação do Storage modulus (E') versus temperatura para os três compósitos com a maior fração mássica e para a resina.

Na figura 82 é possível observar a variação do *Storage modulus* com o aumento da temperatura para os vários compósitos de matriz polimérica processados com a mesma fração em peso (40%) de fibras curtas de Juta, Rafia e Sisal). Os resultados obtidos nos ensaios de DMA apresentam a mesma tendência que a observada nos ensaios estáticos de flexão em 3 pontos: os compósitos de Juta apresentam valores superiores aos obtidos com os compósitos com fibras de Sisal e de Rafia.

Nas duas figuras seguintes (83 e 84) são apresentadas as curvas de variação de *Tan Delta* e *Loss Modulus* versus temperatura para os três compósitos processados com 40% de fibras de Juta, Sisal e Rafia. A partir dos picos destas curvas é possível determinar as temperaturas de transição vítrea destes materiais processados. Deste modo é possível constatar que existe uma tendência para aumentar a T_g com o reforço das fibras naturais, pois estas são más condutoras de calor.

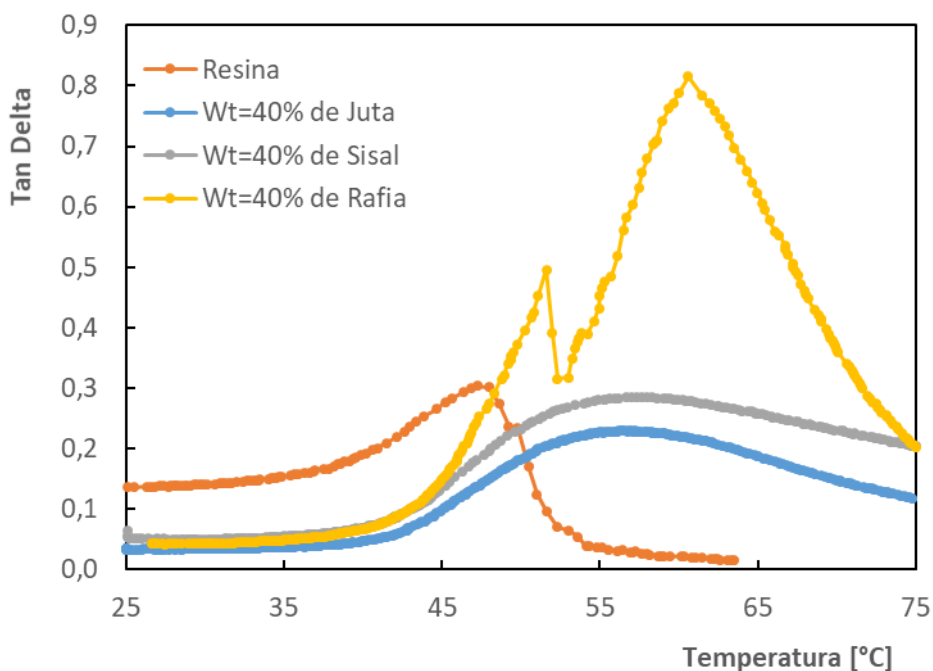


Figura 83 - Variação do *Tan Delta* versus temperatura para os três compósitos com a maior fração mássica e para a resina.

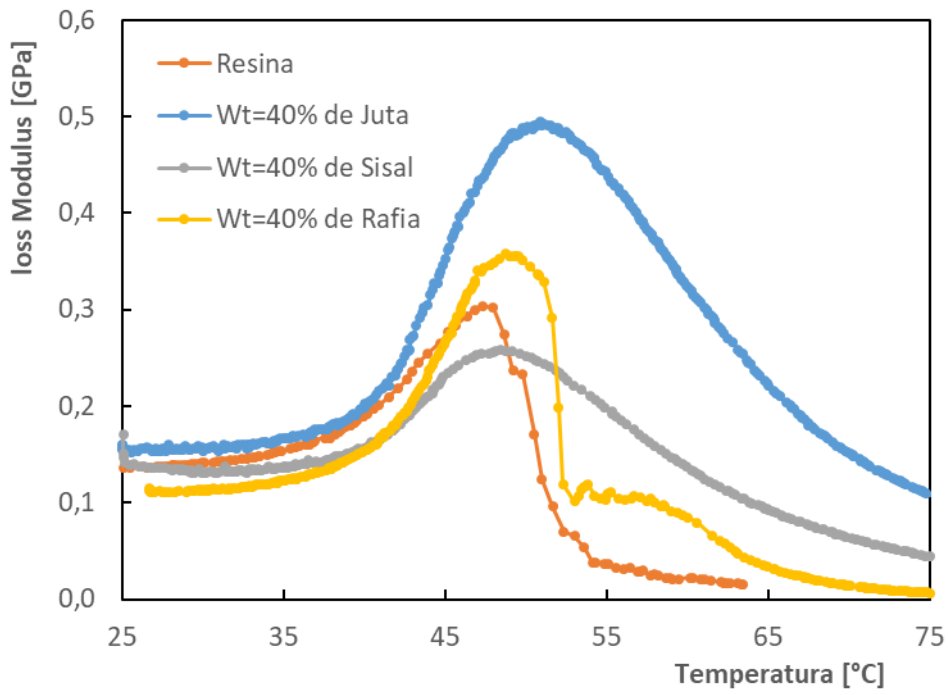


Figura 84 - Variação do Loss Modulus (E'') versus temperatura para os três compósitos com a maior fração mássica e para a resina.

5. Caso de Estudo

Neste capítulo são apresentadas duas possíveis aplicações para os compósitos processados. A primeira é um abrigo modular, o qual é passível de ser montado como se fosse um “Lego”, sem que se tenha de recorrer a ferramentas elaboradas ou a operações de construção igualmente complexas. As peças podem servir igualmente para criar estruturas de divisórias internas de espaços amplos, adaptando os espaços às necessidades (figura 85 Dir.). O segundo caso mostra uma cadeira que permite que o seu tamanho seja adaptado ao espaço ou à quantidade de lugares necessários (figura 85 Esq.).

5.1. Objetivos a cumprir pelos equipamentos

5.1.1. Abrigo

- ✓ Esteticamente agradável
- ✓ Montagem simples
- ✓ Possibilidade de aplicações diferentes
- ✓ Construção modular
- ✓ Privacidade e conforto

5.1.2. Cadeira/banco

- ✓ Esteticamente agradável
- ✓ Montagem simples
- ✓ Versatilidade
- ✓ Conforto

5.2. Modelação 3D

O processo de modelação permitiu investigar diversas soluções com vista a cumprir os objetivos impostos aquando do projeto. Com a construção do modelo virtual foi possível estudar os detalhes e fazer os acertos de medidas.

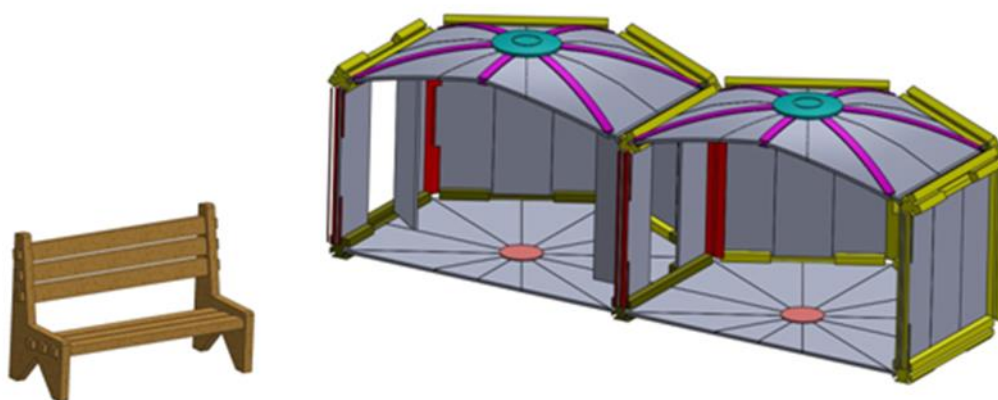


Figura 85 – (Esq.) Modelo da cadeira/banco; (Dir.) Modelo do abrigo na configuração dupla

Paralelamente ao processo de desenvolvimento do conceito, foi possível compreender que a ideia inicial precisava de acertos de modo a que se obtivesse um conceito funcional. As imagens dos equipamentos montados, a possibilidade de visionamento em todos os ângulos e os cortes que possibilitam o visionamento do interior facilitaram a tarefa de desenvolvimento.

Com as modelações prontas foi possível realizar um conjunto de desenhos técnicos em 2D, que havendo vontade de construir os equipamentos, facilitariam a montagem ou o fabrico dos componentes (apresentados em anexo).

5.2.1. Cadeira/banco ensaio de resistência

O desenvolvimento foi feito de modo a que a cadeira com a simples substituição das travessas de assento e encosto, possa servir tanto a 1 como a 3 utilizadores adultos. Para tal, foi feito um teste com a introdução de valores característicos do material obtido experimentalmente e com forças de 300kg (3000N) correspondentes a três adultos. As simulações foram efetuadas somente com o valor correspondente à utilização por três

peças e na configuração com maior vão entre apoios, o que se pode considerar como a maior solicitação admissível, pelo que se pode estipular que a partir dos valores obtidos todas as outras possíveis solicitações serão sempre mais fáceis de se cumprir com êxito. Concluída a caracterização experimental dos materiais e desenvolvido o conceito da cadeira, procurou-se em primeiro lugar analisar até que ponto a cadeira poderia resistir às condições de trabalho.

5.2.1.1 Análise computacional

Um dos objetivos deste trabalho é analisar a aplicação dos materiais compósitos reforçados com fibras de origem vegetal, utilizando o *software* de simulação, que acompanha o programa *Solidworks*. Na tabela 20 são apresentados os valores usados nas simulações feitas para os diversos materiais, sendo que os valores foram obtidos dos valores experimentais realizados neste estudo.

Tabela 19 - valores experimentais usados nas simulações.

Material	T [MPa]	T [Pa] [Nm ⁻²]	E [MPa]	E [Pa] [Nm ⁻²]	Densidade [Kg/m ³]
Resina	114.4	1,144x10 ⁸	2867.6	2,8676x10 ⁹	1191,7
Juta 10%	67.0	6,70x10 ⁷	3014.2	3,0142x10 ⁹	1184,0
Juta 20%	73.8	7,38x10 ⁷	3003.4	3,0034x10 ⁹	1197,2
Juta 40%	81.0	8,10x10 ⁷	5600.0	5,6000x10 ⁹	1415,2
Sisal 10%	58.0	5,80x10 ⁷	3119.2	3,1192x10 ⁹	1189,8
Sisal 20%	58.4	5,84x10 ⁷	3697.8	3,6978x10 ⁹	1215,5
Sisal 40%	74.5	7,45x10 ⁷	3908.1	3,9081x10 ⁹	1257,9
Ráfia 10%	24.9	2,49x10 ⁷	2341.1	2,3411x10 ⁹	1177,5
Ráfia 20%	25.1	2,51x10 ⁷	1978.0	1,9780x10 ⁹	1191,7
Ráfia 40%	10.1	1,01x10 ⁷	1978.0	1,9780x10 ⁹	1210,0

Foi imposto ao programa que fosse considerado que o banco era constituído por uma peça sólida, desprezando as zonas de encaixe, já que não existiam valores da resistência de peças coladas ou montadas com folgas em aperto. Os valores da *Constante de Poisson* para compósitos varia entre -0,414 e 1.97 [93], no entanto os valores consensuais e mais vulgarmente aceites como valores máximos aceitáveis estão na ordem dos 0.5, [94], o que

também está em acordo com o valor máximo aceite pelo programa, pelo que as simulações foram realizadas com 0.45. Foi do mesmo modo imposto que o material seria isotrópico. Na figura 86 é representada a parte do relatório da simulação onde são apresentados os valores de entrada. No caso apresentado é o da resina sem cargas.

Material Properties

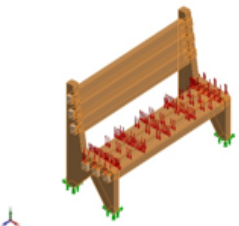
Model Reference	Properties	Components
	<p>Name: <u>Resina</u> Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Max von <u>Mises</u> Stress Yield strength: 1.144e+008 N/m² Elastic modulus: 2.8676e+009 N/m² Poisson's ratio: 0.45 Mass density: 1191.7 kg/m³</p>	<p>SolidBody 1 (Fillet1)(Part1-1), SolidBody 1 (Fillet1)(Part1-2), SolidBody 1 (Fillet1)(Part2-1), SolidBody 1 (Fillet1)(Part2-2), SolidBody 1 (Fillet1)(Part2-3), SolidBody 1 (Fillet1)(Part2-4), SolidBody 1 (Fillet1)(Part2-5), SolidBody 1 (Fillet1)(Part2-6)</p>
Curve Data:N/A		

Figura 86 - Valores para simulação para o banco construído em resina

A malha de ensaio é feita automaticamente, no entanto a mesma foi refinada de forma a aumentar o número de elementos nas zonas de maior solicitação, na figura 87 é apresentada a representação gráfica da malha imposta ao modelo para a simulação.

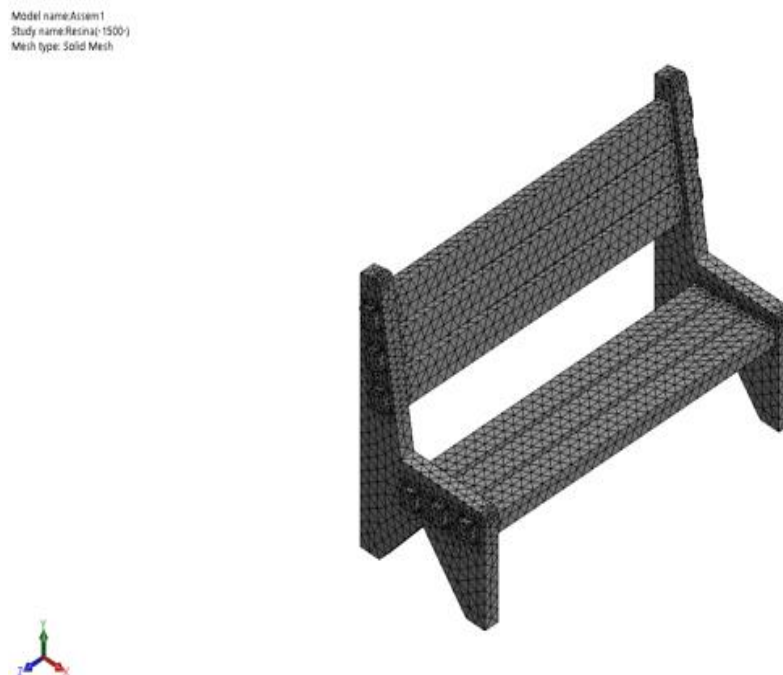


Figura 87 - Malha criada para o ensaio com o modelo construir em resina

5.2.1.2 Análise dos resultados

O programa detalha cada simulação através de um ficheiro, onde são apresentadas as condições de entrada e os valores obtidos após a simulação (apresentado em anexo), estes são divididos em 4 grupos significativos: Forças resultantes, com especificação segundo os três eixos e a resultante; Reação aos momentos (inexistentes nestes ensaios pelas condições de entrada); O critério de falha de von Mises, onde é demonstrada a tendência de escoamento do material solicitado e as forças máximas e mínimas presentes e associadas à localização no modelo (figura 88); Por fim os deslocamentos mínimos e máximos previstos, também estes associados ao nó em que estão localizados (figura 89).

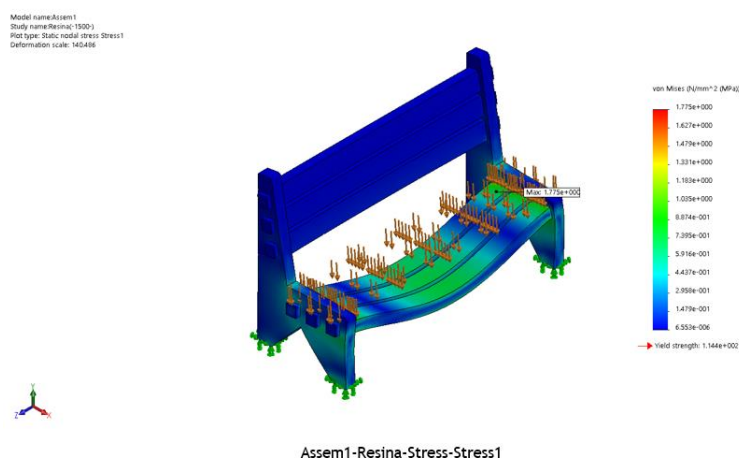


Figura 88 - Esquema cromático do Critério de Von Mises, com indicação do valor máximo e a sua localização

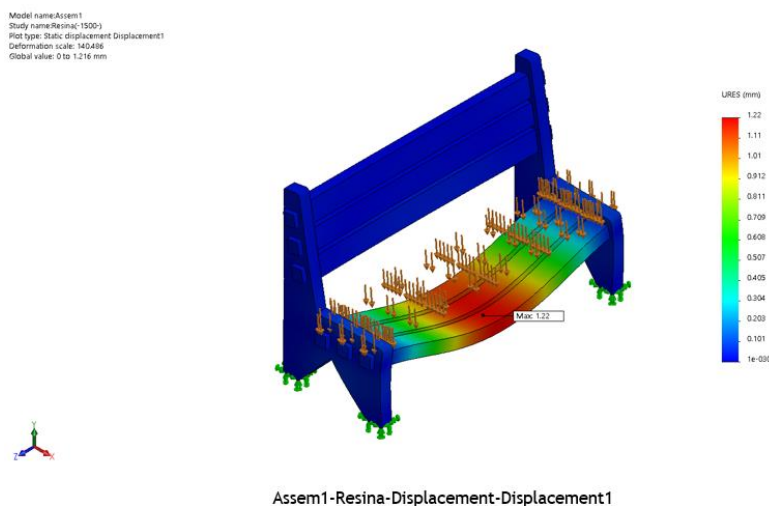


Figura 89 - Esquema cromático dos deslocamentos previstos, com indicação do valor máximo e a sua localização.

Na tabela 21 são apresentados os valores obtidos nas 10 simulações que foram realizadas de modo a comprovar o comportamento dos materiais sujeitos a objeto de estudo.

Com base nos valores obtidos, podemos afirmar que os diversos materiais para as condições impostas suportam sem dificuldade as solicitações a que são submetidos, já que os valores apresentados estão significativamente longe dos valores obtidos experimentalmente e que serviram de base para caracterizar o material.

Tabela 20 - valores obtidos pelas simulações por material

Material	Forças [n] (x;y;z)	Resultante [N]	Critério de Von Mises (min/max) [MPa]	Deslocamento (min/max) [mm]
Resina	(-261.44;2988.62;0.00)	3000	(-6,553/1,775)	(0/1,22)
Juta 10%	(-261.44;2988.62;0.00)	3000	(-6,553/1,775)	(0/1.16)
Juta 20%	(-261.44;2988.62;0.00)	3000	(-6,553/1,775)	(0/1.16)
Juta 40%	(-261.44;2988.62;0.00)	3000	(-6,553/1,775)	(0/0,623)
Sisal 10%	(-261.44;2988.62;0.00)	3000	(-6,553/1,775)	(0/1.12)
Sisal 20%	(-261.44;2988.62;0.00)	3000	(-6,553/1,775)	(0/0.943)
Sisal 40%	(-261.44;2988.62;0.00)	3000	(-6,553/1,775)	(0/1.02)
Ráfia 10%	(-261.44;2988.62;0.00)	3000	(-6,553/1,775)	(0/1,22)
Ráfia 20%	(-261.44;2988.62;0.00)	3000	(-6,553/1,775)	(0/1,22)
Ráfia 40%	(-261.44;2988.62;0.00)	3000	(-6,553/1,775)	(0/1.54)

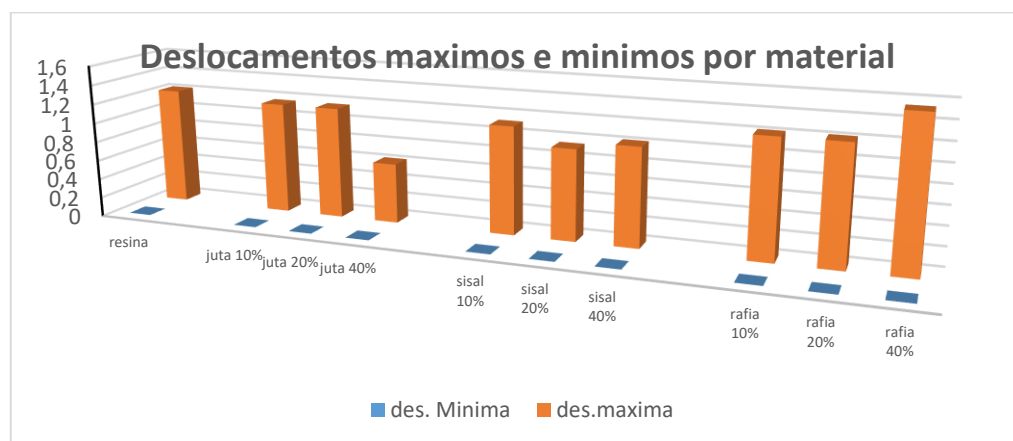


Figura 90 - Deslocamentos mínimos e máximos obtidos nas simulações por material

Os deslocamentos (figura 90) sofridos pelos objetos de estudo não são significativos tendo em conta o tamanho das peças. Perante este cenário, não foram realizadas as

simulações para o banco com os tamanhos padrão para o uso de uma ou duas pessoas, pelo fato de as secções serem as mesmas e as cargas inferiores, o que levaria a obter valores de deslocação mais pequenos assim como os valores do *Critério de Von Mises*.

5.3. Prototipagem rápida

No tipo de máquinas de prototipagem rápida, as vulgarmente conhecidas por impressoras 3D, o funcionamento baseia-se na extrusão de plástico e na deposição por camadas, o funcionamento é muito similar ao de uma qualquer máquina de comando numérico (CNC) de maquinação. Enquanto a máquina de maquinação usa as diversas ferramentas de corte para modular a peça a construir a partir de um bloco maciço, a impressora 3D, através do extrusor, deposita o material necessário que vai constituir o objeto (sólido).

De modo muito sucinto, a máquina *CubePro da 3DSystem* é constituída basicamente por uma armação que suporta o extrator e permite o movimento deste nos eixos X e Y. A mesa de construção, permite os movimentos no eixo dos Z, movimentos estes promovidos por motores de passo. As temperaturas do interior da máquina e do extrusor são controlados por circuitos eletrónicos.

Para o caso foi feito uso de uma máquina *CubePro da 3DSystem*, o material aplicado foi o ABS, pelo fato de a máquina de impressão não permitir trabalhar com resinas termoendurecidas.

5.3.1. Padrão STL

De modo a ser possível construir os modelos pretendidos, os programas devem estar em ficheiros no formato “.stl” (*STereoLithography*), ferramenta vulgarmente compatível com as diversas ferramentas de CAD. Vulgarmente tratado por STL (*Standart Tesseellation Language*), este formato é compatível com a maioria dos dos *softwares* de desenho paramétrico e largamente usado para a prototipagem rápida, tendo sido criado por Albert-Battaglin *consulting* [95] de modo a descrever as superfícies do objeto, através dos vértices que constituem cada uma das faces (figura 91), sem apresentar informação

referente a texturas, cores e outros atributos não numéricos, vulgarmente visíveis nos modelos 3D [96].

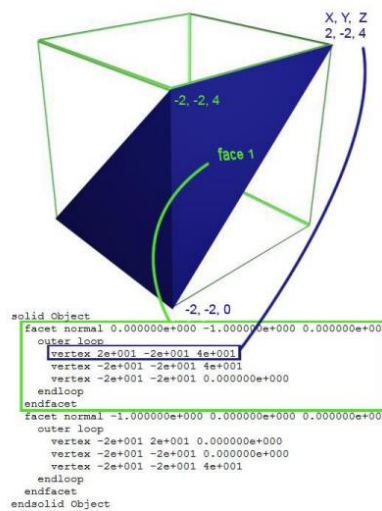


Figura 91-Geometria e código STL associado, adaptado de [96]

5.3.2. Fatiar o sólido e ficheiro de impressão

Após exportar o objeto a partir do ficheiro de STL, o mesmo tem de ser tratado por um *software* que proceda ao laminar do mesmo. Este *software* que acompanha a máquina de impressão extra, divide o sólido em camadas e torna-as compatíveis com a espessura do bico do extrusor, espessura de filamento e tipo material, espessuras de camada e códigos start-end. No caso do equipamento e programa usado, o mesmo também permite a programação de: saia de adesão, densidades das peças, presença de partes de suporte e tipo de material, disposição das peças na mesa de construção (figura 92) entre outras.

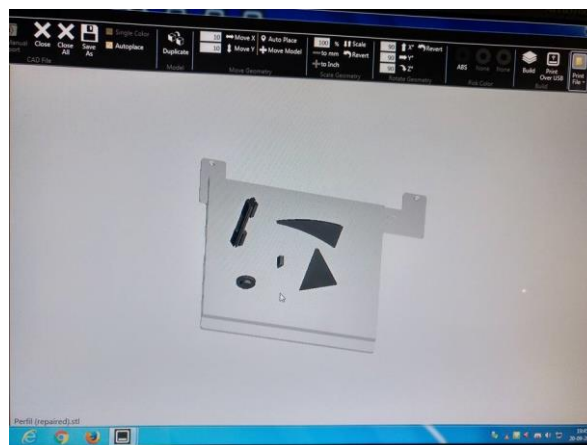


Figura 92 - Programação da disposição das peças para impressão

5.3.3. Impressão

Com o programa criado foram impressas as peças que permitem a montagem do modelo físico à escala de 1/10. A figura 93 mostra a máquina no processo de depósito de ABS na forma extrusiva durante a construção do modelo.

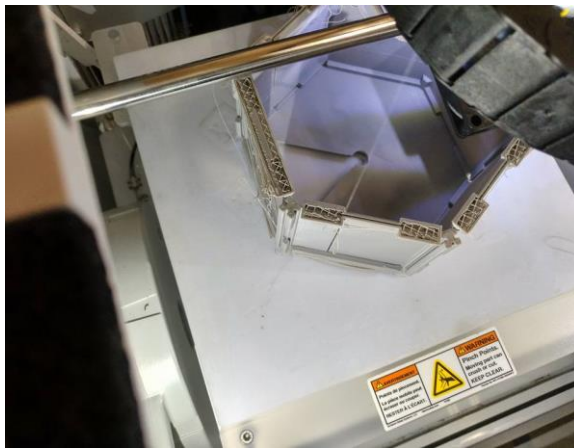


Figura 93 - Impressora 3D em funcionamento

Na figura 94 são apresentadas diversas peças impressas já sem os característicos elementos de suporte que permitem a construção dos elementos com geometrias complexas.

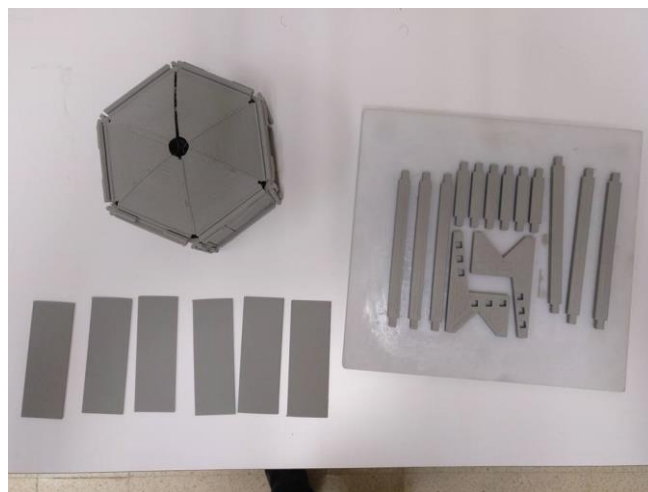


Figura 94 - Peças impressas em 3D dos modelos de estudo

6. Conclusões e trabalhos futuros

6.1. Trabalhos futuros

✓ **Tenacidade a fratura**

Pelo fato do material não ser totalmente isotrópico é importante verificar como se comporta e tentar conseguir um padrão para o caracterizar, já que se pode considerar que este material tem normalmente fendas.

✓ **Análise micrográfica**

Para possibilitar ter uma real noção da distribuição das cargas na matriz e ver as tendências das mesmas.

6.2. Conclusões

Foram processados por moldação e por compressão, compósitos com diferentes frações em peso (10, 20 e 40%) de fibras curtas de Juta, Sisal e Ráfia. Estes materiais foram caracterizados em termos físicos (densidade, condutibilidade térmica, ensaios acústicos e absorção de água) e mecânicos (efeito do tempo de imersão em água e efeito da radiação por UV nas propriedades mecânicas de flexão em 3 pontos, ensaios de DMA e análise de dano em placas maquinadas por brocas com 3 diâmetros).

✓ **Densidade**

Foram obtidos os valores experimentais e teóricos (lei das mistura) da densidade e foram obtidas diferenças significativas, que podem ser explicadas com base em erros de pesagem e de processo de fabrico dos materiais compósitos (distribuição das fibras na matriz, tempo e temperaturas de cura, **porosidades**, entre outras).

✓ **Condutibilidade térmica**

Foi possível constatar que os diferentes compósitos com fibras de Juta apresentam o melhor comportamento em termos de isolamento térmico. Os compósitos com fibras de Ráfia apresentam um comportamento intermédio entre os compósitos de Juta e de Sisal. Constata-se que os compósitos com fibras de Sisal apresentam um baixo desempenho em termos de isolamento térmico e que o compósito com 40% de fibras de Sisal apresenta um comportamento semelhante ao da resina.

✓ **Ensaio acústico**

A partir dos resultados acústicos foi possível constatar que com o aumento da fração mássica se observa uma diminuição significativa da intensidade sonora. Os compósitos processados com fibras de Sisal apresentam o pior desempenho, sendo que só o compósito com 40% de fibras apresenta um comportamento em termos de desempenho acústico melhor que a placa de resina.

✓ **Absorção de água**

Os compósitos com fibras de Juta registaram nos primeiros 10 dias (de imersão em água) a maior taxa de absorção de água e para valores superiores a 40 dias foram atingidos os valores de saturação para os três compósitos enquanto a resina não atingiu o nível de saturação. As grandes diferenças registadas nos compósitos relativamente à resina podem ser explicadas com o fato das fibras naturais terem taxas de absorção de água significativas e também por as fibras nas secções transversais das placas estarem mais expostas (provetes maquinados).

Os compósitos com fibras de Sisal tiveram a maior taxa de absorção de água e com valores de absorção superiores aos compósitos com fibras de juta e, para valores superiores a 20 dias foram atingidos os valores de saturação para os materiais compósitos com fibras de Sisal.

Os compósitos com fibras de Ráfia registaram nos primeiros 20 dias os maiores valores de absorção de água. Para valores superiores a 60 dias (de imersão em água) ainda não foram atingidos os valores de saturação.

✓ **Efeito do tempo de imersão em água nas propriedades mecânicas de flexão em 3 pontos**

Os compósitos com fibras de Juta apresentaram, com o aumento do tempo de imersão em água, uma diminuição tanto na tensão máx. em flexão, como nos valores de módulo. Estes resultados são coerentes com os resultados da literatura científica. É possível observar uma forte diminuição das propriedades mecânicas nos dois primeiros dias de imersão em água, seguida de manutenção das propriedades mecânicas com o aumento do tempo de imersão em água.

✓ **Efeito da radiação por UV nas propriedades mecânicas de flexão em 3 pontos**

Os compósitos com 40% de fibras de Juta e resina, com o aumento do tempo de radiação por UV, apresentam um aumento da tensão máxima em flexão ($\sigma_{\text{máx. flexão}}$) para tempos de radiação por UV de 20 dias. Por outro lado, no caso dos compósitos com 10 e 20% de fibras constatou-se a existência de uma pequena tendência para aumentar entre os 20 e os 30 dias de radiação por UV. A resina, entre os 20 e 30 dias de tempo de radiação por UV, apresenta uma forte diminuição. Estes materiais em termos de rigidez apresentaram: uma diminuição até aos 20 dias de radiação por UV, no caso da resina, apresentando um aumento dos valores de rigidez para os 30 dias de tempo de radiação; o compósito com 10% de fibras de Juta apresenta a mesma tendência que a resina mas com valores de módulo mais elevados; o compósito com 20% de fibras de Juta apresenta uma tendência crescente dos valores de módulo até aos 30 dias de radiação por UV.

Os **compósitos com fibras de Sisal**, com o aumento do tempo de radiação por UV, foi possível observar uma tendência para aumentar o valor da tensão máxima em flexão ($\sigma_{\text{máx. flexão}}$) até aos 30 dias. No caso do módulo, estes compósitos apresentam uma tendência para aumentar entre os 0 e os 20 dias e um aumento significativo para os 30 dias de tempo de radiação por UV.

No caso dos **compósitos com fibras de Ráfia**, com o aumento do tempo de radiação por UV, verificou-se uma muito ligeira tendência para aumentar a tensão máxima à flexão até 20 dias, sendo que esta tendência foi mais significativa entre os 20 e os 30 dias de radiação por UV para os compósitos com 10 e 20% de fibras. O compósito com 40% de

fibras de Ráfia apresentou uma tendência para diminuir entre os 20 e os 30 dias de tempo de radiação por UV. Em termos do módulo constatou-se que os materiais compósitos apresentam uma tendência para diminuir entre os 0 e os 20 dias, apresentando os compósitos com 10 e 20%, entre os 20 e os 30 dias de tempo de radiação por UV, um forte aumento da rigidez. O compósito com 40% de fibras de Ráfia apresenta uma diminuição entre os 0 e os 30 dias de tempo de radiação por UV.

✓ **Ensaio de DMA**

Foram obtidas as de variação do Storage modulus versus temperatura para os vários compósitos processados com a 40% de fração em peso de fibras curtas de Juta, Ráfia e Sisal. Os resultados obtidos apresentam a mesma tendência que a observada nos ensaios estáticos de flexão em 3 pontos: os compósitos de Juta apresentam valores superiores aos obtidos com os compósitos com fibras de Sisal e de Ráfia.

Foram também obtidas as curvas de variação de Tan Delta e Loss Modulus versus temperatura para estes compósitos e obtidos os valores de Tg. Foi possível constatar que existe uma tendência para aumentar o Tg com o reforço das fibras naturais, pois estas são más condutoras de calor.

✓ **Análise de dano em placas maquinadas**

Foram realizados ensaios de maquinação de furos nas diferentes placas processadas (resina e compósitos com 40% de fibras curtas) e obtidos os valores de dano. As ferramentas com maior diâmetro apresentam naturalmente maiores valores de dano. A influência da velocidade da ferramenta apresenta alguma incoerência que pode ser explicada com base em diferenças de distribuição de fibras nas superfícies das placas e em erros na operação de maquinação.

7. Bibliografia

- [1]- <http://www.ecodesenvolvimento.org/colunas/lixo-marinho/nosso-lixo-de-cada-dia-de-casa-para-o-mar> , consultado em 04/06/17
- [2]- Açores, Governo Regional dos. 2004. Governo dos Açores. [Online] Governo Regional dos Açores, 2004. [Citação: 22 de Fevereiro de 2017.] <https://www.azores.gov.pt>.
- [3]- Ana Mafalda F.M. Ventura.2009 Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, Vol. 21, n.º 3/4
- [4]-www.materiaincognita.com.br/avalanche-de-turistas-e-lixo-poe-monte-everest-em-risco/ ,consultado em 11-06-17
- [5]- **Silva, C. (2006)**. Design sustentável: A importância das fibras de juta, sisal e coco, no planeamento de produtos e éticas sustentáveis. Tese de Mestrado em Desenho industrial. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Unesp – Bauru, Brasil.
- [6]- **Assunção, J. (2008)**. *Uma proposta de implementação de gestão ambiental no laboratório de análises de solos da UFSM*. Tese de Mestrado em Produção Industrial. Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.
- [7]- **Caetano, N. (2009)**. *Análise da viabilidade económica-financeira de uma unidade de resíduos industriais não perigosos em Portugal*. Tese de Mestrado em Gestão. ISCTE, Lisboa.
- [8]- **Mateus, R. (2004)**. *Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade do Minho - Escola de Engenharia, Minho.
- [9]- **Nunes, R. (2010)**. *Uma nova estratégia de design de produto virada para o “Faça você mesmo”*. Tese de Mestrado em Design do Produto. Faculdade de Arquitectura de Lisboa, Lisboa.
- [10]- **Dalberto, D. (2005)**. *Acções estratégicas adotadas para a gestão ambiental e da segurança no trabalho em usina hidrelétrica no Brasil*. Tese de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- [11]- **Esteves, J. (2009)**. *Novos Materiais e Novas Estruturas*. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia - Encontro ciência 29-30 de Julho 2009.
- [12]- **Pouzada, Carlos Bernardo e António. (1983)**. *Introdução à Engenharia de Polímeros*. Braga : Universidade do Minho, 1983.
- [13]- **Roman, Ademar. (1995)**. *Transformação do Polietileno - PEBD*. São Paulo : Érica, 1995. ISBN 85-7194-264-1.
- [14]-**Feltre, Ricardo.(1990)**; Fundamentos da Química, vol. Único, Ed. Moderna, São Paulo/SP.
- [15]- **Ramos, C. (2006)**. *Materiais Compósitos Inteligentes*. Tese de Doutoramento em Ciência da Engenharia. Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia, Porto.

- [16]- **Furtado, S. (2009)**. *Cálculo estrutural numérico e experimental da carenagem de um veículo*. Tese de mestrado em Engenharia Mecânica. IST, Lisboa.
- [17]- **Panzer, T. (2007)**. *Desenvolvimento de um Material Compósito Cerâmico para Aplicação em Mancais Porosos*. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- [18]- **Ferreira, A. (2010)**. *Desenvolvimento de produtos tecnológicos usando resíduos de extração miniera*. Tese de Mestrado em Design Industrial Tecnológico. Universidade da Beira Interior, Covilhã.
- [19]- **Fernandes, T. (2008)**. *Preparação e caracterização de novos materiais compósitos baseados em fibras de celulose*. Tese de Mestrado em Química. Universidade de Aveiro, Aveiro.
- [20]- **Ashby, M., Bréchet, Y. J., Cebon, D., Salvo, L. (2004)**. *Selection Strategies for Materials and Processes*. Materials and Design.
- [21]- **Ventura, A. (2009)**. *Os compósitos e a sua aplicação na reabilitação de estruturas metálicas*. Ciência e tecnologia dos materiais, vol. 21, n.º 3/4.
- [22]- **Ashby, M., Bréchet, Y. J., Cebon, D., Salvo, L. (2004)**. *Selection Strategies for Materials and Processes*. Materials and Design.
- [23]- **Fernandes, T. (2008)**. *Preparação e caracterização de novos materiais compósitos baseados em fibras de celulose*. Tese de Mestrado em Química. Universidade de Aveiro, Aveiro.
- [24]- **Silva, J. (2005)**. *Pré-impregnados de matriz termoplástica: Fabrico e transformação por compressão a quente e enrolamento filamentar*. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia, Porto.
- [25]- **Diacenco, A. (2010)**. *Modelagem por elementos finitos de materiais compósitos estruturais incorporando material viscoelástico para o controle passivo de vibrações e ruído*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.
- [26]- **Júnior, C. (2003)**. *Avaliação das propriedades mecânicas de poliuretano tendo como agente de reforço uma nova fibra inorgânica natural*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- [27]- **Santos, E. (2007)**. *Avaliação Mecânica e Microestrutural de Compósitos de Matriz de Poliéster com Adição de Cargas Minerais e Resíduos Industriais*. Tese de Mestrado Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande Norte, Natal.
- [28]- **Ramos, C. (2006)**. *Materiais Compósitos Inteligentes*. Tese de Doutorado em Ciência da Engenharia. Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia, Porto
- [29]- **Harris, B. (1999)**. *Engineering composite materials*. London : The Institute of Materials.
- [30]- **Romão, C. (2003)**. *Estudo do Comportamento Mecânico de Materiais Compósitos de Matriz Polimérica Reforçados com Fibras Naturais*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia, Porto.

- [31]- **Rodrigues, L. (2007).** *Efeitos do Envelhecimento Ambiental Acelerado em C ompositos Poliméricos*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande Norte, Natal.
- [32]- **Nechwatal, A (2003).**; Mieck, K. P. & Reu mann, T. - *Composites Science And Technology*, 63, p.1273, 2003.
- [33]- **Mattoso, L. H. C.; Pereira, N. C. ; Souza, M. L. & Agnelli, J. A. M. (1999)**- Brasília: EMBRAPA Produ o e Informa o, in: Odilon R R F da Silva; Napoleo E D M Beltrão. (Org.). *O Agro Negócio do Sisal no Brasil*. 1. ed. , p.161.
- [34]- **Cavalcanti, W. (2006).** *Compositos poliéster/tecido tramados vegetal - vidro: caracteriza o mecânica e simula o da absor o de  gua*. Tese de Doutorado em Engenharia de Processos. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- [35]- **Marinelli, A.(2008)**- Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 18, n  2, p. 92-99, 2008
- [36]- **Juantes, L., Marques, A. e Figeiras, J. (1996).** *Materiais Compósitos no Reforço de Estruturas de Beto*. Porto : Publica o de Luis Juantes.
- [37]- **Leal, R.P. (2007).** *Processamento de materiais compósitos. Molda o fechada*. Coimbra : s.n.
- [38]- **Gonçalves, S. (2005).** *Produ o artesanal nos lanif cios – uma proposta de inova o*. Tese de Mestrado em Design Industrial. Universidade do porto - Faculdade de Engenharia, Porto.
- [38]- **Thomas, N. (2010).** *Compósitos de poliéster Reforçados com Tecidos de Fibras de Licuri Tratadas para a Constru o Civil*. Tese de Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana. Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador .
- [39]- **Lima, A. (1997).** *Caracteriza o do comportamento   fractura de materiais compósitos*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade do porto - Faculdade de Engenharia, Porto.
- [40]- **Franco, R. (2008).** *Produ o de Componentes em Materiais Compósitos por Infusão de Resina*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. IST, Lisboa.
- [41]- **Fernandes, T. (2008).** *Prepara o e caracteriza o de novos materiais compósitos baseados em fibras de celulose*. Tese de Mestrado em Química. Universidade de Aveiro, Aveiro.
- [42]- **Milanese, A. (2008).** *Caracteriza o de Compósitos de Matriz Poliméricas Reforçadas com fibras de Sisal e de Vidro*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Engenharia Guaratinguetá, Guaratinguetá.
- [43]- **Ventura, A.(2009).** *Os compósitos e a sua aplica o na reabilita o de estruturas metálicas*. *Ciência e tecnologia dos materiais*, vol. 21, n.  3/4.
- [44]- **Mulinari, D. (2009).** *Comportamento térmico, mecânico e morfológico dos compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com fibras de celulose do bagaço de cana de a u ar*. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica  rea dos materiais. Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Engenharia, Guaratinguetá.

- [45]- **Alves, C. (2009).** *Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composite.* s.l. : Elsevier, Journal of Cleaner Production.
- [46]- **Furtado, S. (2009).** *Cálculo estrutural numérico e experimental da carenagem de um veículo.* Tese de mestrado em Engenharia Mecânica. IST, Lisboa.
- [47]- **Clemons, C. (2010).** *Functional Fillers for Plastics: Second, updated and enlarged edition.* s.l. : Marino Xanthos, Natural Fibers.
- [48]- **Alves, C. (2009).** *Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composite.* s.l. : Elsevier, Journal of Cleaner Production.
- [49]- **Santiago, (2007).** *Comportamento mecânico do compósito de resina ortoftálica reforçado com fibra de juta e tratado quimicamente com hidróxido de sódio.* Tecnologia e Desenvolvimento Sustentável.
- [50]- **Silva, C. (2006).** *Design sustentável: A importância das fibras de juta, sisal e coco, no planejamento de produtos e éticas sustentáveis.* Tese de Mestrado em Desenho industrial. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Unesp – Bauru, Brasil.
- [51]- **Silva, J. (2005).** *Pré-impregnados de matriz termoplástica: Fabrico e transformação por compressão a quente e enrolamento filamentar.* Tese de Doutoramento em Engenharia Mecânica. Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia, Porto.
- [52]- **Krauter, S;** Geração Eólica, Fontes de Energia Renováveis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, <http://www.solar.coppe.ufrj.br> 13/08/17
- [53]- **Rezende, C., Botelho, C. (2000)** ;Polímeros vol.10 n.2 São Carlos Apr./June
- [54]- **Campilho, R. (2005).** *Modelação da Execução de Reparações em Materiais Compósitos.* Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial. Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia Mecânica, Porto.
- [55]- <http://www.cimentoitambe.com.br/navios-de-guerra> ; consultado em 13/08/17
- [56]- **Vasconcelos, P. (2005).** Impact fracture study of epoxy-based composites with aluminium particles and milled fibres. Portugal : Journal of Materials Processing technology,
- [57]- **Westrupp, F. L. (2008).** Análise da Viabilidade da Usinagem de compositos de matriz epoxi com cargas de ferro visando a sua utilização em moldes de injeção. Florianópolis : Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.
- [58]- <http://www.baserevest.com.br/novo/artigos/os-primordios-da-resina-epoxi/> (consultado em 20/08/17)
- [59]- **Carolin, A. June, (2003).** Carbon fibre reinforced polymers for strengthening of structural elements. s.l. : Division of Structural Engineering: Lulea University of Technology, June, 2003.
- [60]- **Neves, V. (2009).** Comportamento mecânico de compósitos com aplicações navais. Aveiro : Universidade de Aveiro, 2009.

[61]- **Marcelo F.S.F. de Moura, Alfredo B. de Moraes, António G. de Magalhães (2011)** – “Materiais compósitos – Materiais, fabrico e comportamento mecânico”, Publindústria, Produção de comunicação Lda.

[62]- **Caroline Baillie (2004)** – “Green Composites – Polymer composites and the environment”, Woodhead Publishing Ltd.

[63]- **Moura, M. F., Moraes, A. B., & Magalhães, A. G. (2011)**. Materiais Compósitos -
Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico.Publindústria.

[64]- **Rubio, J.; Silva, L.; Abrão, A.; Faria, P.; Davim, J. (2007)** ;Furação com alta velocidade de corte em compósitos Poliméricos reforçados com fibras de vidro, Ciência e Tecnologia dos Materiais, Vol. 19, n.º 3/4, 2007

[65]- **Khashaba, U. A. (2004)**; Delamination in Drilling GFRThermoset Composites. Composite Structures. 2004: 63; 313-327.

[66]- **Lachaud, F.; Piquet, R.; Collombet, F.; Surcin, L. (2001)**. Drilling of Composite Structures, Composite Structures. 2001: 52; 511-516.

[67]- **Caprino, G. And Tagliaferri, V.:(1995)** ;Damage development in drilling glass fibre reinforced plastics, International Journal of Machine Tools & Manufacture. 1995: 35(6); 817-829

[68]- **Elzenheimer, J.; Liebeck, T.; Tschannerl, M.(2005)** Pesquisa mostra que ainda há muito potencial para ser explorado na furação. Máquinas e Metais. 2005: 470; 40-45.

[69]- **Enemuoh, E.U., El-Gizawi, A.S. and Okafor, A.C. (2001)**. An approach for development of damage-free drilling of carbon fiber reinforced thermosets, International Journal of Machine Tools & Manufacture. 2001: 41; 1795-1814.

[70]- **ERIKSEN, E.(1999)**, Influence from Production Parameters on the Surface Roughness of a Machined Short Fibre Reinforced Thermoplastic, International Journal of Machine Tools& Manufacture, vol. 39, pg 1611 - 1618, 1999

[71]- **ABRÃO, A. M., ASPINWALL, D. K., WISE, M. L.,(1993)**; A Review of Polycrystalline Cubic Boron Nitride Cutting Tool Developments and Application, A Review of PCBN Cutting Tool Developments, 1993;

[72]- **GEY, C.(2006)**, Novos Revestimentos Dão Origem a Ferramentas mais Eficientes, Máquinas e Metais, vol. 485, pg. 52 – 67

[73]- **ABELE, E., DÖRR, J.(2002)**, Ferramentas de Corte Protegidas contra a Defasagem Tecnológica, Máquinas e Metais, vol. 439, pg. 38 – 53

[74]- **ÁVILA, R. F.(1999)**, A Influência do Uso de Fluidos de Corte sobre o Desempenho de Ferramentas Cerâmicas, Belo Horizonte, Escola de Engenharia da UFMG, 1999, 77pg. (Dissertação de Mestrando em Engenharia Mecânica – Processo de Fabricação)

[75]- **Faria, P.(2007)**;Estudo sobre a Furação de Compósito de Resina Epóxi Reforçado com Fibras de Vidro, Belo Horizonte – fevereiro de 2007, Universidade Federal de Minas Gerais Escola de Engenharia decertação de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

[76]- **DAVIM, J. P., REIS, P., ANTONIO, C. C.** (2004), Experimental Study of Drilling Grass Fiber Reinforced Plastic (GFRP) Manufactured by Hand Lay-Up, Composite Science and Technology, vol. 64, pg. 289 - 297, 2004

[77]- **J. P. Holrnan, (1986)**; Thermodynamics, 3^a.ed., McGraw-Hill Book Company, New York,1986.

[78]- www.aulas-fisica-quimica.com/8f_07.html; consultado em 13/09/17

[79]- <http://www.nauticexpo.fr> (consultado em 17/08/17)

[80]- **Vieira, C. (2008)**. Avaliação de Métodos de Fabricação de Mantas Híbridas de Fibras Curtas de Vidro e Sisal em Compósitos Poliméricos. Tese de Mestrado em Materiais. Universidade de Caixias do Sul, Caixias do Sul.

[81]- **Pigatto, C. (2009)**. Polipropileno e Blendas PP/EPDM Reforçadas com Fibras Curtas de Sisal. Tese de Mestrado Engenharia Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

[82]- **Martin, A. (2009)**. Caracterização Química e Estrutural de Fibra de Sisal da Variedade Agave sisalana. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 19, nº 1, p. 40-46 ;

[83]- **Yan, L. (2000)**. Sisal fibre and its composites: a review of recent developments. s.l. : Elsevier, Composites science and technology.

[84]- **Cunha, M. (2010)**. *Análise do Processo de Gestão de Custos dos Agentes que Compõem a Cadeia Produtiva da Cultura do Sisal no Estado da Paraíba*. Tese de Mestrado em Ciências Contábeis. Universidade de Brasília, João Pessoa .

[85]- **ANNUNCIADO, T. (2005)**. *Estudo da Chorisia speciosa e outras fibras vegetais como absorventes para o sector de petróleo*. Tese de Mestrado e Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

[86]- **Braga, R. (2010)**. *Análise da utilização de fibras naturais aglutinadas com resina epóxi, para fabricação de uma cobertura central do porta-malas de um automóvel de passageiros*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Católica de Porto Alegre, Belo Horizonte.

[87]- **Anna Guglielmo, Pietro Pavone y Cristina Salmeri**
http://www.dipbot.unict.it/palme_es/Descr04.html (acedido 12/08/17)

[88]- **Brown, Roger P. 1988**. *Handbook of Plastic Test Methods*. Nova Iorque : The Plastics and Rubber Institute, 1988. 0-582-03015-3.

[89]- **UALG. 2017**. Universidade do Algarve. Páginas pessoais Universidade do ALgarve. [Online] 2017. [Citação: 11 de 02 de 2017.] <http://w3.ualg.pt/~pjsilva/guias/principio%20de%20Arquimedes.htm>.

[90]- **Cândido G., Rezende M., Almeida S.;**(2003). Effects of Ultraviolet (UV) Radiation on the Interlaminar Shear Strength of Carbon/Epoxy Composites; Anais do 7º Congresso Brasileiro de Polímeros

[91]- <http://www.noisemeasurement.com.au/downloads/NL-21.pdf>

[92]-<http://www.izartool.com/es/catalogos/catalogo-industrial/taladro/brocas-mango-cilindrico/9010/41922-1> (consultado em 16/09/17)

[93]- https://ctborracha.com/?page_id=1596 (consultado em 21/09/17)

[94]-www.compositesworld.com/columns/doing-the-impossible-with-poissons-ratio (consultado em 21/09/17)

[95]-**RapidToday**.<http://www.rapidtoday.com/stl-file-format.html>;(consultado em 18/09/17)

[96]- **A.Fábio (2003)**; Estudo e projecto de melhoria em máquina de impressão 3D; Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia Elétrica, 2013

Anexos

Anexo A – Simulação cadeira/banco

Anexo Aa - Resina

Anexo Ab Juta 10%

Anexo Ac Juta 20%

Anexo Ad Juta 40%

Anexo Ae Ráfia 10%

Anexo Af Ráfia 20%

Anexo Ag Ráfia 40%

Anexo Ah Sisal 10%

Anexo Ai Sisal 20%

Anexo Aj Sisal 40%

Anexo B – Desenho 2D do abrigo

Anexo Ba Apoio Central_ Tecto e Chão

Anexo Bb Painel chão e Parede

Anexo Bc Painel Tecto

Anexo Bd Perfis Tecto e Lateral

Anexo Be pdf dinâmico do abrigo

