



Caracterização de materiais para hélices de motoventiladores

ANTÓNIO MIGUEL GONÇALVES LEAL

Outubro de 2016

CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS PARA HÉLICES DE MOTOVENTILADORES

António Miguel Gonçalves Leal

2016

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Mecânica



CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS PARA A EMPRESA SKK

António Miguel Gonçalves Leal
1080903

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Professor Doutor Manuel Jorge Dores de Castro.

2016

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Mecânica



JÚRI

Presidente

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

Orientador

Doutoramento, Manuel Jorge Dores de Castro

Professor adjunto, ISEP

Co-orientador

<Grau Académico e Nome>

Categoria, Instituição

Arguente

Licenciatura, António Miguel Gonçalves Leal

Mestrando, ISEP

AGRADECIMENTOS

Durante a elaboração deste trabalho, foi imprescindível o apoio de toda a minha família e amigos a quem gostaria de expressar os meus mais sinceros agradecimentos.

Gostaria também de agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Manuel Jorge Dores de Castro, por toda a sua disponibilidade, empenho e dedicação, sendo a sua colaboração fundamental para a conclusão desta dissertação.

Não poderia também deixar de agradecer ao Professor Doutor Arnaldo Guedes Pinto, ao Professor Doutor João Francisco Gomes da Silva, bem como aos engenheiros, Paulo Oliveira Nova, por todo o apoio e colaboração na realização dos vários ensaios experimentais efetuados.

Ao Engenheiro João Paulo dos Santos Pinto, dono da empresa SKK, pela confiança, colaboração e pelo apoio prestado ao longo de todo o processo.

Por último e não menos importante, gostaria de agradecer ao Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), pela oportunidade de realização deste trabalho e pela cedência dos seus laboratórios, oficinas e equipamentos.

PALAVRAS CHAVE

Caracterização de materiais; Ensaio experimentais; Propriedades dos materiais

RESUMO

Nestas últimas décadas tem-se assistido a um aumento exponencial do número de materiais no mercado e esta tendência será para continuar, face às cada vez maiores exigências dos consumidores. É necessário criar e desenvolver materiais que permitam corresponder em termos de características específicas às necessidades da vida moderna, aos preços mais baixos. Este facto leva a uma busca incessante por parte dos cientistas e estudiosos que se dedicam ao estudo dos materiais e das suas propriedades e à relação entre a sua estrutura em escalas atômicas ou moleculares com suas características macroscópicas, incorporando elementos da física e da química como as formas de caracterização e processamento.

Atualmente é praticamente impossível imaginar o mundo como o conhecemos, sem o uso dos plásticos e desde a sua descoberta, que estes se tem vindo a aperfeiçoar e a desenvolver sendo aplicado com grande sucesso nas mais diversas áreas, substituindo materiais como o vidro e mesmo os próprios metais. A baixa densidade, a facilidade de processamento e o seu baixo custo, são os principais fatores que incentivam a utilização de alguns plásticos ou resinas, sendo usados em larga escala. Existe atualmente no mercado uma grande variedade de plásticos, com características e propriedades muito diferentes e para todos os tipos de aplicação.

Este trabalho tem como objetivo caracterizar vários materiais utilizados em hélices de motoventiladores, avaliar as temperaturas e o ruído no seu funcionamento de forma a responder a uma solicitação da empresa SKK, uma vez que esta não dispõe de informação suficiente para poder garantir a aplicabilidade real dessas hélices.

Nesse sentido, e uma vez que o tipo de material polimérico utilizado nas hélices não é conhecido, houve necessidade de realizar uma série de ensaios mecânicos e físico-químicos em alguns materiais, de modo a ser possível proceder-se à sua caracterização, identificando as suas principais propriedades e características.

Os materiais em estudo passaram por ensaios de tração, dureza, queima e densidade, sendo também efetuadas medições de rugosidades nas suas superfícies. O ponto de amolecimento do material foi outra propriedade que se procurou definir através do ensaio de VICAT. Terminados estes ensaios, os valores obtidos foram registados, para que em seguida se procedesse à sua identificação, através da comparação destes valores calculados com os valores padrão de cada material. Foram também analisadas as temperaturas a que estes materiais estão sujeitos no seu funcionamento, comparando-se estes valores com os resultados obtidos no ensaio de VICAT.

Por fim, foram analisados os níveis de ruído apresentados pelos diferentes materiais, tentando estabelecer-se uma relação entre os referidos níveis de ruído e a sua rugosidade.

Embora os ensaios não sejam conclusivos, é possível dizer que qualquer um dos materiais utilizados é apto para a função a que se destina, pois os esforços envolvidos nas hélices são muito baixos e as temperaturas reais de funcionamento são significativamente inferiores às admissíveis para os materiais em causa. Ainda assim, e considerando que o objetivo é a possibilidade de substituir as hélices de alumínio por hélices de plástico, em termos de resistência mecânica o material que mais se destaca é sem dúvida o alumínio, com larga vantagem, chegando a um valor de tensão máxima de 171 MPa, valor bastante acima do que é requerido, visto os baixos esforços a que as hélices estão sujeitas. Os valores apresentados pelos materiais plásticos são bastante menores, contudo suficientes para a sua função, sendo o material P o que possui o valor da tensão superior, atingindo os 26 MPa.

Em termos de análise de temperatura, todos os materiais apresentam valores semelhantes, rondando entre os 45°C e os 52°C sensivelmente. Estes valores são bastante baixos, comparativamente aos valores dos seus pontos de fusão que variam

entre os 94°C e os 112°C, logo, neste campo, qualquer dos polímeros é capaz de cumprir com a sua função.

No que diz respeito ao ruído, verifica-se novamente uma semelhança entre todos os materiais, atingindo valores máximos de 50 dB, sendo que entre eles, estes valores apenas variam 1 ou 2 dB.

Em relação ao rendimento elétrico, ou seja, o rácio entre a potência útil e a potência consumida pelo equipamento, a hélice que apresenta melhores resultados é a do material P, muito embora, no motor de comutação eletrónica (ECM), para caudais elevados, este fique um pouco abaixo dos outros. Outro parâmetro importante a ter em consideração, é o rácio entre as rotações efetuadas pela hélice e o caudal atingido, sendo que, neste caso o material P é novamente o que apresenta melhores resultados, conseguindo para um mesmo caudal trabalhar a menos rotações que os restantes.

KEYWORDS

Material characteristics; Experimental tests; Material properties.

ABSTRACT

In the last few decades, there has been an exponential increase in the number of materials on the market and this trend is to continue, given the increasing demands of consumers. It must create and develop materials that allow to match in terms of specific characteristics to the needs of modern life, at the lowest prices. This leads to a relentless pursuit for new materials, by scientists and scholars dedicated to the study of materials and their properties and the relationship between their structure in atomic or molecular scales with their macroscopic characteristics, incorporating elements of physics and chemistry as the forms of characterization and processing.

Currently, it is virtually impossible to imagine the world as we know it without the use of plastics and since their discovery have been improved and developed, being applied with great success in several areas, replacing materials such as glass and even the metals themselves. The low density, ease of processing and its low cost are the main factors that encourage the use of some plastics or resins being used on a large scale. There is currently on the market a wide range of plastics with different properties and characteristics and for all types of applications.

This work carried out a series of mechanical and physicochemical tests at some materials in order to be possible to do his characterization, identifying its main properties and characteristics.

The materials under study were submitted to a several tests, like the tensile test, the hardness test, burning and density, roughness measurements are also made on their surfaces. The softening point of the material was another property to be defined, through the VICAT test. Completed these tests, the values were recorded, to make the identification by comparing these calculated values with the default values for each

material. The temperatures that these materials are subject in their operation were also analysed, comparing these values with the results obtained in the VICAT test. Finally, the noise levels presented by the different materials were analysed, in order to establish a relationship between these levels of noise and its roughness.

Although the tests are non-conclusive, it is possible to say that any of the materials used is suitable for the function for which it is planned, because the efforts involved in the propellers are very low and the actual operating temperatures are significantly lower than those eligible for the materials in cause. Still, considering that the goal is the possibility of replacing aluminium propellers for plastic propellers in terms of mechanical strength, the material that stands out most is undoubtedly the aluminium, by a wide margin, reaching a voltage value maximum of 171 MPa, well above what is required, since the blades are subjected at low stresses. The values presented at the plastic materials are much smaller, but yet sufficient for its function, and the P material, is the one which has the highest value, reaching 26 MPa.

In terms of temperature analysis, all materials have similar values, ranging between 45 °C and 52 °C. These values are very low compared with the values of their melting points ranging from 94 °C to 112 °C, so in this field, any of the polymers is able to fulfil its function.

With regard to noise, it appears again a similarity between all materials, reaching maximum values of 50 dB, being that between them, these values vary only 1 or 2 dB.

Regarding electrical performance, this means, the ratio between the power output and the power consumed by the machine, the propeller that shows best results is the P material, although in the electronic switching motor (ECM), for the high flow rates, it becomes worst comparing with the others. Another important parameter to consider, is the ratio between the revolutions made by propeller and you're reached flow, being that, in this case, P material, it is again the material which gets the best results, achieving, less rotations, for a same air flow quantity.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
AVAC	Aquecimento, ventilação e ar condicionado.
ASTM	American Society for Testing and Materials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ISO	International organization for Standardization
NP	Normas Portuguesas
NE	Normas Europeias
DIN	Deutsches Institut für Normung
AFNOR	Association Française de Normalisation
SI	Sistema Internacional
VST	VICAT soft temperature
ECM	Motor de Comutação Eletrónica

Lista de Unidades

<i>GPa</i>	Gigapascal
<i>kN</i>	kilonewton
<i>N</i>	Newton
<i>g</i>	Grama
<i>min</i>	Minuto
<i>m³/h</i>	Metros cubicos por hora (caudal)
<i>mm</i>	Milimetro
<i>Pa</i>	Pascal
<i>MPa</i>	Megapascal
<i>Hz</i>	Hertz
<i>B</i>	Bel
<i>V</i>	Volt
<i>dB</i>	Décibel
<i>μm</i>	Micrómetro

Lista de Símbolos

$\sigma_{Fm\acute{a}x}$	Tensão no ponto de força máxima no ensaio de tração
σ_{Rot} / σ_m	Tensão de rotura
δ_{Rot}	Alongamento correspondente ao ponto de rotura
$\delta_{Fm\acute{a}x}$	Alongamento correspondente ao ponto de Força máxima
<i>E</i>	Módulo de Elasticidade
ϵ	Extensão nominal

R_{eL}	Tensão de cedência inferior
R_{eH}	Tensão de cedência superior
L_e	Comprimento de base do extensómetro
A	Extensão após-rotura
S_0	Secção inicial do provete
S_u	Secção final do provete
Z	Coeficiente de estrição
ν	Coeficiente de poisson
R_a	Rugosidade média
R_z	Média das alturas entre picos e vales
R_q	Rugosidade média quadrática
$R_{máx}$	Máxima altura entre os picos e os vales
R_{pk}	Altura dos picos reduzida
R_k	Altura central da rugosidade
R_{vk}	Profundidade dos vales reduzida
L_t	Distância total do ensaio
L_v	Velocidade de realização do ensaio
λ_c	Cut-off

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Termo	Designação
Dureza	Medida de resistência à penetração de uma ponta, (esférica, cônica ou piramidal constituída de um material duro).
Estricção	É a redução das dimensões da secção transversal, provocada pelas cargas de tração aplicadas ao material.
Maquinabilidade	A aptidão que um material tem para ser processado por uma ferramenta de corte.
Ductilidade	Capacidade de um material se deformar antes de atingir a rutura, quando sujeito a tensões muito elevadas. Quanto mais dúctil o material maior é a redução de área ou alongamento antes da rutura.
Corpo Negro	Objeto capaz de absorver toda a radiação emitida de que seja alvo, em qualquer comprimento de onda.
Emissividade	Medição da gama de radiação libertada por um corpo, quando comparada com a que é emitida por um corpo negro perfeito à mesma temperatura.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - HELICES EM ESTUDO.	28
FIGURA 2 - PROVETES UTILIZADOS PARA ENSAIO DE TRAÇÃO.	29
FIGURA 3 - ESQUEMATIZAÇÃO DE FUNCIONAMENTO DE UM MOTOR ELÉTRICO SIMPLES. [36]	36
FIGURA 4 - MOTOR DE COMUTAÇÃO ELETRÓNICA. [17]	37
FIGURA 5 - MOTOR DE POLOS SOMBREADOS. [17]	37
FIGURA 6 - DISTRIBUIÇÃO CRONOLÓGICA DAS ERAS DA HUMANIDADE. [46]	37
FIGURA 7 - ARTEFACTOS ORIGINÁRIOS DA ERA DA IDADE DA PEDRA. [46]	38
FIGURA 8 - ARTEFACTOS ORIGINÁRIOS DA ERA FINAL DO BRONZE. [46]	38
FIGURA 9 - BLOCOS DE CONCRETO TRANSLUCIDO. [47]	39
FIGURA 10 - CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA DOS MATERIAIS. [40]	39
FIGURA 11 - CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS QUANTO À SUA FUNÇÃO. [45]	41
FIGURA 12 - DIMENSÕES DE UMA HÉLICE METÁLICA, DA EMPRESA SKK. [17]	42
FIGURA 13 - PROCESSO DE MOLDAÇÃO INJETADA. [12]	44
FIGURA 14 - OPERAÇÕES DE ESTAMPAGEM. [14]	45
FIGURA 15 - FASES DE CORTE NA PRODUÇÃO DE UMA LAMINA PARA SERROTE, COM BOM APROVEITAMENTO DE MATERIAL.	46
FIGURA 16 – HELICE PARA MOTOR ELETRICO DE REFRIGERAÇÃO EM METAL.	46
FIGURA 17 - COMPONENTES DE UMA PRENSA PARA ESTAMPAGEM. [15]	47
FIGURA 18 – FORÇAS DE CORTE NECESSÁRIAS NUMA MATRIZ. [15]	47
FIGURA 19 – DIFERENTES TIPOS DE SOLICITAÇÕES A QUE PODE ESTAR SUJEITA UM PEÇA. [1]	48
FIGURA 20 – DEFORMAÇÃO DO MATERIAL DEVIDO AO APARECIMENTO DE TENSÕES. [1]	49
FIGURA 21 - DESENHO ESQUEMÁTICO DE UM ENSAIO DE TRAÇÃO. [1]	50
FIGURA 22 - CURVA FORÇA/ALONGAMENTO [4]	52
FIGURA 23 - TRANSIÇÃO ELASTOPLÁSTICA: A) COM TENSÃO DE CEDÊNCIA; B) COM TENSÃO LIMITE CONVENCIONAL DE PROPORCIONALIDADE A 0.2%; C) COM TENSÃO LIMITE DE ELASTICIDADE. [1]	53
FIGURA 24 – ENSAIO DE TRAÇÃO, COMPARAÇÃO ENTRE VÁRIOS MATERIAIS. [48]	57
FIGURA 25 - ENSAIO DE TRAÇÃO, INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA. [48]	57
FIGURA 26 - ENSAIO DE TRAÇÃO EM POLIMEROS DUCTEIS COM ESTIRAMENTO. [48]	58
FIGURA 27 – DURÓMETRO, EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA ENSAIOS DE DUREZA SHORE. [10]	59
FIGURA 28 - INDENTADOR SHORE D, [9]	60
FIGURA 29 - CALIBRADORES PARA DURÓMETROS SHORE [9].	60
FIGURA 30 – EQUIPAMENTO PARA ENSAIO VICAT. [6]	61
FIGURA 31 - SIMBOLOGIA DE IDENTIFICAÇÃO DE PLÁSTICOS. [2]	63
FIGURA 32 - PERFIL EFETIVO (PERFIL OBTIDO ATRAVÉS DA MEDIÇÃO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL). [12]	65
FIGURA 33 - A) RUGOSIDADE; B) ONDULAÇÃO; C) ERRO DE FORMA. [12]	65
FIGURA 34 - COMPRIMENTO DA MEDIÇÃO DIVIDIDO EM VÁRIOS ELEMENTOS "CUT-OFF". [12]	66
FIGURA 35 – RA (RUGOSIDADE MÉDIA). [12]	67

FIGURA 36 - RZ (MÉDIA DAS ALTURAS ENTRE PICOS). [12]	67
FIGURA 37 - RUGOSIDADE RK. [12]	68
FIGURA 38 - VOLUME DE RETENÇÃO DE ÓLEO, V0. [12]	69
FIGURA 39 - ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO. [18]	69
FIGURA 40 – <i>IMAGEM DE UM CÃO VISTO EM INFRAVERMELHO</i> . [19]	70
FIGURA 41 - IMAGEM DE INFRAVERMELHO DE UMA EQUIPA DE BOMBEIROS NO COMBATE A INCÊNDIOS. [21]	70
FIGURA 42 - VISTA EM INFRAVERMELHO E VISUAL DE UMA LINHA DE ALTA TENSÃO. [20]	71
FIGURA 43 - IMAGEM TÉRMICA EM INFRAVERMELHO DE UM DISJUNTOR, COM MEDIÇÃO DA TEMPERATURA MÁXIMA. [20]	71
FIGURA 44 - PRODUÇÃO, MEIO DE PROPAGAÇÃO E RECEÇÃO DO SOM. [22]	73
FIGURA 45 - ESPETRO SONORO. [22]	73
FIGURA 46 - NÍVEIS SONOROS EM DIVERSAS SITUAÇÕES. [22]	74
FIGURA 47 - NÍVEIS SONOROS VS EFEITOS NO SER HUMANO. [22]	74
FIGURA 48 - RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES, NÍVEL SONORO E FREQUENCIA. [22]	75
FIGURA 49 - TESTE DE COMBUSTÃO.	80
FIGURA 50 - ENSAIO DE DUREZA SHORE D, NOS PROVETES DO MATERIAL B E P.	84
FIGURA 51 - EQUIPAMENTO SHIMADZU AUTOGRAPH AG-X 10KN	84
FIGURA 52 - ENSAIO DE TRAÇÃO DE UM PROVETE DO MATERIAL B	85
FIGURA 53 - ENSAIO DE TRAÇÃO DE UM PROVETE DO MATERIAL P	85
FIGURA 54 - GRÁFICO "FORÇA/ DESLOCAMENTO", RESULTANTE DO ENSAIO DE TRAÇÃO PARA O PROVETE A3	87
FIGURA 55 - GRÁFICO "TENSÃO/ DEFORMAÇÃO, RESULTANTE DO ENSAIO DE TRAÇÃO PARA O PROVETE A3	87
FIGURA 56 - GRÁFICO "FORÇA/ DESLOCAMENTO", RESULTANTE DO ENSAIO DE TRAÇÃO PARA O PROVETE P2	88
FIGURA 57 - GRÁFICO "TENSÃO/ DEFORMAÇÃO, RESULTANTE DO ENSAIO DE TRAÇÃO PARA O PROVETE P2	88
FIGURA 58 - GRÁFICO "FORÇA/ DESLOCAMENTO", RESULTANTE DO ENSAIO DE TRAÇÃO PARA O PROVETE B3	88
FIGURA 59 - GRÁFICO "FORÇA/ DESLOCAMENTO", RESULTANTE DO ENSAIO DE TRAÇÃO PARA O PROVETE B3	88
FIGURA 60 - GRÁFICO "FORÇA/ DESLOCAMENTO", RESULTANTE DO ENSAIO DE TRAÇÃO PARA O PROVETE C1	88
FIGURA 61 - GRÁFICO "TENSÃO/ DEFORMAÇÃO, RESULTANTE DO ENSAIO DE TRAÇÃO PARA O PROVETE B3	89
FIGURA 62 - GRÁFICO "FORÇA/ DESLOCAMENTO", RESULTANTE DO ENSAIO DE TRAÇÃO PARA O PROVETE C2	89
FIGURA 63 - GRÁFICO "TENSÃO/ DEFORMAÇÃO, RESULTANTE DO ENSAIO DE TRAÇÃO PARA O PROVETE C2	89
FIGURA 64 - MEDIÇÃO DE RUGOSIDADES NO PROVETE MO MATERIAL P.	91
FIGURA 65 - MEDIÇÃO DE RUGOSIDADES NO PROVETE MO MATERIAL B.	91
FIGURA 66 - GRÁFICO DE COMPARAÇÃO DE RUGOSIDADES DOS DEIFERENTES PROVETES.	92

FIGURA 67 - EQUIPAMENTO CONSTRUÍDO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS.	96
FIGURA 68 - EQUIPAMENTO CONTRUÍDO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS, TUBAGEM DE ADMISSÃO DO AR.	96
FIGURA 69 - EQUIPAMENTO CONTRUÍDO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS, PORMENOR DA VÁLVULA DE REGULAÇÃO DE CAUDAL	96
FIGURA 70 - TERMO HIGRÓMETRO COM SENSOR ACOPLADO AO MOTOR DE POLOS SOMBREADOS.	97
FIGURA 71 - ANÁLISE DA TEMPERATURA COM O TERMO HIGRÓMETRO NO MOTOR DE POLOS SOMBREADOS, HÉLICE DO MATERIAL P.	98
FIGURA 72 - CÂMARA TÉRMICA FLIR E30 E30 IR, INFRARED THERMAL IMAGING CAMERA. [20]	98
FIGURA 73 - HÉLICES VS POTENCIA ELÉTRICA DESPENDIDA, MOTOR 33W.	104
FIGURA 74 - HÉLICES VS RENDIMENTO, MOTOR 33W	104
FIGURA 75 - HÉLICES VS PRESSÃO ESTÁTICA, MOTOR 33W	104
FIGURA 76 - HÉLICES VS ROTAÇÕES, MOTOR 33W.	105
FIGURA 77 – HÉLICE VS RUÍDO, MOTOR 33W	105
FIGURA 78 - HÉLICES VS POTENCIA ELÉTRICA DESPENDIA, MOTOR ECM	106
FIGURA 79 - HÉLICES VS RENDIMENTO, MOTOR ECM	106
FIGURA 80 - HÉLICES VS PRESSÃO ESTÁTICA, MOTOR ECM.	107
FIGURA 81 - HÉLICES VS RUÍDO, MOTOR ECM.	107
FIGURA 82 - FORÇA E TENSÃO MÁXIMAS DO ENSAIO DE TRAÇÃO, COMPARAÇÃO DE RESULTADOS.	133
FIGURA 83 - FORÇA E TENSÃO DE ROTURA DO ENSAIO DE TRAÇÃO, COMPARAÇÃO DE RESULTADOS.	134
FIGURA 84 - GRÁFICO TENSÃO/ DEFORMAÇÃO, PARA OS 4 MATERIAS EM ESTUDO.	135
FIGURA 85 - GRÁFICO TENSÃO/ DEFORMAÇÃO, APENAS PARA OS MATERIAS PLÁSTICOS EM ESTUDO.	135
FIGURA 86 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA LIGA 1050. [23]	136
FIGURA 87 – DIFERENTES TIPOS DE APLICAÇÕES DO POLÍMERO, POLIURETANO (PU). [26]	138
FIGURA 88 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO PEBD E DO PEAD. [27]	139

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - PRINCIPAIS SUBCLASSES DE MATERIAIS. [40]	40
TABELA 2 - CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA DOS MATERIAIS [40]	40
TABELA 3 - MATRIZ SELEÇÃO DE PROCESSOS DE FABRICO. [12]	43
TABELA 4 - MÓDULOS DE ELASTICIDADE DE ALGUNS MATERIAIS À TEMPERATURA AMBIENTE. [4]	52
TABELA 5 - PROPRIEDADES FÍSICAS DE ALGUNS MATERIAIS. [1]	56
TABELA 6 - EQUIVALENCIA ENTRE AS ESCALAS DE DUREZA SHORE A E SHORE D. [11]	60
TABELA 7 - PROPRIEDADES CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS PLÁSTICOS. [32]	64
TABELA 8 - DETERMINAÇÃO DO "CUT-OFF" EM FUNÇÃO DA RUGOSIDADE. [12]	66
TABELA 9 – PROPRIEDADES CALCULADAS DAS AMOSTRAS PARA TESTE DE DENSIDADE E COMBUSTÃO	79
TABELA 10 - RESULTADO DO TESTE DE DENSIDADE.	80
TABELA 11 - RESULTADOS DO TESTE DE COMBUSTÃO.	81
TABELA 12 - ANÁLISE DOS RESULTADOS DO TESTE DE COMBUSTÃO.	81
TABELA 13 - RESULTADOS DO ENSAIO DE DUREZA SHORE D, AMOSTRA C (BASE EM AÇO).	82
TABELA 14 - RESULTADOS DO ENSAIO DE DUREZA SHORE D, AMOSTRA B (BASE EM AÇO).	82
TABELA 15 - RESULTADOS DO ENSAIO DE DUREZA SHORE D, AMOSTRA P (BASE EM AÇO).	82
TABELA 16 - RESULTADOS DO ENSAIO DE DUREZA SHORE D, AMOSTRA C (BASE EM PLÁSTICO).	83
TABELA 17 - RESULTADOS DO ENSAIO DE DUREZA SHORE D, AMOSTRA B (BASE EM PLÁSTICO).	83
TABELA 18 - RESULTADOS DO ENSAIO DE DUREZA SHORE D, AMOSTRA P (BASE EM PLÁSTICO).	83
TABELA 19 – RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO, PROVETES DO MATERIAL A.	86
TABELA 20 - RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO, PROVETES DO MATERIAL B.	86
TABELA 21 - RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO, PROVETES DO MATERIAL P	86
TABELA 22 - RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO, PROVETES DO MATERIAL C.	87
TABELA 23 - RESULTADOS DO ENSAIO DE RUGOSIDADES NO MATERIAL A.	90
TABELA 24 - RESULTADOS DO ENSAIO DE RUGOSIDADES NO MATERIAL B.	90
TABELA 25 - RESULTADOS DO ENSAIO DE RUGOSIDADES NO MATERIAL C.	90
TABELA 26 - RESULTADOS DO ENSAIO DE RUGOSIDADES NO MATERIAL P.	91
TABELA 27 - PONTO DE AMOLECIMENTO VICAT, PARA OS PROVETES DO MATERIAL B,C E P	92
TABELA 28 - MEDIÇÃO DA TEMPERATURA NA HÉLICE DO MATERIAL P, NO MOTOR DE POLOS SOMBREADOS	99
TABELA 29 - MEDIÇÃO DA TEMPERATURA NA HÉLICE DO MATERIAL A, NO MOTOR DE POLOS SOMBREADOS	100
TABELA 30 - MEDIÇÃO DA TEMPERATURA NA HÉLICE DO MATERIAL B, NO MOTOR DE POLOS SOMBREADOS	101
TABELA 31 - MEDIÇÃO DA TEMPERATURA NA HÉLICE DO MATERIAL C, NO MOTOR DE POLOS SOMBREADOS.	102
TABELA 32 - - PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO MATERIAL A.	112
TABELA 33 - PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO ALUMÍNIO. [23]	112
TABELA 34 - PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO MATERIAL B	113
TABELA 35 - PROPRIEDADES DO CO POLÍMERO PS E ABS. [25]	113

TABELA 36 - PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO MATERIAL P	114
TABELA 37 - PROPRIEDADES DO POLÍMERO POLIURETANO (PU). [25]	114
TABELA 38 - PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO MATERIAL C.	115
TABELA 39 - PROPRIEDADES DO POLÍMERO POLIETILENO DE BAIXA E ALTA DENSIDADE (PEBD E PEAD). [25]	115
TABELA 40 - PROPRIEDADES DO POLÍMERO POLIPROPILENO (PP). [25]	116
TABELA 41 - DIMENSÕES DOS PROVETES UTILIZADOS NO ENSAIO DE TRAÇÃO.	132
TABELA 42 - RESISTÊNCIA MÁXIMA E DEFORMAÇÃO NA RESISTÊNCIA MÁXIMA, ENSAIO DE TRAÇÃO.	133
TABELA 43 – RESISTÊNCIA NA ROTURA A E DEFORMAÇÃO NA ROTURA, ENSAIO DE TRAÇÃO.	134

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	HISTÓRIA DA EMPRESA.....	27
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO	28
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	29
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
2.1	MOTORES	35
2.2	HÉLICES.....	37
2.2.1	MATERIAIS	37
2.2.2	PROCESSOS DE FABRICO	42
2.3	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	48
2.3.1	ENSAIOS MECÂNICOS E FÍSICO-QUÍMICOS	48
2.3.2	CARACTERIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE	64
2.4	ANÁLISE DA TEMPERATURA	69
2.5	ANÁLISE DE RUÍDO	72
3	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	79
3.1	ENSAIOS MECÂNICOS E FÍSICO-QUÍMICOS.....	79
4	EQUIPAMENTOS PARA ENSAIOS EXPERIMENTAIS	95
4.1	CONSTRUÇÃO DO EQUIPAMENTO	95
4.2	SENSORES DE TEMPERATURA	97
4.3	ANÁLISE DE TEMPERATURA.....	98
4.4	ANÁLISE DE RUÍDO	103
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS	111

5.1 IDENTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS DAS HÉLICES	111
5.2 TEMPERATURA MÁXIMA DAS HÉLICES VS PONTO DE AMOLECIAMENTO	116
5.3 RUGOSIDADES VS RUÍDO	117
6 CONCLUSÕES GERAIS E TRABALHOS FUTUROS	121
7 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	125
7.1 Referências documentais.....	125
8 ANEXOS	129
8.1 MEMÓRIA DE CÁLCULO	129
8.2 TABELAS RESUMO EM ENSAIOS DE TRAÇÃO.....	132
8.3 CARACTERÍSTICAS DOS POLÍMEROS INDICADOS PARA AS AMOSTRAS	135
8.3.1 ALUMÍNIO	135
8.3.2 POLIESTIRENO	136
8.3.3 POLIURETANO	137
8.3.4 POLIETILENO	138
8.3.5 POLIPROPILENO	139
8.4 IMAGENS TÉRMICAS (FLIR)	140

INTRODUÇÃO

1.1 HISTÓRIA DA EMPRESA

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

1 INTRODUÇÃO

1.1 HISTÓRIA DA EMPRESA

A marca SKK foi criada no ano de 1998, tendo como objetivos a seleção e distribuição de equipamentos e componentes de sistemas de frio e de ar condicionado.

Esta empresa gere um portfólio bastante diversificado de marcas que são líderes mundiais, que lhe garantem solidez, fiabilidade e eficiência energética nas suas diversas topologias de aplicação. Estão incluídos no seu portfólio de clientes, as maiores e melhores empresas de instalação de sistemas de refrigeração, bem como os maiores fabricantes de equipamentos de frio ou de transferência de calor em Portugal.

Esta empresa conta ainda com alguns protocolos com universidades, sempre com o intuito de inovar e apresentar novas soluções, fomentando e incentivando para o desenvolvimento tecnológico.

Em termos de serviços e produtos, esta empresa aposta nas áreas da refrigeração e de AVAC, tendo também a importante tarefa, de adaptar e desenvolver produtos em conjunto com os seus fornecedores, de modo a ser capaz de oferecer as melhores soluções, de acordo com os objetivos dos seus clientes. Como exemplo destes produtos temos, os termómetros e termostatos analógicos, motores tangenciais, interruptores e componentes de indústria de frio e de aquecimento.

Na área da refrigeração a SKK acompanha os projetos em todas as fases da sua vida, desde a análise de projeto, orçamentação até aos serviços pós-venda e manutenção. Em termos de produtos de catálogo da empresa, podemos referir como mais importantes, os compressores herméticos e semi-herméticos, motoventiladores, válvulas e acessórios, evaporadores, condensadores e controladores.

Na área de AVAC esta empresa apenas comercializa os equipamentos destinados à climatização e ventilação, aponta soluções e apoia tecnicamente os instaladores na realização de projetos e obras de modo a garantir uma eficiência do equipamento, aliando uma boa relação qualidade/ preço. Como principais produtos, podemos referir os moto-ventiladores, sistemas de condutas e acessórios, isolamentos térmicos e válvulas.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Como foi referido no ponto anterior, a empresa *SKK* trabalha com diversas marcas distribuindo e comercializando uma variedade de produtos e equipamentos. Contudo este trabalho irá focar-se num único componente em específico que é utilizado em diversos equipamentos e do qual não se conhecem algumas características básicas, como o próprio material de que é feito.

Este trabalho tem então como objetivo, o estudo e caracterização de diferentes tipos de hélices, através de uma serie de ensaios destrutivos e não destrutivos que permitam identificar quais os seus materiais, se estes são capazes de cumprir com a sua função e aguentar as temperaturas de serviço a que estão sujeitos e perceber qual destes será o mais eficiente, em termos de rendimento, energia despendida e níveis de ruído, sendo que no final da dissertação, irá tentar-se concluir, se os materiais plásticos poderão substituir o metálico e qual o mais vantajoso, pelo que serão utilizadas quatro hélices diferentes, uma metálica e três poliméricas.



Figura 1 - Hélices em estudo.

Em relação aos ensaios de caracterização dos materiais a efetuar, temos como objetivos, a realização de ensaios de tração, ensaios de dureza, queima e flutuação, medição das rugosidades dos respetivos materiais, o seu ponto de amolecimento VICAT.

A identificação da temperatura máxima a que estão sujeitas estas hélices aquando em funcionamento, bem como a comparação de desempenhos e rendimentos, irão ter

como base, resultados obtidos durante a elaboração de uma outra dissertação, no âmbito do curso de mestrado de Engenharia Mecânica, na área de Energia, pelo aluno Ivan Pereira, com o número 1070560.

Para a realização destes ensaios será necessária a elaboração de provetes, o que implica a destruição do corpo de prova.

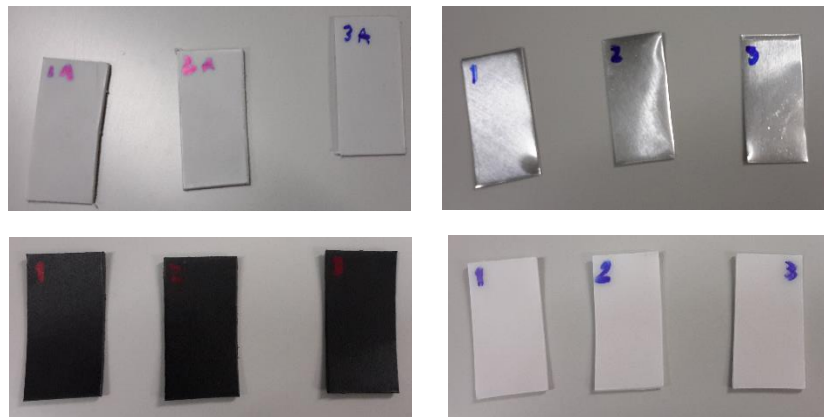


Figura 2 - Provetes Utilizados para ensaio de tração.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação, de forma a poder cumprir com todos os seus objetivos encontra-se organizada em 5 capítulos. No **capítulo 1** faz-se uma pequena introdução à empresa SKK, apresentando de forma sucinta, quais as suas áreas de trabalho, produtos, equipamentos e marcas de que são representantes. Ainda neste capítulo, são também definidos os objetivos do trabalho, bem como se dão a conhecer os assuntos principais, abordados em cada um dos capítulos desta dissertação.

No **capítulo 2**, faz-se uma revisão bibliográfica dos temas abordados nos capítulos seguintes, introduzindo-os e explanando-os de uma forma teórica de modo a consolidarem-se alguns conhecimentos, como por exemplo, o modo de funcionamento dos motores elétricos, a identificação dos possíveis processos de fabrico das hélices em estudo, bem como os materiais geralmente utilizados. É também neste capítulo abordada toda a temática relativa à caracterização dos materiais e das suas superfícies, identificando os ensaios a realizar na parte experimental, abordando-os de uma forma

teórica e detalhada, de modo demonstrar o que se pretende com cada ensaio, os dados que destes se podem retirar, os procedimentos e normas a seguir na sua execução.

No **capítulo 3**, são apresentados todos os resultados obtidos nos ensaios experimentais realizados nesta dissertação.

No **capítulo 4** faz-se referencia á construção de um equipamento, capaz de simular em laboratório o funcionamento de um motor de refrigeração e onde se torna possível a análise e medição das temperaturas de funcionamento quer das hélices, quer dos motores, bem como dos níveis de ruído atingidos durante os ensaios e os respetivos resultados.

A discussão dos resultados é apresentada no **capítulo 5**, onde estes serão analisados e identificados, através da comparação das propriedades obtidas nos ensaios, com as propriedades padrão dos polímeros dos quais se julga serem estas amostras testadas. Serão também neste capítulo discutidos os resultados do ensaio de VICAT onde se identificam as temperaturas de amolecimento das diferentes amostras, comparando-as com as temperaturas medidas pelo camara térmica aquando do seu funcionamento. Para terminar será também discutida a relevância da rugosidade dos materiais no ruído que estas provocam em funcionamento.

No **capítulo 6** apresentam-se de uma forma resumida, todas as conclusões significativas obtidas durante a elaboração desta dissertação e sugestões para trabalhos futuros. Por fim, são apresentados em forma de anexos, os cálculos efetuados para obtenção de algumas propriedades nos ensaios de tração, bem como algumas tabelas onde se encontram algumas propriedades das amostras testadas. Serão também apresentadas em anexo, as fotografias obtidas pela camara térmica FLIR, durante os ensaios, em forma de relatório, bem como as propriedades e características dos polímeros do qual se julgam ser estas amostras.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MOTORES

2.2 HÉLICES

2.2.1 MATERIAIS

2.2.2 PROCESSOS DE FABRICO

2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

2.3.1 ENSAIOS MECÂNICOS E FISÍCO-QUÍMICOS

2.3.2 CARACTERIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE

2.4 ANÁLISE DA TEMPERATURA

2.5 ANÁLISE DE RUÍDO

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MOTORES

A ideia da obtenção de energia mecânica através da energia elétrica é já antiga, sendo que o ano de 1886 pode ser considerado o ano do nascimento da máquina elétrica, com a criação do primeiro gerador de corrente contínua autoinduzido, obra do cientista Alemão, Werner Von Siemens. Este aparelho revolucionou o mundo, dando origem a muitas outras invenções e pesquisas de outros cientistas até aos dias de hoje.

Atualmente o motor elétrico é um dos tipos de motor mais utilizados no mercado, devido ao seu baixo custo e construção simples, bem como a sua grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos.

Estes motores podem ser encontrados nas mais diversas formas e tamanhos, variando consoante a aplicação pretendida, podendo operar, em corrente contínua, em corrente alternada ou com ambas as correntes.

Os motores elétricos funcionam seguindo os princípios do eletromagnetismo, mediante os quais, condutores situados num campo magnético e atravessados por correntes elétricas sofrem a ação de uma força mecânica, ou eletroímans, que exercem forças de atração ou repulsão sobre outros materiais magnéticos.

Um motor simples consiste então em uma bobine, que gira entre dois ímanes permanentes e fixos, devido às forças de atração e repulsão existentes entre os seus polos, (polos magnéticos da bobine e os polos opostos dos respetivos ímanes). Uma vez que as correntes elétricas produzem campos magnéticos, estas bobines irão funcionar como eletroímans permanentes, com seus polos, (polo norte e polo sul), como se pode observar na Figura 3.

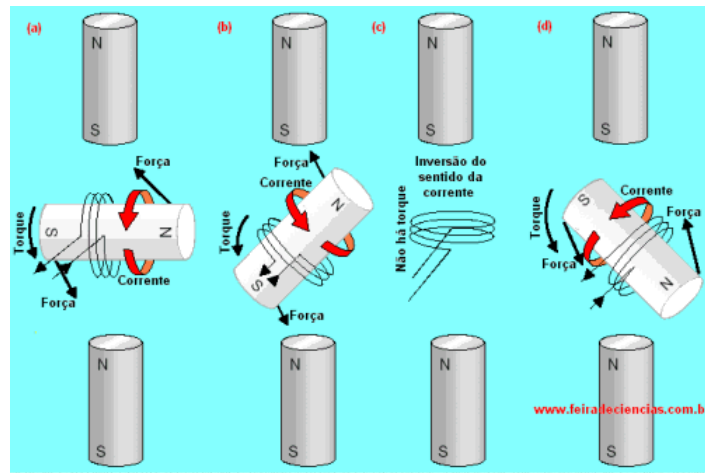


Figura 3 - Esquemática de funcionamento de um motor elétrico simples. [36]

Nesta figura, está então esquematizado o funcionamento de um motor simples, onde o estator é constituído por ímanes permanentes e o rotor é uma bobine de fio de cobre esmaltado por onde circula uma corrente elétrica. Em (a) e (b), é possível observar a bobine a girar, devido a atração dos polos opostos, contudo ao aproximar-se da sua posição de equilíbrio, (c) é invertido o sentido da corrente, originando uma alteração da polaridade. Agora os polos de mesmo nome estão muito próximos e a força de repulsão é intensa. Como a bobine já apresenta um momento angular 'para a esquerda', esta continua o seu movimento, (algo como uma 'inércia de rotação') e o novo torque (agora propiciado por forças de repulsão), como em (d), colabora para a manutenção e aceleração do movimento de rotação, continuando a impulsionar o rotor.

A empresa SKK, trabalha essencialmente com dois tipos de motores, os motores de polos sombreados e os de comutação eletrónica.

Os motores de polos sombreados são motores monofásicos, compostos por quatro polos sombreados e funcionam a uma tensão nominal de 220-240V, com frequência de 50 / 60Hz ou 110-120V a 60Hz. Estes motores são amplamente utilizados em condensadores, evaporadores e equipamentos de refrigeração.

Quanto aos motores de comutação eletrónica (ECM), estes foram projetados com recurso à mais avançada tecnologia na área do controlo eletrónico, apresentando uma elevada eficiência, quando comparada com o motor tradicional, mas mantendo a sua forma externa semelhante à estrutura do motor tradicional, assegurando compatibilidade com o uso do mesmo tipo de hélices, anéis e grelhas de proteção.

Estes tipos de motores são amplamente utilizados em aplicações associadas à refrigeração e ventilação, tendo como principal objetivo a redução significativa do consumo energético, (cerca de 70%) bem como, o aumento da longevidade do equipamento, que será superior a 50000 horas.



Figura 4 - Motor de comutação eletrônica. [17]



Figura 5 - Motor de polos sombreados. [17]

2.2 HÉLICES

2.2.1 MATERIAIS

A história dos materiais e do ser Humano estão intimamente ligadas, sendo que o desenvolvimento e crescimento de uma, originou e amplificou o crescimento da outra, a ponto de haverem civilizações, denominadas e designadas, tendo em conta o material que usavam e dominavam na sua altura, como por exemplo a Idade da Pedra, Idade do Ferro, Idade do bronze, entre outros.



Figura 6 - Distribuição cronológica das eras da Humanidade. [46]

O ser Humano começou por utilizar os materiais como os encontrava na natureza, no seu estado natural, pedras, madeira e ossos de animal, tendo como principal objetivo a sua proteção. A dureza era o requisito principal na escolha dos materiais e com o passar dos anos foram sendo aperfeiçoadas e desenvolvidas técnicas de entalhe modelação e polimento da pedra dando origem à criação de alguns utensílios, como se pode ver na figura 7. Posteriormente, com a descoberta e domínio do fogo o Homem começou a trabalhar os metais descobrindo novas propriedades e aperfeiçoando cada vez mais os métodos de processamento dos diversos materiais ao seu dispor.



Figura 7 - Artefactos originários da Era da Idade da Pedra. [46]



Figura 8 - Artefactos originários da Era Final do Bronze. [46]

Com o passar dos tempos as exigências do Homem foram aumentando e assim, os padrões requeridos para o uso dos materiais, uma maior resistência, maior durabilidade e uma melhor aparência, o que levou à descoberta e criação de novos materiais.

O rápido e constante avanço da tecnologia na área do processamento e de fabrico dos materiais, possibilitou a introdução de novos materiais no mercado que de outro modo seriam impossíveis de serem aplicados, como o chumbo por exemplo, bem como a criação de novos materiais, criados em laboratórios, como são exemplos, as ligas metálicas, os polímeros e os cerâmicos. De salientar, o cada vez mais cuidadoso olhar

no ciclo de vida da natureza, tendo sempre em linha de vista as opções mais sustentáveis de construção.



Figura 9 - Blocos de concreto translucido. [47]

Na perspectiva de engenharia, os materiais podem ser definidos como sendo substâncias (compostos químicos), que possuem certas propriedades úteis consoante a necessidade, temos como exemplo as propriedades mecânicas, elétricas, óticas, térmicas, magnéticas, entre outras.

Em termos de classificação, os materiais podem ser divididos em três grandes classes principais, os materiais metálicos, os polímeros e os materiais cerâmicos. Contudo se se quiser ser um pouco mais rigoroso podemos ainda incluir um outro tipo de materiais, de grande importância tecnológica nos dias de hoje, denominados: materiais compostos, figura 10.

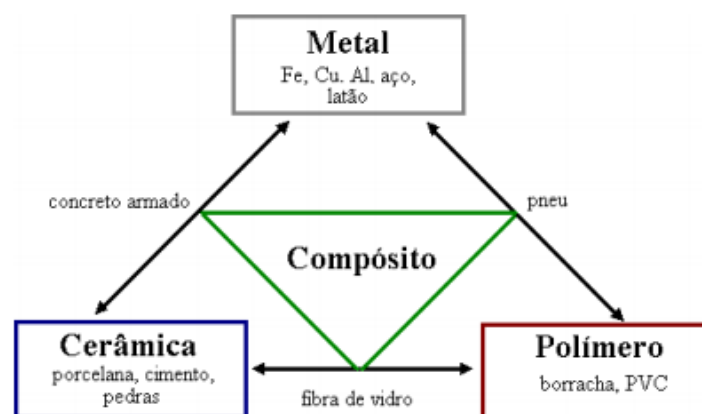


Figura 10 - Classificação técnica dos materiais. [40]

Tabela 1 - Principais subclasses de materiais. [40]

Classe	Subclasse
Metais	A. Ferro e aço; B. Ligas não-ferrosas e superligas (aplicações aeroespaciais) C. Compostos intermetálicos (materiais estruturais de alta temperatura)
Cerâmicas	A. Cerâmicas estruturais (materiais estruturais de alta temperatura) B. Refratários (materiais resistentes à corrosão, isolantes térmicos) C. Cerâmica branca (porcelanas) D. Vidros E. Cerâmicas para aplicações elétricas (capacitores, isolantes, transdutores, etc.) F. Cerâmicas ligadas quimicamente (cimento e concreto)
Polímeros	A. Plásticos B. Cristais líquidos C. Adesivos
Compósitos	A. Compósitos <i>particulados</i> (pequenas partículas dispersas em um material diferente) B. Compósitos <i>laminados</i> (tacos de golfe, raquetes de tênis) C. Compósitos reforçados com <i>fibras</i> (fibra de vidro, fibra de carbono)

Esta classificação surge numa altura em que se dava uma grande importância às propriedades dos materiais colocando-as em primeiro plano, contudo existem outros métodos de classificação, tendo em conta outros fatores, como por exemplo a sua estrutura química e tipos de ligação molecular, ou mais recentemente, segundo a sua função.

Tabela 2 - Classificação química dos materiais [40]

	Ligação	Menor partícula	Estrutura
Metais	metálica	átomo	cristalina
Semicondutores	covalente, (iônica)	átomo	cristalina (raram. amorfa)
Cerâmicos	covalente, iônica	molécula	cristalina
Vidros	covalente, iônica	molécula	amorfa
Polímeros	covalente, lig. secundárias	cadeia de moléculas	amorfa (raram. cristalina)



Figura 11 - Classificação dos materiais quanto à sua função. [45]

No caso das hélices em estudo, os materiais utilizados mais comuns são da família dos polímeros ou algumas ligas metálicas de densidade reduzida. Este tipo de hélices para cumprirem a sua função, devem ser leves, contudo, resistentes de modo a poder aspirar ou soprar o ar sem o risco de fratura ou de deformação.

A empresa SKK, trabalha com variados tipos de hélices, plásticas e metálicas, sendo que estas podem ser de sucção ou aspiração e estão disponíveis em vários diâmetros (entre os 154mm e os 300mm) e ângulos de inclinação da pá, (dos 25° aos 31°). Estas hélices são amplamente utilizadas nos equipamentos de refrigeração devido à sua estrutura padrão e ao seu baixo custo podendo ser aplicadas em motores de polos sombreados e nos de comutação eletrónica.

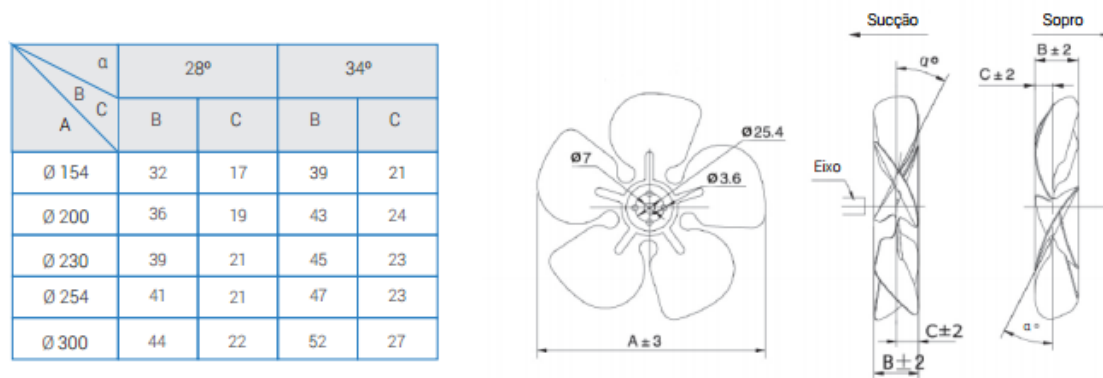


Figura 12 - Dimensões de uma Hélice metálica, da empresa SKK. [17]

2.2.2 PROCESSOS DE FABRICO

A seleção do processo e a otimização do projeto de acordo com o processo selecionado envolve uma série de decisões e escolhas que exercem grande influência sobre a qualidade e o custo dos componentes e produtos. Estas decisões vão determinar o sucesso e a aceitação destes produtos no mercado.

Para a fabricação de um determinado produto existe uma grande variedade de materiais disponíveis no mercado capazes de cumprir os mesmos requisitos, deste modo torna-se necessário olhar a outros fatores como o preço do material, a sua densidade e também a sua maquinabilidade.

Escolhido o material, é necessário identificar a quantidade de peças a produzir para que a seleção do processo de fabrico seja o mais acertado e económico possível. Na tabela 3, é possível observar quais os processos mais vantajosos para cada material, consoante o número de peças a produzir.

Tabela 3 - Matriz seleção de processos de fabrico. [12]

MATERIAL	KEY TO MANUFACTURING PROCESS PRIMA SELECTION MATRIX:																	
	IRONS	STEEL (carbon)	STEEL (tool, alloy)	STAINLESS STEEL	COOPER & ALLOYS	ALUMINIUM & ALLOYS	MAGNESIUM & ALLOYS	ZINC & ALLOYS	TIN & ALLOYS	LEAD & ALLOYS	NICKEL & ALLOYS	TITANIUM & ALLOYS	THERMOPLASTICS	THERMOSETS	FR COMPOSITES	CERAMICS	REFRACTORY METALS	PRECIOUS METALS
VERY LOW 1 TO 100	(1.5) (1.6) (1.7) (4.M)	(1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1) (5.5)	(1.1) (1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1) (5.5)	(1.5) (1.7) (3.7) (3.10) (4.M) (5.1) (5.5) (5.6)	(1.5) (1.7) (3.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.5) (1.7) (3.7) (3.10) (4.M) (5.5)	(1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.1) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.1) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.1) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.1) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.1) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(2.5) (2.6) (2.7) (5.7)	(2.5) (2.6) (2.7) (5.7)	(2.2) (2.5) (2.6) (5.7)	(1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)
LOW 100 TO 1,000	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (4.M) (5.5)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (4.M) (5.5)	(1.1) (1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.1) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.1) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.1) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.1) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.1) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(2.5) (2.6) (2.7) (5.7)	(2.5) (2.6) (2.7) (5.7)	(2.2) (2.5) (2.6) (5.7)	(1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)
LOW TO MEDIUM 1,000 TO 10,000	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A) (5.2)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A) (5.2)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A) (5.2)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A) (5.2)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A) (5.2)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A) (5.2)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A) (5.2)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A) (5.2)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A) (5.2)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A) (5.2)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A) (5.2)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A) (5.2)	(2.5) (2.6) (2.7) (5.7)	(2.5) (2.6) (2.7) (5.7)	(2.2) (2.5) (2.6) (5.7)	(1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)
MEDIUM TO HIGH 10,000 TO 100,000	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(2.5) (2.6) (2.7) (5.7)	(2.5) (2.6) (2.7) (5.7)	(2.2) (2.5) (2.6) (5.7)	(1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)
HIGH 100,000+	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(1.2) (1.5) (1.6) (1.7) (3.11) (4.A)	(2.5) (2.6) (2.7) (5.7)	(2.5) (2.6) (2.7) (5.7)	(2.2) (2.5) (2.6) (5.7)	(1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)	(1.5) (1.7) (3.10) (4.M) (5.1)
ALL QUANTITIES	(1.1)	(1.1) (1.6) (3.9)	(1.6) (3.6)	(1.1) (1.6) (3.6) (3.9) (3.9)	(1.1) (1.6) (3.6) (3.9)	(1.1) (1.6) (3.6) (3.9)	(1.1) (1.6) (3.6) (3.9)	(1.1) (1.6) (3.6) (3.9)	(1.1) (1.6) (3.6) (3.9)	(1.1) (1.6) (3.6) (3.9)	(1.1) (1.6) (3.6) (3.9)	(1.1) (1.6) (3.6) (3.9)	(3.6) (3.9)	(3.6) (3.9)	(3.6) (3.9)	(1.1) (1.6) (3.6) (3.9)	(1.6) (3.6)	(1.6) (3.6)

<p>CASTING PROCESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> (1.1) SAND CASTING (1.2) SHELL MOLDING (1.3) GRAVITY DIE CASTING (1.4) PRESSURE DIE CASTING (1.5) CENTRIFUGAL CASTING (1.6) INVESTMENT CASTING (1.7) CERAMIC MOLD CASTING (1.8) PLASTER MOLD CASTING (1.9) SQUEEZE CASTING 	<p>PLASTIC & COMPOSITE PROCESSING</p> <ul style="list-style-type: none"> (2.1) INJECTION MOLDING (2.2) REACTION INJECTION MOLDING (2.3) COMPRESSION MOLDING (2.4) TRANSFER MOLDING (2.5) VACUUM FORMING (2.6) BLOW MOLDING (2.7) ROTATIONAL MOLDING (2.8) CONTACT MOLDING (2.9) CONTINUOUS EXTRUSION (PLASTICS) 	<p>FORMING PROCESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> (3.1) CLOSED DIE FORGING (3.2) ROLLING (3.3) DRAWING (3.4) COLD FORMING (3.5) COLD HEADING (3.6) SWAGING (3.7) SUPERPLASTIC FORMING (3.8) SHEET-METAL SHEARING (3.9) SHEET-METAL FORMING (3.10) SPINNING (3.11) POWDER METALLURGY (METALS) (3.12) CONTINUOUS EXTRUSION (METALS) 	<p>MACHINING PROCESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> (4.A) AUTOMATIC MACHINING (4.M) MANUAL MACHINING <p>(THE ABOVE HEADINGS COVER A BROAD RANGE OF MACHINING PROCESSES AND LEVELS OF CONTROL TECHNOLOGY. FOR MORE DETAIL, THE READER IS REFERRED TO THE INDIVIDUAL PROCESSES.)</p>	<p>NTM PROCESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> (5.1) ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING (EDM) (5.2) ELECTROCHEMICAL MACHINING (ECM) (5.3) ELECTRON BEAM MACHINING (EBM) (5.4) LASER BEAM MACHINING (LBM) (5.5) CHEMICAL MACHINING (CM) (5.6) ULTRASONIC MACHINING (USM) (5.7) ABRASIVE JET MACHINING (AJM)
--	---	--	---	---

Analisando as três hélices poliméricas em estudo é possível identificar o seu processo de fabrico, através de pequenas marcas gravadas na superfície da peça e que são características do processo de moldação injetada.

Este processo é um dos mais importantes processos de transformação de termoplásticos, com capacidade de produção em massa. A sua grande versatilidade quer geométrica, quer dimensional, a facilidade de automatização do processo, bem como a possibilidade da obtenção de acabamentos superficiais excelentes e tolerâncias dimensionais apertadas, são alguns dos fatores que tornam este processo tão vantajoso. De salientar que o investimento inicial, na compra de máquinas, moldes e outros equipamentos, poderá ser elevado.

Os equipamentos necessários para a moldação por injeção são então, a máquina de injeção, o molde, e alguns equipamentos auxiliares, como por exemplo, aparelhos de controlo da temperatura do molde, sistemas de transporte e de secagem da matéria-prima, bem como, sistemas de transporte e de manuseamento das peças moldadas, como por exemplo tapetes rolantes, robots, etc.

O processo de moldação por injeção consiste no aquecimento de um polímero, geralmente granulado, que é forçado a entrar na cavidade do molde sobre pressão, através da utilização de um parafuso sem-fim. Depois de o enchimento da cavidade do molde estar completo o material é arrefecido e dá-se a extração da peça, com a abertura do molde, como se pode ver na Figura 14.

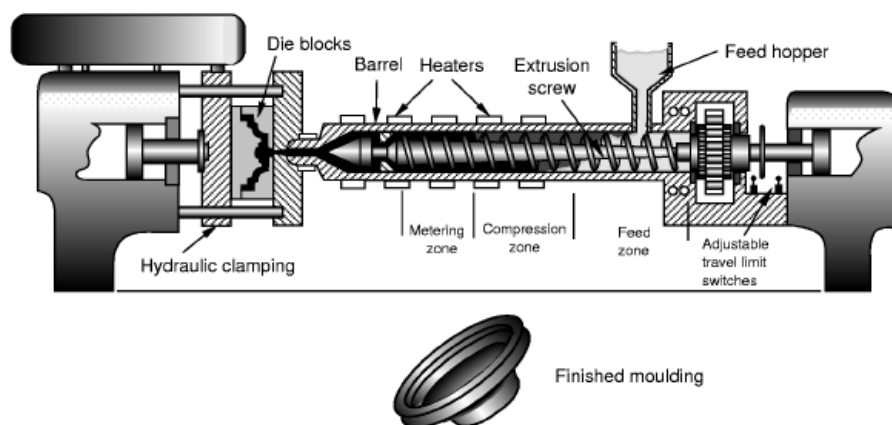


Figura 13 - Processo de moldação injetada. [12]

Relativamente aos moldes, a sua finalidade principal é dar a forma desejada ao material a moldar, no entanto, tem também como função, permitir e facilitar a sua alimentação, desde o bico de enchimento até à zona de impressão, bem como ajudar na ventilação da impressão.

Nos dias de hoje, existem moldes de grande complexidade, o que se traduz em elevados custos, sendo por vezes superiores ao da própria máquina de injeção. Deste modo percebe-se que apenas é vantajoso recorrer a este processo quando se trate da produção em grandes quantidades, ou seja, para grandes series de produção.

No caso da amostra metálica, sabemos que se trata de um alumínio, posto isto e analisando a sua geometria algo complexa, espessura e acabamento superficial, podemos concluir que se trata de uma peça estampada.

Geralmente este tipo de peças, não são feitas numa única operação, mas sim em várias, até se obter a peça final. Esta hélice terá sido primeiramente cortada de uma chapa plana e em seguida estampada de modo a conferir-lhe os ângulos e forma pretendida.

O processo de estampagem consiste na fabricação de peças através de corte ou de operações de prensagem a frio de chapas e pode ser simples, apenas uma operação, ou combinado, quando necessita de várias operações para concluir a peça, conferindo-lhes grande complexidade geométrica e espessura fina. Os materiais que mais se adequam a este processo são os aços de baixo teor de carbono, os aços inoxidáveis, alumínio e suas ligas, cobre e ligas não ferrosas.

Podemos referir como operações de estampagem, o corte, embutimento e dobragem e o repuxamento como se pode ver na Figura 15.

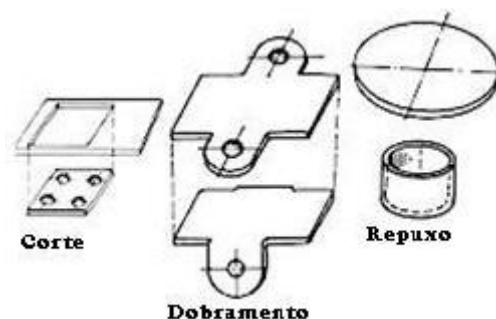


Figura 14 - Operações de estampagem. [14]

A estampagem é um processo que devido às suas características, adequa-se essencialmente para a produção em grandes quantidades e podemos referir como principais vantagens a elevada cadência de produção, o baixo custo por unidade, um bom acabamento superficial, eliminando a necessidade de mais intervenções, maior resistência das peças devido à conformação, que causa o encruamento no material e um baixo custo na área de controlo da qualidade, devido à uniformização da produção e a facilidade para a deteção de erros.

De modo a tornar possível atingir um baixo custo na produção, tem de se ter em conta alguns fatores sendo que o desperdício de material é um dos mais importantes, sendo necessário um estudo prévio para melhor aproveitamento da chapa de corte, chamado “*layout*”.

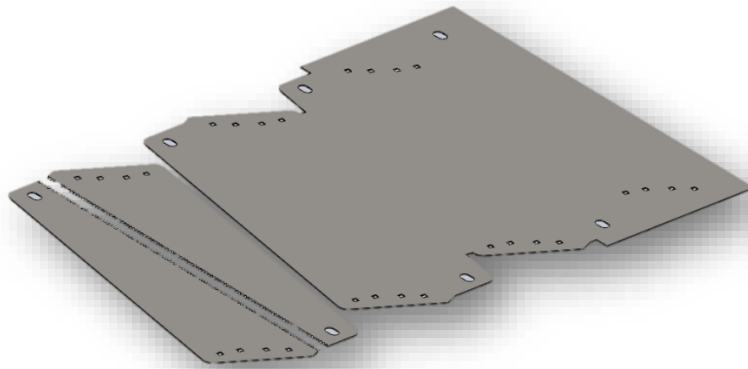


Figura 15 - Fases de corte na produção de uma lamina para serrote, com bom aproveitamento de material.

Terminada a fase de corte dá-se então início á fase de dobragem ou embutimento do material até à sua forma pretendida, que no nosso caso concreto da hélice, será a curvatura das pás e os seus diferentes ângulos, como se pode observar na Figura 17.



Figura 16 – Hélice para motor elétrico de refrigeração em metal.

O equipamento utilizado para a estampagem, designado de prensa, é dividido em várias partes, como se pode observar na Figura 18, sendo que os componentes principais serão:

- Punção, que tem como função perfurar ou dobrar a peça através da aplicação de uma força contra a peça;
- Matriz, elemento fixo na base da prensa e sob o qual se apoia a chapa;

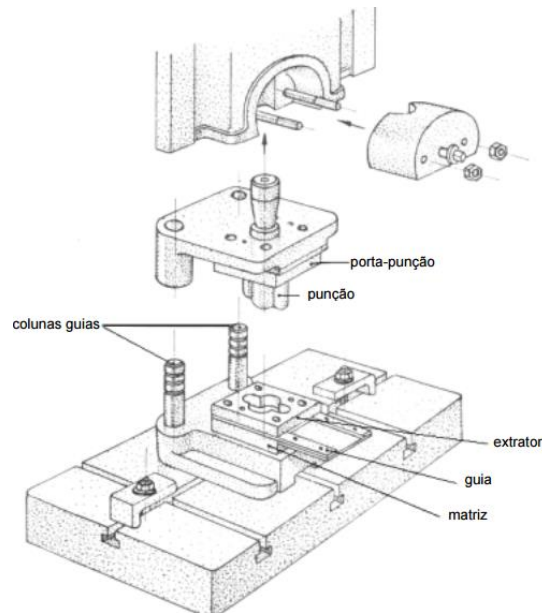


Figura 17 - Componentes de uma prensa para estampagem. [15]

Os parâmetros principais a ter em consideração na escolha de uma prensa dependem na grande maioria das peças a fabricar, pois vão depender da sua espessura, do próprio material, maior ou menor tensão de corte, bem como, das áreas de corte ou de dobragem envolvidas. Com estes valores calculados obtém-se as forças de corte ou de dobragem necessárias, as velocidades de aplicação da carga e as quantidades de trabalho a que a prensa terá de produzir.

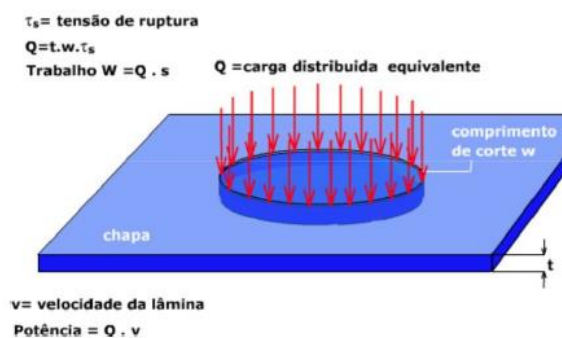


Figura 18 – Forças de corte necessárias numa matriz. [15]

2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

2.3.1 ENSAIOS MECÂNICOS E FÍSICO-QUÍMICOS

Os ensaios mecânicos e físico-químicos podem ser definidos como sendo um conjunto de procedimentos e testes que visam obter informações sobre materiais e produtos, testando o seu comportamento em função dos esforços a que serão sujeitos nas suas diversas aplicações, sendo também importantes para controlo da qualidade e na seleção ou comparação de materiais.

Os ensaios tornam então possível identificar o comportamento de um material aquando da aplicação de um determinado esforço. Estes esforços podem ser de tração, compressão, de corte, torção ou de flexão como mostra a figura seguinte.

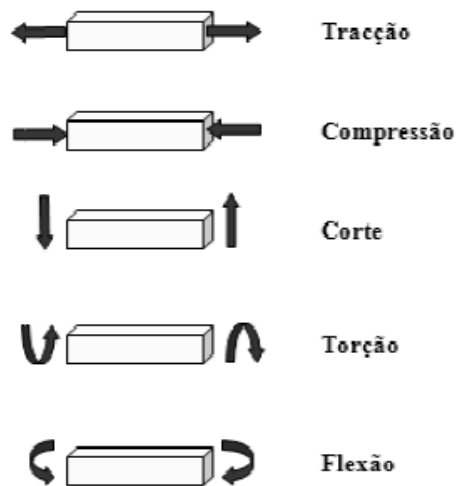
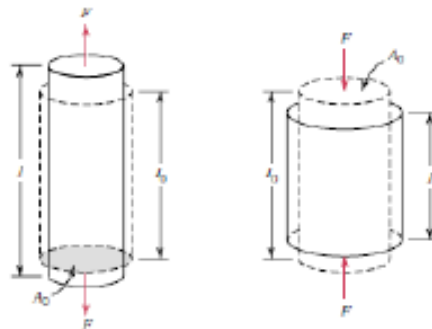


Figura 19 – Diferentes tipos de solicitações a que pode estar sujeita um peça. [1]

Como consequência destes tipos de solicitações temos o aparecimento de tensões na peça e deformação do material.



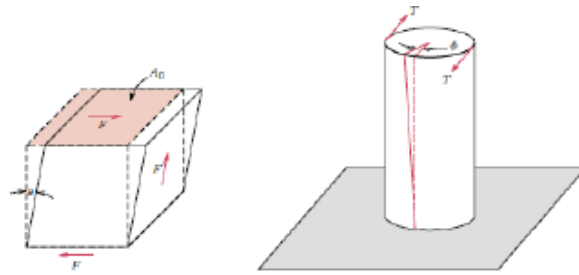


Figura 20 – Deformação do material devido ao aparecimento de tensões. [1]

Os ensaios podem ser destrutivos ou não-destrutivos, sendo que os destrutivos implicam a destruição parcial ou total do provete, como é o caso do ensaio de tração, dureza, fadiga etc. Os não-destrutivos, como o próprio nome indica, não implicam a destruição dos provetes, como é o caso dos ensaios raios X, ultrassom, etc.

Os ensaios podem também ser classificados quanto à velocidade de aplicação da carga e podem ser de dois tipos:

- Estáticos: carga aplicada de forma lenta, induzindo a uma sucessão de estados de equilíbrio, caracterizando um processo quase-estático. Os ensaios tração, compressão, flexão, torção e dureza são alguns exemplos destes tipos de ensaios.
- Dinâmicos: carga aplicada ciclicamente ou de forma rápida, como são exemplos os ensaios de impacto e de fadiga.

As cargas podem também ser aplicadas de forma contínua durante um certo período de tempo, como é o caso do ensaio de fluência.

Estes testes são efetuados sob grande rigor e controlados por normas internacionais que definem todas as condições de ensaios, como regras, procedimentos e métodos mais corretos a adotar, garantindo também a reprodutibilidade dos mesmos.

Estas normas são denominadas de normas de ensaios e para além destas existem ainda as normas de materiais, onde se podem encontrar os intervalos de valores das propriedades físicas e mecânicas que o material deve cumprir consoante a sua finalidade.

Estas normas são elaboradas na sua maioria por sociedades profissionais, como é o caso da Sociedade Americana para Ensaio e Materiais (ASTM – American Society for Testing and Materials), bem como a Associação Brasileira de Normas Técnicas

(ABNT). Em Portugal regemo-nos também por normas portuguesas designadas de normas NP, bem como por normas internacionais, ISO, DIN, NE e AFNOR.

2.3.1.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

Ensaio regulado pela norma D638 da ASTM e que consiste na aplicação de uma força uniaxial e gradual, sobre um provete preso pelas suas extremidades, deformando-o normalmente até à rotura, como se pode observar na figura seguinte.

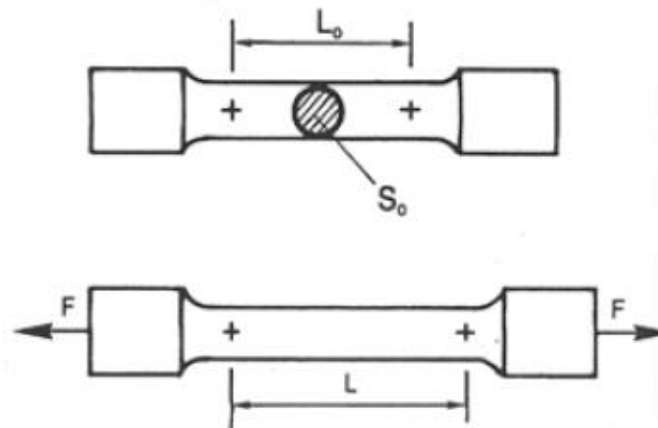


Figura 21 - Desenho esquemático de um ensaio de tração. [1]

Este tipo de ensaios permitem então medir a variação de comprimento de um provete (l), aquando da aplicação de uma determinada carga (F), de acordo com a lei de Hooke, que irá ser abordada posteriormente.

Podemos definir a tensão, ou tensão média (σ), como sendo o quociente entre a força aplicada (F) e a secção inicial do provete (S_0)

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (1)$$

No Sistema Internacional (SI), a tensão exprime-se em Pascal (Pa), ou seja, Newton por metro quadrado (N/m^2), podendo também ser expressa em Mega pascal (MPa), sendo que neste caso a secção do provete vem em mm^2 .

A extensão nominal é definida como sendo o quociente entre o alongamento do provete ($l-l_0$), ou seja, o comprimento final menos o comprimento inicial, também designada pela letra Δl e o comprimento de referência (l_0).

$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2)$$

Por norma, a extensão nominal é expressa em % e em termos de unidades SI representa-se geralmente em, metro por metro, (m/m).

No final de um ensaio de tração, os resultados obtidos surgem na forma de gráficos e diagramas e é possível obter curvas de força/alongamento, bem como as de tensão/extensão, curvas estas que são muito semelhantes, visto a tensão ser obtida através da divisão da força pela secção inicial do provete (que é constante) e a extensão ser calculada através da divisão do alongamento pelo comprimento de referência, valor também constante.

Na grande maioria dos ensaios realizados em materiais metálicos, verifica-se a existência de uma proporcionalidade direta entre a tensão/extensão ou entre a força/alongamento, na sua fase inicial. Esta proporcionalidade inicial origina em termos de gráficos de ensaio, uma linha reta (Figura 24), demonstrando que o material nessa fase possui um comportamento elástico. Esta relação de proporcionalidade é conhecida como Lei de Hooke e surgiu através da analogia com a equação da elasticidade de uma mola ($F=k.x$).

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad \text{ou} \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F \cdot l_0}{A_0 \cdot \Delta l} = \frac{\Delta F \cdot A}{\Delta x \cdot L} \quad (3)$$

A constante de proporcionalidade E , também designada por módulo de Young ou módulo elasticidade, dá-nos a informação sobre a rigidez dos materiais, ou seja, a resistência do material à deformação plástica. No Sistema Internacional (SI), os valores de E exprimem-se em Gigapascal (Gpa), devido a este valor ser bastante elevado.

Os valores desta constante variam significativamente, dependendo da classe dos materiais em questão, (metálicos, cerâmicos ou poliméricos), devido aos seus diferentes tipos de ligações atómicas. O aumento da temperatura também origina uma descida do módulo de elasticidade em praticamente todos os materiais, com a exceção de alguns

polímeros. Na tabela 4, podem observar-se os valores do módulo de elasticidade de alguns materiais.

Tabela 4 - Módulos de elasticidade de alguns materiais à temperatura ambiente. [4]

Material	Temperatura de fusão (°C)	E	
		GPa	10 ⁶ psi
Chumbo (Pb)	327	14	2
Magnésio (Mg)	650	45	6,5
Alumínio (Al)	660	69	10
Prata (Ag)	962	72	10,4
Ouro (Au)	1064	79	11,5
Latão (Liga)	-	97	14
Titânio (Ti)	1660	107	15,5
Cobre (Cu)	1085	110	16
Níquel (Ni)	1453	207	30
Aço (Liga)	-	207	30
Ferro (Fe)	1538	210	30,5
Molibdênio (Mo)	2610	304	44,1
Tungstênio (W)	3410	407	59
Al ₂ O ₃	2020	379	55

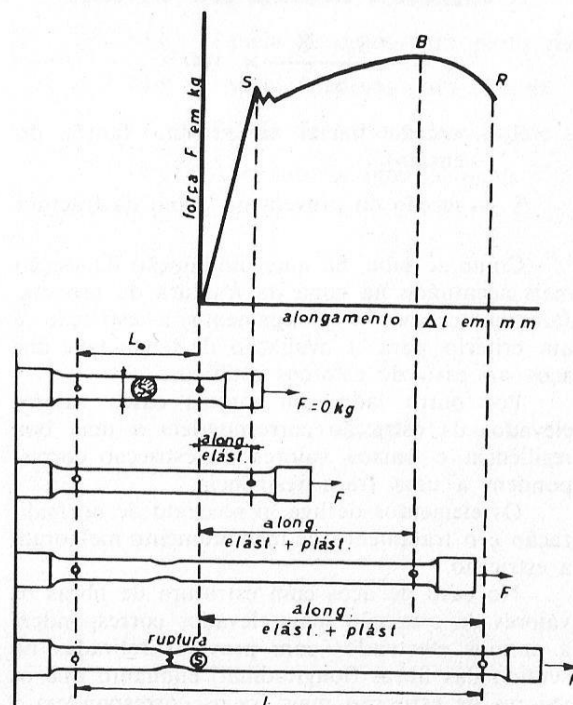


Figura 22 - Curva Força/Alongamento [4]

Na figura 23 podemos ver a curva característica resultante de um ensaio de tração, sendo que neste caso se trata da curva, força/alongamento e onde é possível observar o ponto onde termina o limite de proporcionalidade do material, ponto S do gráfico.

Até este ponto S, o material recupera elasticamente, ou seja, assim que a força for aliviada no provete este recupera totalmente em termos de deformação.

Entre o ponto S e o ponto R deixa de haver essa proporcionalidade e entramos no domínio plástico, onde a deformação se torna permanente e irreversível, ou seja, o material não recupera totalmente após retirada a carga.

A Identificação do ponto de transição entre a fase elástica e a fase plástica é bastante importante e na maioria dos materiais metálicos ocorre de forma algo gradual, observando-se o aparecimento de uma curva que aumenta de forma rápida com o continuar do aumento da tensão aplicada. Como se pode observar na figura seguinte esta fase de transição pode ocorrer de três maneiras distintas, consoante o gráfico obtido:

- Com patamar de cedência;
- Com tensão limite convencional de proporcionalidade a $\eta\%$;
- Com tensão limite convencional de elasticidade.

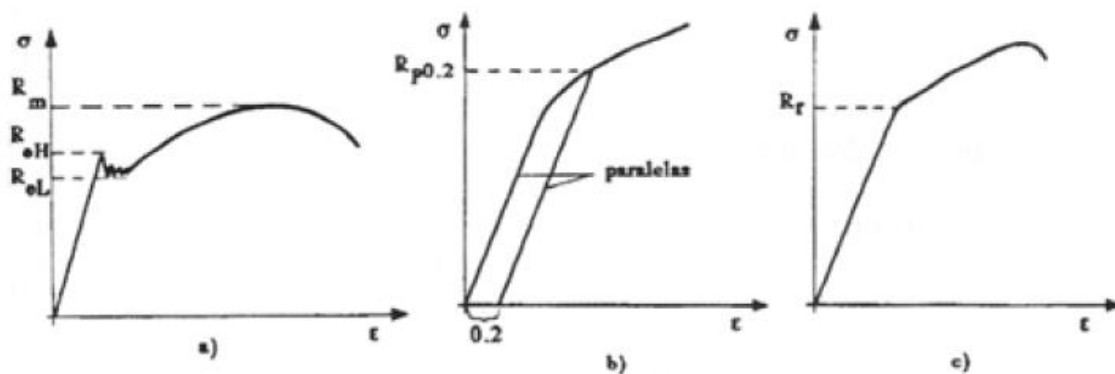


Figura 23 - Transição elastoplástica: a) com tensão de cedência; b) com tensão limite convencional de proporcionalidade a 0.2%; c) com tensão limite de elasticidade. [1]

Após a realização do ensaio e obtenção do respetivo diagrama e sabendo a secção inicial do provete é possível determinar uma serie de propriedades do material.

- Tensão máxima (σ_m) ou tensão de rotura (R_m)

Este valor representa a tensão máxima a que o provete está sujeito durante o ensaio de tração. A partir deste ponto, os valores da tensão decrescem rapidamente e a deformação aumenta até à rotura do material.

- Limite de Elasticidade

Determina a tensão máxima a que o material se deforma ainda elasticamente e não plasticamente, ou seja, a tensão limite a que o material recupera totalmente assim que a carga é retirada, como referido anteriormente.

Esta propriedade é bastante importante e dependendo do diagrama de ensaio obtido esta pode ser calculada através das seguintes formas:

Tensão de cedência superior, ou seja, o valor da tensão correspondente ao instante em que se verifica a primeira diminuição da força, num ensaio com patamar de cedência, como se pode ver na Figura 24.

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0} \quad (4)$$

Tensão de cedência inferior, corresponde ao valor mais baixo de tensão durante a fase de cedência do material. (Figura 24).

$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0} \quad (5)$$

Outro valor possível de calcular é o da tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2%, que corresponde ao valor da tensão para o qual se observa uma deformação extensométrica permanente de 0,2% do comprimento de base do extensómetro, (L_e). Este valor de 0,2% pode variar sendo que terá de ser também substituído o seu símbolo na fórmula, (Figura 24).

$$R_{0,2\%} = \frac{F_{0,2\%}}{S_0} \quad (6)$$

Se se verificar uma deformação extensométrica remanescente no provete, após ser retirada a força aplicada durante o ensaio, estamos perante um valor de tensão limite de elasticidade. Este valor representa uma percentagem do comprimento inicial entre referências (L_0) ou pode também representar a percentagem do comprimento de base do extensómetro utilizado, (L_e). Este parâmetro é aplicado quando o ponto de transição elastoplástica é de simples identificação, (Figura 24).

É a partir deste mesmo ponto, que a Lei de Hooke deixa de ser válida.

$$R_r = \frac{F_r}{S_0} \quad (7)$$

Para além das propriedades de resistência, o ensaio de tração permite obter também algumas propriedades de ductilidade do material. Através da colocação de um extensómetro é possível medir, quer a deformação, quer a estrição do material durante o ensaio, nomeadamente no domínio elástico.

Assim sendo torna-se possível determinar as seguintes propriedades:

- Extensão após-rotura

Este valor é calculado através da medição do alongamento remanescente no final do ensaio, sendo que inicialmente são traçadas marcas no provete (L_0), medindo-se no final a distancia entre as marcas, tendo o cuidado de ajustar o provete pela zona de rotura, (L_u).

$$A = \frac{L_u \times L_0}{L_0} \times 100\% \quad (8)$$

- Coeficiente de estrição

Este valor mede a variação máxima da área do provete, antes (S_0) e depois do ensaio de tração (S_u) e é expresso através da equação seguinte:

$$Z = \frac{S_u \times S_o}{S_0} \times 100\% \quad (9)$$

- Coeficiente de Poisson

Um material ao ser tracionado sofre uma deformação na direção da aplicação da carga, contudo sabe-se que também na direção transversal a esta força se verifica um encurtamento do material e pode ser calculada através da seguinte equação:

$$\varepsilon_0 = \frac{b - b_0}{b_0} \quad (10)$$

A relação entre estas duas deformações, a transversal e a deformação no sentido da carga denomina-se de coeficiente de Poisson e pode ser expresso através da seguinte equação:

$$\nu = \frac{\text{Deformação lateral}}{\text{Deformação axial}} \Rightarrow \nu = -\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_l} \quad (11)$$

$\varepsilon_l = \varepsilon$ da equação 2.

Tabela 5 - Propriedades físicas de alguns materiais. [1]

MATERIAL	E MPa	R _c (MPa)	R _m (MPa)
Aço ao carbono	210000	316	4900
Aço mola	210000	984	1540
Aço inoxidável	190000	290	580
Ferro fundido	140000	230	345
Alumínio	70000	95	110
Duralumínio	73000	126	276
Cobre	110000	28	200/220
Bronzes / Latões	77000-119000	145/435	300/650
Chumbo	17500	---	---
Titânio	100000	586	662
Ligas de Titânio	112000-121000	830	900
Ouro, Prata	78500	---	---
Platina	158000	---	---

No caso dos polímeros, devido às suas características elásticas, típicas dos metais e às características viscosas típicas dos fluídos, estes podem ser definidos em termos de comportamento mecânico, como materiais viscoelásticos, sendo que nestes casos não se verifica uma proporcionalidade entre a tensão e a deformação no domínio elástico, a sua tensão de cedência não é, normalmente bem identificada devido ao seu processo de recuperação elástica ser pouco linear e é também um material fortemente dependente das temperaturas envolvidas e da velocidade dos ensaios.

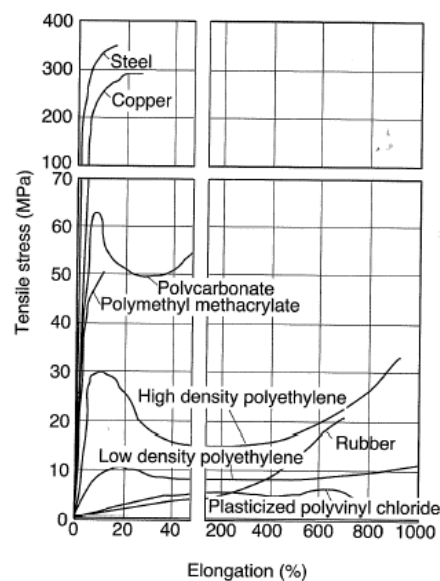


Figura 24 – Ensaio de tração, comparação entre vários materiais. [48]

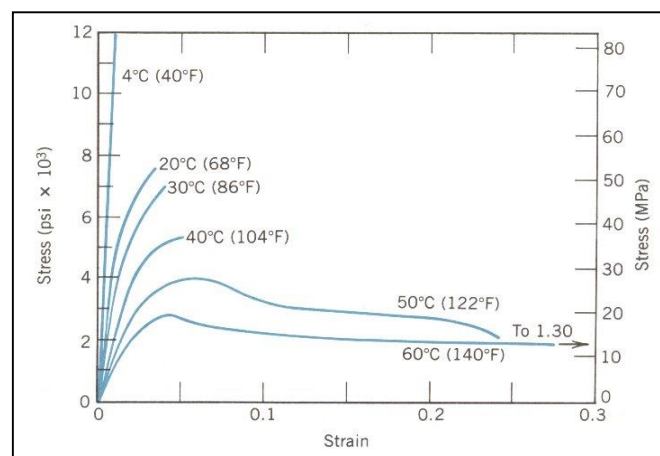


Figura 25 - Ensaio de tração, influência da temperatura. [48]

Na deformação de um polímero dúctil com estiramento, a formação da estricção não é estável como nos metais, alastrando-se a todo o provete antes da sua fratura.

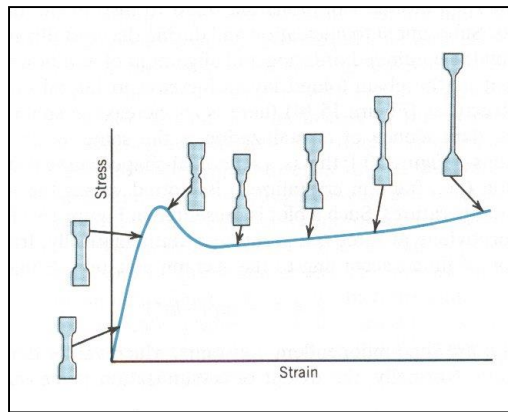


Figura 26 - Ensaio de tração em polímeros dúcteis com estiramento. [48]

2.3.1.2 ENSAIO DE DUREZA SHORE D

Os principais tipos de ensaios de dureza usados na indústria são: Brinell, Vickers, Rockwell, Shore e microdureza.

Relativamente à dureza Shore, pode-se dizer que esta consiste na resistência à penetração a um indutor com uma forma determinada e uma dada carga.

Para executar estes testes recorrem-se a durómetros. Os durómetros são aparelhos de medição que indicam a dureza de um dado material em função da penetração que um indutor consegue provocar num dado material. Com este método podemos determinar a dureza de materiais abrangendo desde borrachas vulcanizadas moles até alguns plásticos duros. Este método permite a medição de valores de indentação imediatos, em períodos de tempos específicos ou em ambos os casos.

Os ensaios de dureza são dos mais utilizados na indústria, devido ao baixo custo dos equipamentos utilizados, bem como da sua extrema facilidade de realização. Estes ensaios permitem obter características importantes dos materiais, como por exemplo a sua ductilidade, resistência mecânica e comportamento ao desgaste, sendo também importantes no controlo de qualidade em tratamento térmicos e mecânicos, em processos de conformação em etapas de fabricação e até mesmo em produtos finais, para controlo da qualidade.

A dureza pode ser definida como sendo uma medida de resistência à deformação plástica. Os seus ensaios são comparativos e podem ser divididos em três tipos, dependendo do método utilizado.

- Ensaios de dureza por risco;
- Ensaios de dureza por ressalto;
- Ensaios de dureza por penetração.

Para este trabalho será apenas abordado o ensaio de dureza por penetração, que tem como princípios gerais, a aplicação de uma força de forma lenta e perpendicular à superfície da peça, limpeza e preparação correta das respectivas superfícies.



Figura 27 – Durómetro, equipamento utilizado para ensaios de dureza Shore. [10]

Normalizado pela ASTM D 2240, ISO 7619-1, ou pela norma DIN 53505, norma antiga, este ensaio analisa a resistência que o material oferece a um penetrador padrão, com uma determinada carga aplicada. Dependendo do material em análise é possível escolher diferentes durómetros com escalas de dureza diferentes, (Shore A, B, C, D, entre outros), variando a carga aplicada e o tipo de indentador.

O ensaio com o durómetro Shore A é utilizado para ensaiar materiais elastómeros relativamente suaves como a silicone, ou vedantes em polietileno, enquanto o durómetro Shore D, é o mais indicado para a medição das nossas amostras pois é capaz de medir, desde borrachas até plásticos duros, como termoplásticos. Ambos os ensaios tem uma escala que varia entre 0 a 100, como se pode ver na tabela 6.

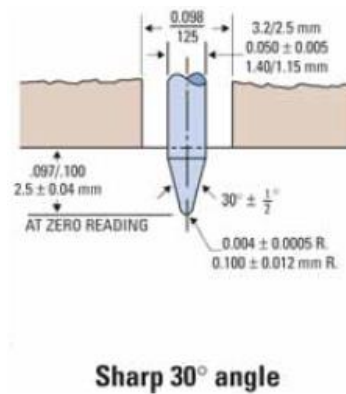


Figura 28 - Indentador Shore D, [9]

A facilidade de execução, a grande precisão, os resultados quase imediatos e a capacidade de medir a dureza a uma vasta gama de materiais, são algumas das vantagens destes ensaios.

Por outro lado tem como desvantagens apresentar um resultado que é sensível ao acabamento superficial, necessitar de uma cuidada calibração do indentador, bem como garantir a sua perpendicularidade, pois este deve estar perfeitamente vertical.



Figura 29 - Calibradores para durómetros Shore [9].

Tabela 6 - Equivalencia entre as escalas de dureza Shore A e Shore D. [11]

SHORE DUROMETER CONVERSION TABLE	
SHORE A	SHORE D
100	58
95	46
90	39
85	33
80	29
75	25
70	22
65	19
60	16
55	14
50	12
45	10
40	8
35	7
30	6
25	
20	
15	
10	
5	

2.3.1.3 PUNTO DE AMOLECIMENTO VICAT

Devido ao facto de os termoplásticos não terem um ponto de fusão definido, que nos indique de modo preciso o ponto de passagem de um estado sólido para um estado mais fluido, surgiu a necessidade de se desenvolver um ensaio que tem como principal objetivo, a medição da temperatura de amolecimento de um termoplástico em substituição do seu ponto de fusão.

O ensaio VICAT consiste então na determinação da temperatura, a que um indentador circular de ponta achatada e com uma secção transversal de 1 mm², penetra exatamente 1mm na superfície do corpo de prova, com a aplicação de uma carga continua e padronizada de 10 N ou de 50 N. Esta temperatura de amolecimento VICAT é controlada pela ASTM D 1525-00.

No final destes ensaios é possível verificar se os materiais estão aptos a trabalhar sob temperaturas severas.

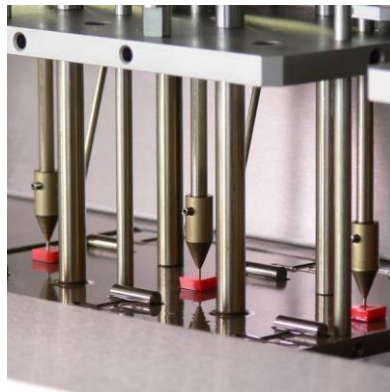


Figura 30 – Equipamento para ensaio VICAT. [6]

2.3.1.4 ENSAIO DE QUEIMA

A grande maioria dos materiais plásticos que existem são desenvolvidos e fabricados em laboratórios a partir de polímeros sintéticos, o que permite a obtenção de materiais com características e propriedades excepcionais. Os plásticos sintéticos dividem-se basicamente em dois grandes grupos.

- Termoplásticos

Este tipo de plásticos amolecem quando são aquecidos e voltam a endurecer quando arrefecidos, o que permite a sua constante reutilização sem perda das suas propriedades. Estes materiais tem também como vantagem a sua facilidade de reciclagem.

- Termoendurecíveis

Estes plásticos são bastante mais rígidos que os termoplásticos e depois de ganharem a forma final por ação do calor e reações químicas, já não podem voltar a ser aquecidos e reutilizados. A sua reciclagem é bastante difícil e dispendiosa.

Os plásticos são materiais visualmente muito semelhantes, contudo, estes podem ser modificados de forma a servir diferentes tipos de aplicações, sendo possível encontrar para um mesmo produto, diferentes tipos de plásticos, tornando difícil a sua identificação.

Esta identificação torna-se relativamente importante no que diz respeito à reciclagem, devido à necessidade da separação por tipos de plástico. Posto isto, foi criada uma simbologia que permite identificar os 6 tipos de plásticos mais utilizados em todo mundo, o HDPE, o LDPE, o PP, o PVC, o PS e o PET.

Os símbolos de identificação utilizados são de geometria triangular e colocado no seu interior um código, como se pode ver na figura 31.

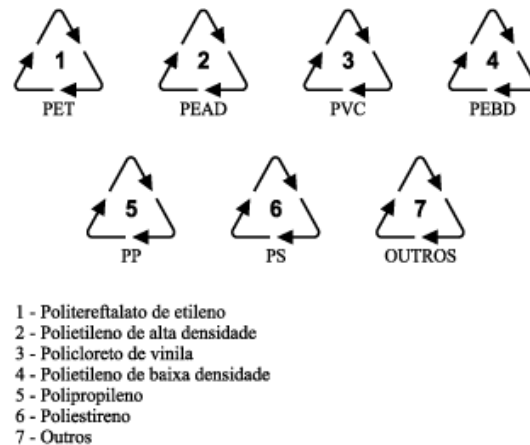


Figura 31 - Simbologia de identificação de plásticos. [2]

Embora seja já uma prática comum, existem ainda muitos fabricantes que não cumprem esta simbologia, colocando apenas o triângulo sem o seu código correspondente. De notar, que ao se tratar de uma mistura de diferentes tipos de plásticos, esta numeração deixa realmente de poder ser colocada.

Em laboratório, podem ser realizados alguns ensaios que permitem obter uma identificação do plástico, através da análise do seu comportamento, como por exemplo:

- Teste de corte

Neste ensaio é possível distinguir um termoplástico de um termoendurecível dependendo se há ou não formação de pó durante o corte das amostras, bem como através da análise da superfície de corte.

- Teste de flutuação

Este teste é realizado em termoplásticos e permite verificar se o material é ou não uma poliolefina (PP, PEAD ou PEBD), através da comparação de densidades das amostras.

- Teste de combustão

Diferentes tipos de plástico, reagem de maneira diferente quando queimados, sendo que essas diferenças tornam possível a sua identificação. A cor da chama, a intensidade e velocidade com que este arde, a quantidade de fumos e a sua cor, bem como a capacidade ou não de se manter a arder mesmo retirando a chama, ou mesmo se

derrete e pinga, são tudo comportamentos que variam de plástico para plástico, permitindo a sua identificação.

Tabela 7 - Propriedades características de alguns plásticos. [32]

Plástico		Código	Cor da chama	Densidade (g cm ⁻³)	Temperatura de amolecimento / fusão (°C)
Nome	Sigla				
Poli(tereftalato de etileno)	PET	1	Fuliginosa	1,38 - 1,41	250 – 260
Polietileno de alta densidade	HDPE	2	Amarela	0,94 – 0,97	~ 130
Poli(cloreto de vinilo)	PVC	3	Verde	1,19 – 1,35	75 – 90
Polietileno de baixa densidade	LDPE	4	Amarela	0,91 – 0,93	~ 100
Polipropileno	PP	5	Amarela	0,85 – 0,92	160 – 170
Poliestireno	PS	6	Fuliginosa	1,05 – 1,08	70 - 115

2.3.2 CARACTERIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE

Todas as superfícies, independentemente da forma como são obtidas, possuem uma quantidade de erros de forma, ondulações e rugosidades. Naturalmente as superfícies obtidas por maquinagem à partida serão mais propensas a registarem valores de rugosidades mais elevados.

Entende-se por rugosidade superficial o conjunto de pequeníssimas irregularidades, isto é, os picos e os vales que constituem uma superfície. Estas irregularidades são causadas pelo processo de produção e gerados pela impressão das ferramentas nas superfícies (fresa, pastilha, etc.). A rugosidade pode também ser designada de textura primária.

Por sua vez a ondulação, ou textura secundária, define-se como sendo o conjunto de irregularidades causadas por vibrações ou deflexões no processo de produção ou tratamento térmico.

Quando se mede a rugosidade, o aparelho regista o perfil composto da rugosidade e da ondulação.

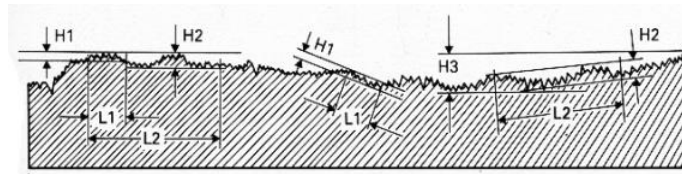


Figura 32 - Perfil efetivo (perfil obtido através da medição da rugosidade superficial). [12]

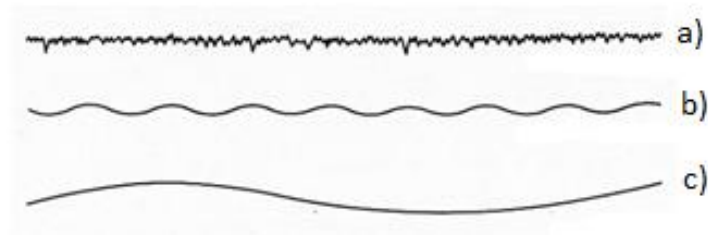


Figura 33 - a) Rugosidade; b) Ondulação; c) Erro de forma. [12]

Para a medição da rugosidade, deve ser feita uma separação das ondulações e dos desvios macro geométricos. Esta separação é feita através da filtragem em que o filtro separa o perfil de rugosidade dos demais desvios de forma.

O comprimento de onda do filtro é designado de "cut-off" e determina o que deve ser registado, ou seja, o ponto "Cut-off" é o ponto onde a rugosidade passa a ser considerada ondulação e o seu comprimento funciona como um filtro para a medição da rugosidade.

O sinal das rugosidades apresentam altas frequências (pequenos comprimentos de onda) e as ondulações e demais erros de forma apresentam sinais com baixas frequências (altos comprimentos de onda). Os rugosímetros utilizam assim, filtros que permitem passar os sinais de alta frequência e bloqueiam os sinais de baixa frequência, registando assim as rugosidades e eliminando as ondulações.

Os rugosímetros utilizam filtros que só permitem analisar valores com frequências maiores que os valores pré-determinados.

Esta frequência pré-determinada é chamada de "cut-off", os sinais com frequências inferiores à frequência de "cut-off" são eliminadas.

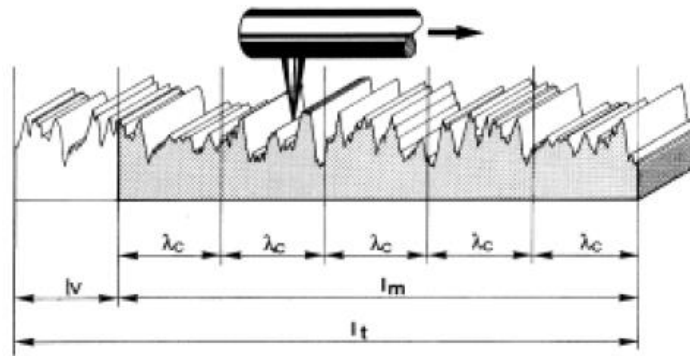


Figura 34 - Comprimento da medição dividido em vários elementos "cut-off". [12]

Quanto maior for o valor do "Cut-off" maior será a rugosidade registada e como consequência menor será a ondulação medida, portanto a escolha do "cut-off" é um parâmetro fundamental para uma correta leitura da rugosidade. A tabela 8 mostra em função da rugosidade da superfície qual o "Cut-off" mais adequado.

Tabela 8 - Determinação do "cut-off" em função da rugosidade. [12]

Cut-off λ_c (mm)	Espaçamento entre picos de perfil periódico (mm)	R_a (μm)	R_z (μm)	L_t (mm)
0,08	< 0,032	---	---	0,48
0,25	0,032 - 0,1	< 0,1	< 0,5	1,5
0,8	0,1 - 0,32	0,1 - 2	0,5 - 10	4,8
2,5	0,32 - 1	2 - 10	10 - 30	15,0
8	> 1	> 10	> 30	48,0

Em termos dos parâmetros de rugosidade medidos, podemos referir como sendo os mais importantes, os seguintes:

- R_a - Rugosidade média

Pode ser definido como o desvio médio do perfil em comparação com a linha média, Figura 35 e calcula-se recorrendo à seguinte equação:

$$R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} |y(x)| \cdot dx \quad (12)$$

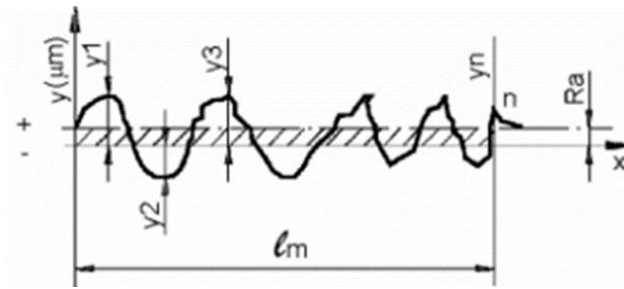


Figura 35 – Ra (Rugosidade média). [12]

- Rz (DIN)- Média das alturas entre picos e vales

Para se determinar este valor de rugosidade o perfil de rugosidade é filtrado e dividido em 5 partes iguais, normalmente de comprimento igual ao comprimento do "cut-off". A altura máxima entre picos e vales, Z_i , é determinada em cada um destes comprimentos definidos, como mostra a figura 36.

A rugosidade R_z , determina-se recorrendo à equação:

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 Z_i \quad (13)$$

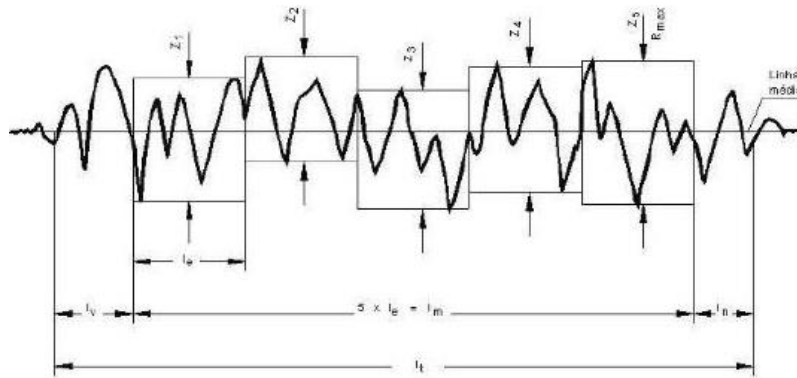


Figura 36 - Rz (Média das alturas entre picos). [12]

R_q - Rugosidade média quadrática - RMS

Parâmetro mais sensível aos picos e aos vales do que a rugosidade média R_a , no entanto não é muito utilizada, uma vez que mede apenas os valores extremos dos picos e dos vales e não a média das alturas do perfil.

A rugosidade R_q é determinada pela seguinte equação:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} y^2(x) \cdot dx} \quad (14)$$

- Parâmetros híbridos:

- R_k - Altura central da rugosidade
- R_{pk} - Altura dos picos reduzida
- R_{vk} - Altura dos vales reduzida

A medição de rugosidade pelos parâmetros R_k , é definida pela curva Abbott-Firestone, figura 37.

De uma maneira geral pode-se definir que os picos definidos pelo parâmetro R_{pk} serão removidos no amaciamento das peças em contacto. O parâmetro R_k , define a rugosidade ao longo da vida útil do componente e o parâmetro R_{vk} define o volume de reservatório de lubrificante no contacto entre duas superfícies.

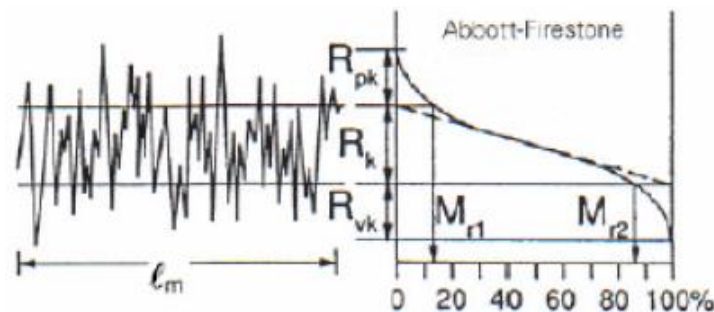


Figura 37 - Rugosidade R_k . [12]

O volume de lubrificante retido em R_{vk} é definido pelo parâmetro V_0 e é determinado através da seguinte expressão:

$$V_0 = \frac{R_{vk}(100 - M_{r2})}{200} \quad (15)$$

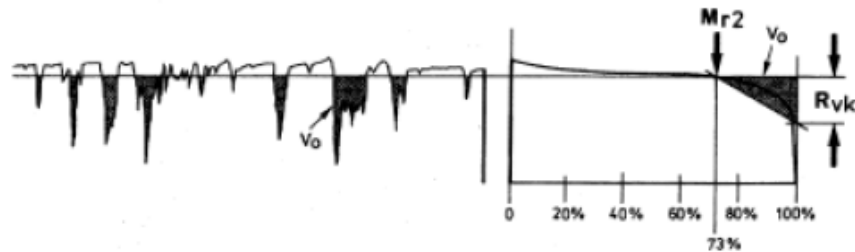


Figura 38 - Volume de retenção de óleo, V0. [12]

2.4 ANÁLISE DA TEMPERATURA

A análise da temperatura irá ser efetuada através da termografia, técnica que torna possível a visualização de uma forma gráfica ou visual, das diferentes temperaturas de uma determinada zona ou área, dentro do espectro infravermelho.

O espectro infravermelho é um dos tipos de onda eletromagnética utilizados na produção e medição de radiação e é apenas um dos muitos tipos de ondas eletromagnéticas existentes, sendo que ao seu conjunto dá-se o nome de espectro de radiação eletromagnética.

Podemos ainda concluir que as diversas bandas do espectro eletromagnético apenas se diferenciam no vácuo pelos seus diferentes comprimentos de onda, também denominadas de, frequências, como se pode observar na Figura 39.

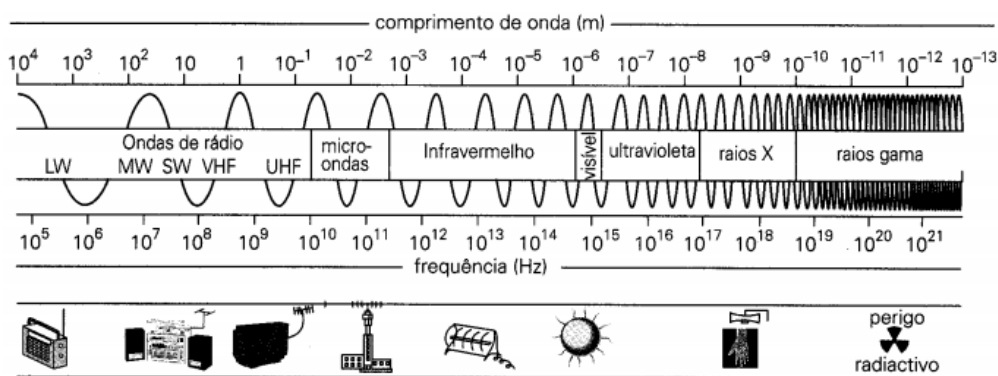


Figura 39 - Espectro eletromagnético. [18]

Para além da onda do visível, nenhuma das restantes é possível ser observada diretamente pelo olho Humano, pelo que necessita de equipamentos apropriados.

Uma camera térmica permite a transformação de uma radiação invisível a olho nu e que é emitida por um objeto, em uma imagem visível, através da modificação da frequência da energia recebida para uma frequência dentro do campo do visível. Para que seja possível criar uma imagem térmica tem de haver diferenças de temperatura nas superfícies.



Figura 40 – Imagem de um cão visto em infravermelho. [19]

Nos dias de hoje, esta técnica é fundamental nas áreas da manutenção preditiva, capaz de eliminar muitos problemas, como falhas elétricas, mecânicas e mesmo fadiga dos materiais. Bastante utilizado pelos bombeiros no apoio aos incêndios, na detecção de zonas ainda com temperaturas elevadas e atualmente cada vez mais utilizada na área da saúde, analisando as diferentes temperaturas do nosso organismo em busca de alterações na atividade funcional dos nossos órgãos e tecidos, mesmo antes de surgirem os sintomas físicos e sintomáticos.



Figura 41 - Imagem de infravermelho de uma equipa de bombeiros no combate a incêndios. [21]

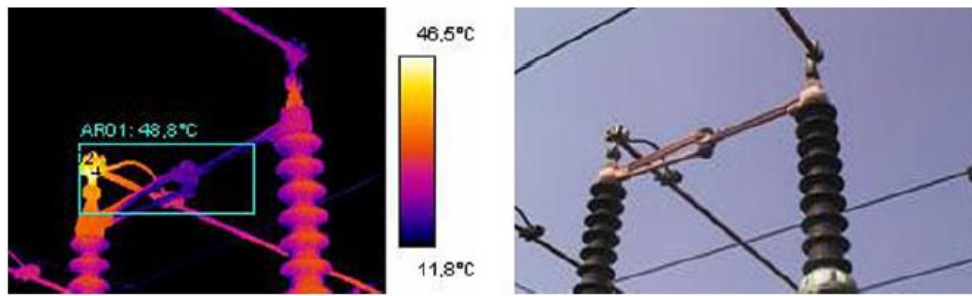


Figura 42 - Vista em infravermelho e visual de uma linha de alta tensão. [20]



Figura 43 - Imagem térmica em infravermelho de um disjuntor, com medição da temperatura máxima. [20]

A radiação que é emitida pelos objetos é resultante da sua temperatura de superfície, o que permite a uma câmara, calcular e mostrar essa temperatura em forma de imagem. Contudo, existem outros fatores para além da temperatura do objeto que influenciam na medição da radiação, como é o caso da emissividade dos objetos, bem como a temperatura refletida no objeto pelo meio ambiente que o rodeia.

Estes parâmetros do objeto terão de ser manualmente colocados na câmara, de modo a esta poder medir a temperatura com uma maior precisão e destacam-se pela sua importância os seguintes:

- Emissividade do objeto;
- A temperatura aparente refletida;
- A distância entre o objeto e a câmara;
- A humidade relativa;
- A temperatura da atmosfera.

Podemos definir a emissividade, como sendo a medição da gama de radiação libertada por um corpo, quando comparada com a que é emitida por um corpo negro perfeito à mesma temperatura. A gama de emissividade da maioria dos materiais dos objetos, bem como dos tratamentos de superfície variam entre os 0,1 e os 0,95, sendo que se a superfície for extremamente polida (superfície espelhada), este parâmetro toma valores abaixo dos 0,1 e se pelo contrário, esta superfície estiver pintada ou oxidada, os valores irão ser mais elevados, superiores a 0,9.

Pode-se dizer que na generalidade, os metais possuem uma emissividade baixa, que aumenta com o aumento da temperatura, enquanto os não metais, apresentam valores mais baixos e aumentando consoante aumenta a temperatura. A pele Humana tem uma emissividade que varia entre os 0,97 e os 0,98.

2.5 ANÁLISE DE RUÍDO

O som, de um ponto de vista fisiológico pode ser definido como sendo qualquer coisa que seja sentida pelo ouvido, contudo de um ponto de vista físico a sua definição torna-se um pouco mais complexa.

Resultantes da vibração das partículas do meio envolvente, aquando da sua propagação, através das variações de pressão e densidade, as ondas sonoras deslocam-se de forma longitudinal e a uma dada velocidade, dependendo do meio de propagação, que pode ser líquido, gasoso ou até mesmo sólido. No ar, o som desloca-se a uma velocidade média de cerca de 340 m.s^{-1} , ou seja, demora apenas 1 segundo a percorrer 340 metros, tendo em atenção, que esta velocidade pode variar consoante a temperatura a que se encontrar o meio de propagação.

Qualquer que seja o fenómeno capaz de produzir esta vibração e conseqüente alteração da pressão atmosférica ambiente é denominada de fonte ou origem sonora. No caso do ser Humano, este fenómeno acontece devido às suas cordas vocais, ou seja, a voz, não é mais do que a passagem do ar pelas suas cordas vocais, situadas na faringe e que ao serem atravessadas pelo ar, começam a vibrar, transmitindo essa mesma vibração ao respetivo meio, formando desse modo as ondas sonoras.

Contudo, após a produção e transporte do som, é necessária a existência de um recetor sonoro, capaz de o receber e identificar. No caso do Homem trata-se do ouvido, um aparelho auditivo capaz de detetar sons com frequências entre os 20 Hz e os 20000 Hz. Abaixo destes valores de frequência as ondas denominam-se de Infrassons, enquanto para valores acima as ondas se denominem de ultrassons, ambos fora da zona do audível.



Figura 44 - Produção, meio de propagação e recepção do som. [22]

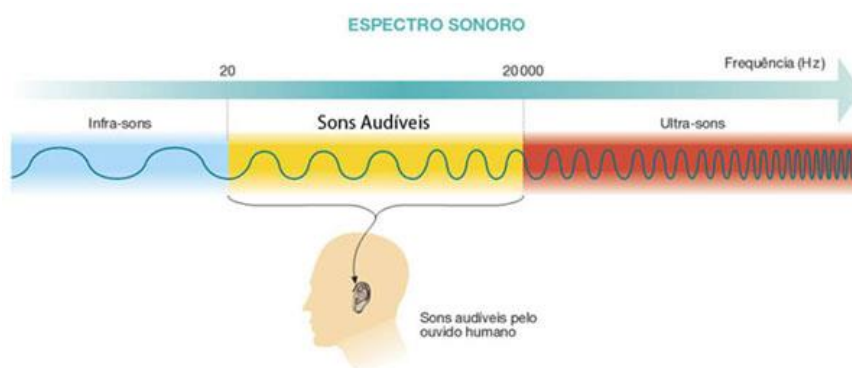


Figura 45 - Espectro sonoro. [22]

Para além da frequência, o som para ser captado pelo ouvido Humano, necessita de possuir uma determinada intensidade, ou seja, é necessário garantir que a intensidade sonora é forte o suficiente para ser captada. Por este motivo houve a necessidade de se criar uma escala de nível sonoro, que relaciona a intensidade do som produzido com o mínimo som que é possível captar.

Para detetar este nível de ruído utiliza-se um sonómetro e as unidades utilizadas para o quantificar são o Bel (B), ou o decibel (dB) que corresponde a um décimo do Bel.

Uma folha a cair de uma árvore, por exemplo, dá-nos um nível sonoro reduzido, cerca de 15 dB, enquanto um foguetão na descolagem chega aos 150 dB, um valor elevado e que pode provocar sérios danos no sistema auditivo, podendo mesmo ser permanentes aquando da exposição prolongada.



Figura 46 - Níveis sonoros em diversas situações. [22]



Figura 47 - Níveis sonoros VS efeitos no ser humano. [22]

Os valores da frequência e do nível sonoro estão intimamente interligados, de tal forma, que a cada frequência corresponde um nível sonoro mínimo necessário para que o som seja ouvido, como se pode observar na Figura 48.

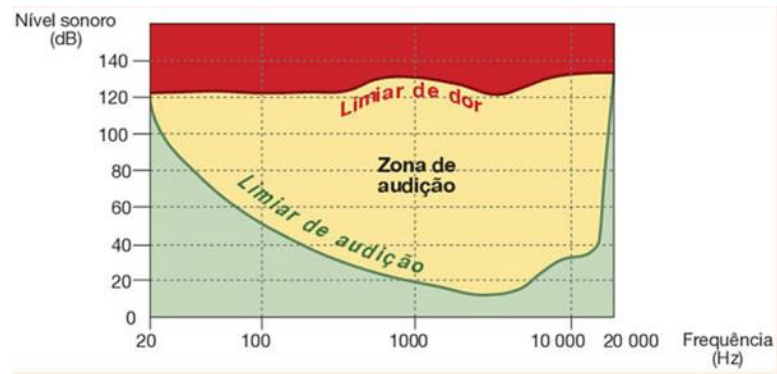


Figura 48 - Relação entre as propriedades, nível sonoro e frequência. [22]

Ao ler-se o gráfico anterior, podemos verificar que para uma frequência de 1000 Hz, o ouvido humano apenas capta o som se o valor do nível sonoro for no mínimo de 20 dB, enquanto para uma frequência de 20 Hz o nível sonoro mínimo tem de ser de 120 dB. A zona a amarelo representa os sons captados pelo ouvido humano e a zona a verde os que o ser humano não consegue captar devido ao baixo nível sonoro. A zona a vermelho representa as zonas onde o som causa já dor e lesões no ouvido humano devido ao elevado nível sonoro.

É certo, que uma exposição prolongada a ambientes com elevados níveis de ruído pode de fato levar à perda de audição e provocar doenças no sistema nervoso central. Deste modo existem certos cuidados e proteções que se devem ter ou utilizar para que estes riscos sejam menores e se preserve por mais tempo a saúde.

Em Portugal, existe uma grande percentagem de trabalhadores diagnosticados com doenças profissionais, sendo a surdez profissional uma das mais frequentes, contudo bastante complicadas de serem comprovadas.

Motivo pelo qual a legislação tem vindo a ser cada vez mais rígida nesta área, criando decretos-lei e diretivas que obriguem as entidades patronais a tomar medidas de redução dos níveis de ruído nos postos de trabalho, impondo limites e obrigando a inspeções frequentes aquando acima dos 85 dB, (valor limite, a partir do qual se torna prejudicial).

A distribuição de protetores auditivos, como auriculares, a substituição de máquinas ruidosas por outras mais recentes com níveis de emissão de ruído menores, a insonorização de alguns espaços, ou mesmo o cuidado em não permitir que um operário

se mantenha muito tempo seguido exposto a certos níveis de ruído, são pequenos gestos que tornam melhores as condições de trabalho dos funcionários.

No caso concreto dos nossos equipamentos, um dos objetivos desta dissertação era a identificação dos níveis de ruído dos motores em funcionamento, identificando quais as hélices mais ruidosas, se este nível de ruído varia consoante o motor utilizado e por fim, verificar se a rugosidade das hélices influencia nos níveis de ruído apresentados.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

3.1 ENSAIOS MECÂNICOS E FÍSICO-QUÍMICOS

3.2 ANÁLISE DE TEMPERATURA

3.3 ANÁLISE DE RUÍDO

3 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

3.1 ENSAIOS MECÂNICOS E FÍSICO-QUÍMICOS

Após preparadas as amostras, estas são numeradas, para facilitar a sua identificação e dá-se início aos testes experimentais, como se pode ver na figura 2. De salientar que em alguns destes testes foram apenas ensaiadas as amostras poliméricas.

- 1º Teste: Teste de densidade (utilizando água).

Antes da realização deste teste as amostras foram medidas, a fim de se conseguir calcular o seu volume e em seguida, utilizando uma balança analítica mediram-se as suas massas. Estes valores permitem o cálculo da densidade, que será posteriormente comparada com os resultados obtidos no ensaio experimental.

Tabela 9 – Propriedades calculadas das amostras para teste de densidade e combustão

Amostra	Volume (mm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
B	202,33	0,2223	1,099
C	249,08	0,2125	0,853
P	196,747	0,1972	0,998
A	95,90	0,2521	2,628

Coloca-se água num recipiente e depositam-se as amostras no interior, em seguida observam-se se as amostras e verifica-se se estas flutuam (no caso de possuírem densidade inferior à da água), se ficam em suspensão (no caso a sua densidade seja igual à da água), ou se se depositam no fundo do recipiente (no caso de serem mais densas que a água).

Tabela 10 - Resultado do teste de densidade.

Amostra	Resultado
B	Deposita-se
C	Flutua
P	Deposita-se
A	Deposita-se

- 2º Teste: Teste de combustão

Prepara-se uma amostra de cada material e com o auxílio de uma pinça e de um bico de Bunsen, estas são aquecidas numa chama até começarem a arder. Ao retirar-se as amostras do fogo, observa-se a cor da chama, se as amostras pingam e derretem, qual o seu odor, se a chama se extingue por si ou se continua a arder, quantidade, densidade e cor do fumo, entre outros. Em seguida, tenta-se identificar qual o polímero em causa através da análise de algumas tabelas específicas para o efeito.



Figura 49 - Teste de combustão.

Tabela 11 - Resultados do teste de combustão.

Amostra	Pinga	Cor da chama	Odor	Velocidade de queima	Auto extingue-se
B	Sim	Amarela com azul nas pontas	-	Rápida	Não
C	Sim	Amarela com azul nas pontas	Parafina	Rápida	Não
P	Não	Amarela com azul nas pontas	-	Rápida	Não

Tabela 12 - Análise dos resultados do teste de combustão.

Amostra	Plásticos que apresentam características observadas no Teste de combustão
B	PET, PS, ABS, POM
C	PET, HDPE, LDPE ou PP
P	PU

- 3º Teste: Ensaio de Dureza Shore.

Para este ensaio foram seguidas as normas DIN 53 505 e ISSO 7619-1, sendo que as diferenças consistem basicamente na variação do tempo de aplicação da carga, que pela norma DIN é de 3 segundos e na Norma ISO é de 15 segundos. Neste ensaio, ao ser aplicada a carga, o valor máximo de dureza fica registado no equipamento, começando a decrescer com o passar dos segundos, devido ao facto de o material estar sujeito à fluência. Regista-se então o valor de dureza ao fim dos 3 e 15 segundos.

De modo a poder testar e comparar os resultados, estas medições foram efetuadas primeiramente com a colocação dos três primeiros provetes sob uma base em aço, neste caso a base do equipamento, sendo que, em seguida foram ensaiados os segundos conjuntos de provetes, desta vez sob um material plástico, colocado entre a base do equipamento e o provete em teste.

Tabela 13 - Resultados do ensaio de Dureza Shore D, amostra C (base em aço).

Amostra C (medição)	Norma DIN (3 s)	Norma ISO (15 s)	Valor máximo
1º	67	65	70
2º	66	64	70
3º	65,5	63	71
4º	66	64	72
5º	66	65	71
Média			
	66,1	64,2	70,8

Tabela 14 - Resultados do ensaio de Dureza Shore D, amostra B (base em aço).

Amostra B (medição)	Norma DIN (3 s)	Norma ISO (15 s)	Valor máximo
1º	72	70,5	76
2º	71	70	76
3º	73	71	76
4º	71,5	71	75,5
5º	72	70	76
Média			
	71,9	70,5	75,9

Tabela 15 - Resultados do ensaio de Dureza Shore D, amostra P (base em aço).

Amostra P (medição)	Norma DIN (3 s)	Norma ISO (15 s)	Valor máximo
1º	71	69,5	75
2º	71	70	75
3º	72,5	71	76,5
4º	71,5	70	75,5
5º	70	69	75
Média			
	71,2	69,9	75,4

Tabela 16 - Resultados do ensaio de Dureza Shore D, amostra C (base em plástico).

Amostra C (medição)	Norma DIN (3 s)	Norma ISO (15 s)	Valor máximo
1º	68	65	74
2º	69	65	74
3º	68,5	66	73
Média			
	68,5	65,3	73,7

Tabela 17 - Resultados do ensaio de Dureza Shore D, amostra B (base em plástico).

Amostra B (medição)	Norma DIN (3 s)	Norma ISO (15 s)	Valor máximo
1º	73	71	77
2º	72,5	70,5	77
3º	73	70,5	77
Média			
	72,8	70,7	77

Tabela 18 - Resultados do ensaio de Dureza Shore D, amostra P (base em plástico).

Amostra P (medição)	Norma DIN (3 s)	Norma ISO (15 s)	Valor máximo
1º	70	68,5	74
2º	72,5	70	74,5
3º	72	70	76
Média			
	71,5	69,5	74,8

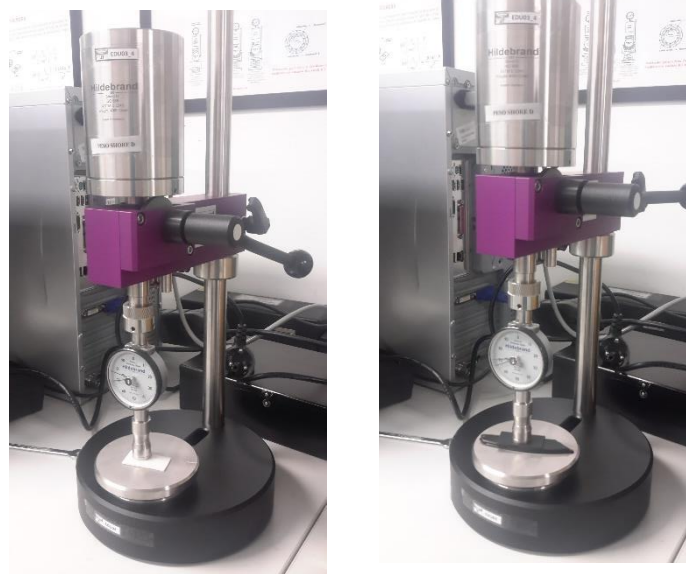


Figura 50 - Ensaio de Dureza Shore D, nos provetes do material B e P.

- 4º Teste: Ensaio de Tração.

O ensaio foi realizado à temperatura ambiente recorrendo à máquina Shimadzu Autograph AG-X 10kN, equipada com uma célula de carga com a capacidade de 5kN. A velocidade do ensaio foi de 1mm/min em alguns ensaios, sendo que nos restantes foi de 5mm/min. A distância entre maxilas foi de 20mm.



1. Painel de Comandos
2. Garras de fixação
3. Célula de carga
4. Travessão

Figura 51 - Equipamento Shimadzu Autograph AG-X 10kN

Neste ensaio foram testados três provetes de cada material sendo testados até à sua rotura. Em seguida serão analisados os resultados obtidos.



Figura 52 - Ensaio de tração de um provete do material B



Figura 53 - Ensaio de tração de um provete do material P

Tabela 19 – Resultados do ensaio de tração, provetes do material A.

	L_0 [mm]	B [mm]	e [mm]	$F_{m\acute{a}x}$ [N]	$\delta_{m\acute{a}x}$ [mm]	$\tau_{m\acute{a}x}$ [MPa]	$\tau_{Rot.}$ [MPa]
Provete A1				3055	0,1188	168,82	0,187
Provete A2*	10	20,53	0,87	3030,31	0,1031	169,91	0,187
Provete A3*				3066,72	0,1126	173,64	0,143
MÉDIA	-	-	-	3050,68	0,112	170,79	0,172
DEVPAD	-	-	-	18,59	0,008	2,53	30,11

Tabela 20 - Resultados do ensaio de tração, provetes do material B.

	L_0 [mm]	B [mm]	e [mm]	$F_{m\acute{a}x}$ [N]	$\delta_{m\acute{a}x}$ [mm]	$\tau_{m\acute{a}x}$ [MPa]	$\tau_{Rot.}$ [MPa]
Provete B1*				703,594	0,14	21,01	7,61
Provete B2	10	20,41	1,68	761,563	0,14	22,51	15,66
Provete B3				833,75	0,17	23,30	6,99
MÉDIA	-	-	-	766,30	0,150	22,27	10,09
DEVPAD	-	-	-	65,21	0,02	1,17	4,84

Tabela 21 - Resultados do ensaio de tração, provetes do material P

	L_0 [mm]	B [mm]	e [mm]	$F_{m\acute{a}x}$ [N]	$\delta_{m\acute{a}x}$ [mm]	$\tau_{m\acute{a}x}$ [MPa]	$\tau_{Rot.}$ [MPa]
Provete P1				1024,53	0,126	25,76	8,95
Provete P2	10	20,41	1,68	1008,91	0,127	25,97	11,58
Provete P3				985,47	0,125	25,98	21,89
MÉDIA	-	-	-	1006,30	0,126	25,90	14,14
DEVPAD	-	-	-	19,66	0,01	0,13	6,84

Tabela 22 - Resultados do ensaio de tração, provetes do material C.

	L₀ [mm]	B [mm]	e [mm]	F_{máx} [N]	δ_{máx} [mm]	τ_{máx} [MPa]	τ_{Rot.} [MPa]
Provete C1				981,41	0,12	24,29	19,06
Provete C2	10	20,37	2	999,53	0,13	24,14	19,32
Provete C3				977,97	0,11	24,21	19,43
MÉDIA	-			986,30	0,120	24,21	19,27
DEVPAD	-			11,58	0,01	0,07	0,19

*Estes provetes foram ensaiados a uma velocidade de 1mm/seg.

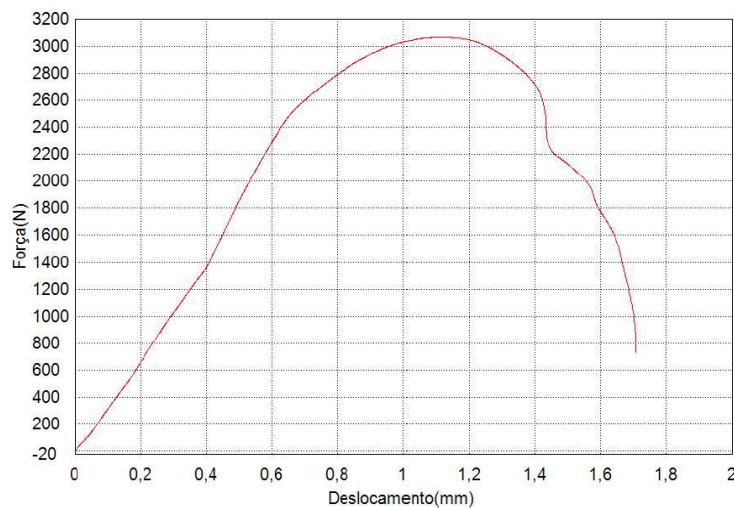


Figura 54 - Gráfico "Força/ Deslocamento", resultante do ensaio de tração para o provete A3

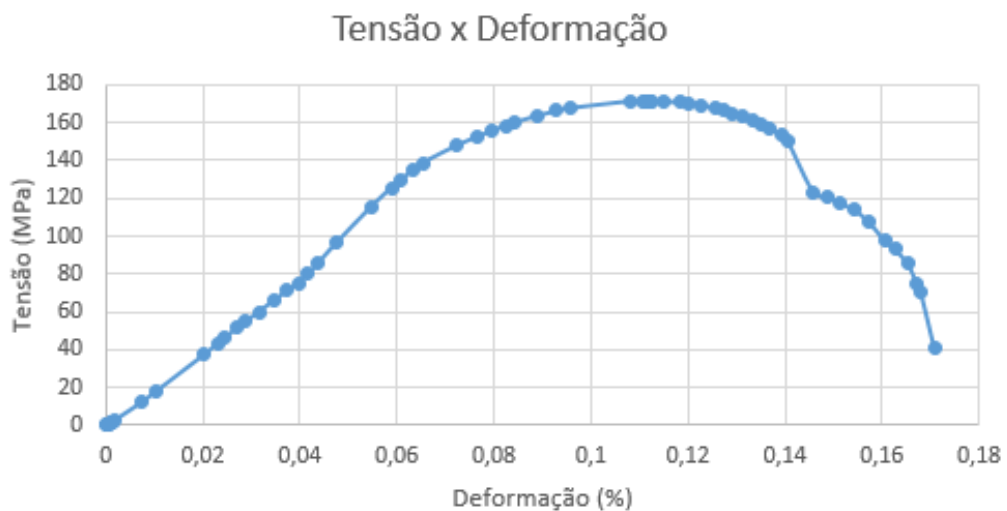


Figura 55 - Gráfico "Tensão/ Deformação", resultante do ensaio de tração para o provete A3

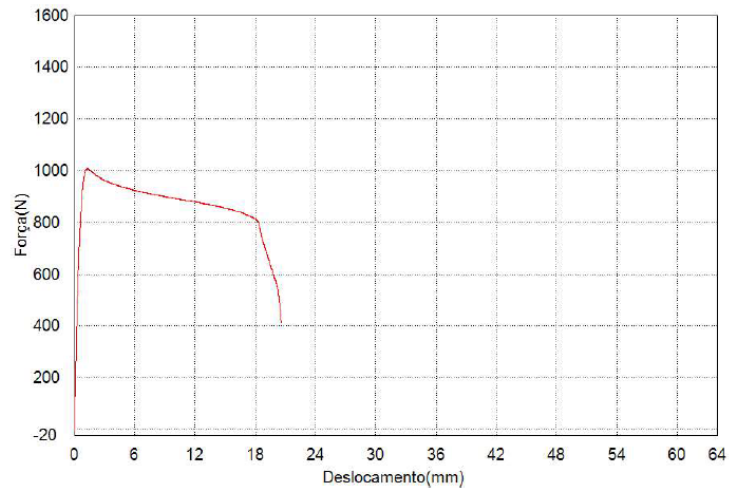


Figura 56 - Gráfico "Força/ Deslocamento", resultante do ensaio de tração para o provete P2

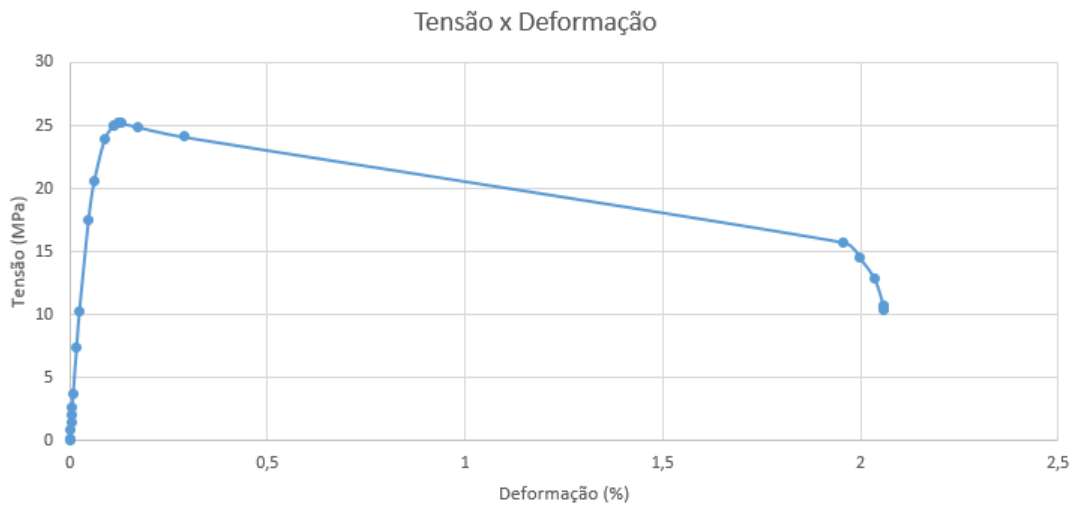


Figura 57 - Gráfico "Tensão/ Deformação", resultante do ensaio de tração para o provete P2

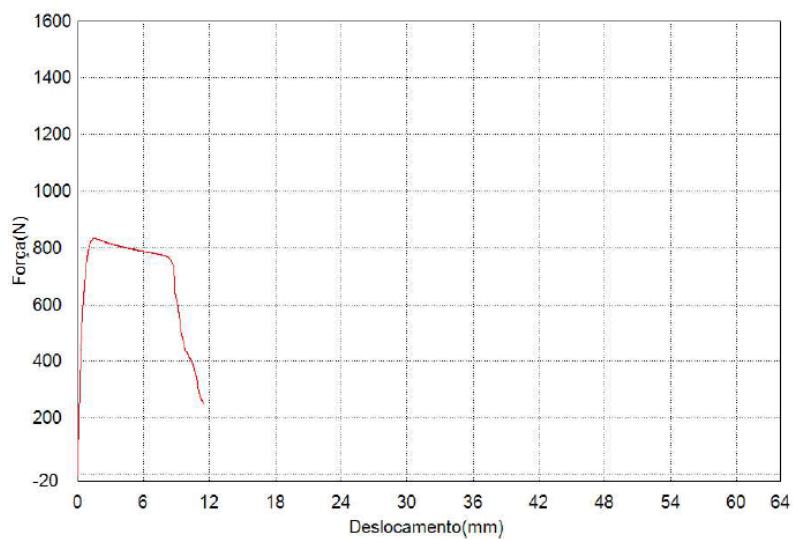


Figura 58 - Gráfico "Força/ Deslocamento", resultante do ensaio de tração para o provete B3

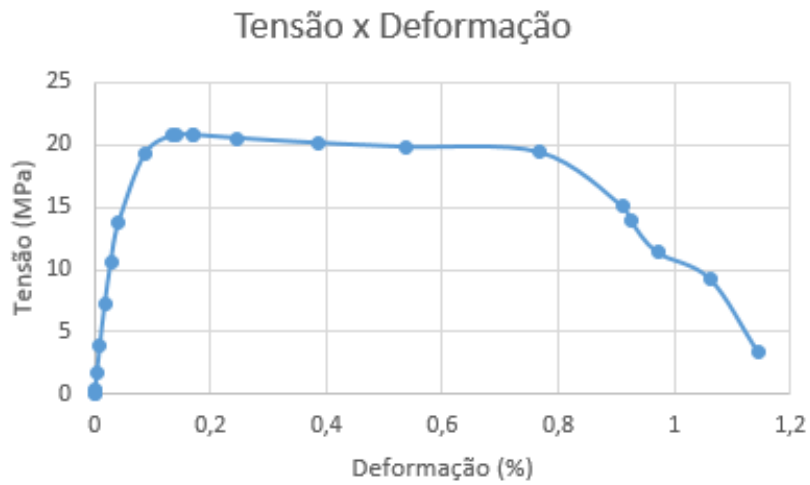


Figura 61 - Gráfico "Tensão/ Deformação", resultante do ensaio de tração para o provete B3

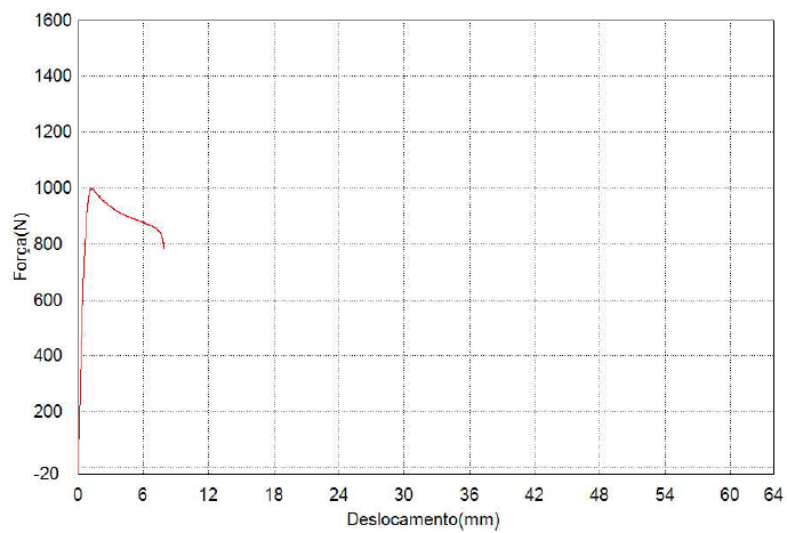


Figura 62 - Gráfico "Força/ Deslocamento", resultante do ensaio de tração para o provete C2

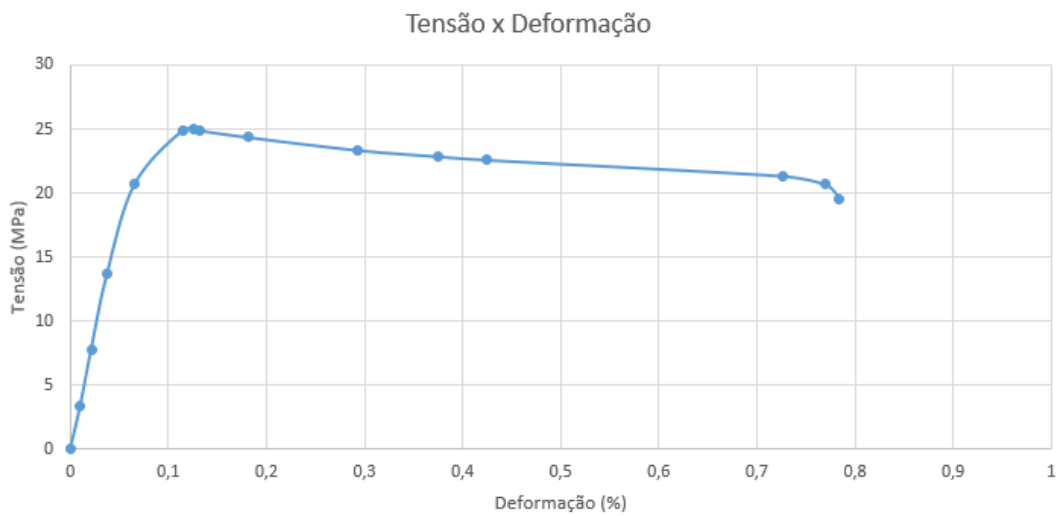


Figura 63 - Gráfico "Tensão/ Deformação", resultante do ensaio de tração para o provete C2

- 5º Teste: Medição da Rugosidade.

O ensaio foi realizado à temperatura ambiente e foram executadas duas medições de rugosidades em cada provete. As medições foram efetuadas apenas no sentido longitudinal dos provetes devido às suas dimensões. Os valores registados serão apresentados nas tabelas seguintes.

Tabela 23 - Resultados do ensaio de rugosidades no material A.

Cut-off 0,8 [mm]	R_a [μm]	R_q [μm]	R_z [μm]	R_{max} [μm]	R_T [μm]	R_{PK} [μm]	R_{VK} [μm]
Provete A1	0,384	0,470	2,130	2,55	2,77	0,41	0,46
Provete A2	0,377	0,457	2,014	2,23	2,24	0,49	0,26
Provete A3	0,375	0,459	2,056	2,33	2,45	0,46	0,24
MÉDIA	0,377	0,459	2,056	2,33	2,45	0,46	0,26
DEVPAD	0,005	0,007	0,059	0,164	0,267	0,040	0,122

Tabela 24 - Resultados do ensaio de rugosidades no material B.

Cut-off 2,5 [mm]	R_a [μm]	R_q [μm]	R_z [μm]	R_{max} [μm]	R_T [μm]	R_{PK} [μm]	R_{VK} [μm]
Provete B1	2,722	3,491	16,571	20,05	20,81	4,64	2,97
Provete B2	3,371	4,194	22,418	33,48	33,48	4,52	4,67
Provete B3	3,689	4,628	24,064	28,24	33,21	4,79	3,91
MÉDIA	3,371	4,194	22,418	28,24	33,21	4,64	3,91
DEVPAD	0,493	0,574	3,938	6,769	7,238	0,135	0,852

Tabela 25 - Resultados do ensaio de rugosidades no material C.

Cut-off 0,8 [mm]	R_a [μm]	R_q [μm]	R_z [μm]	R_{max} [μm]	R_T [μm]	R_{PK} [μm]	R_{VK} [μm]
Provete B1	0,372	0,491	2,961	3,65	3,99	0,71	0,47
Provete B2	0,363	0,459	2,564	3,20	3,22	0,45	0,49
Provete B3	0,353	0,446	2,410	2,57	2,82	0,43	0,48
MÉDIA	0,363	0,459	2,564	3,2	3,22	0,45	0,48
DEVPAD	0,010	0,023	0,284	0,542	0,595	0,156	0,010

Tabela 26 - Resultados do ensaio de rugosidades no material P.

Cut-off 2,5 [mm]	R_a [μm]	R_q [μm]	R_z [μm]	R_{max} [μm]	R_T [μm]	R_{PK} [μm]	R_{VK} [μm]
Provete B1	3,112	3,957	21,033	24,68	25,59	4,96	3,13
Provete B2	3,331	4,300	23,158	28,35	30,53	5,99	2,85
Provete B3	3,284	4,248	21,819	24,91	25,51	5,49	3,90
MÉDIA	3,284	4,248	21,819	24,91	25,59	5,49	3,13
DEVPAD	0,115	0,185	1,074	2,056	2,875	0,515	0,544



Figura 64 - Medição de rugosidades no provete mo material P.

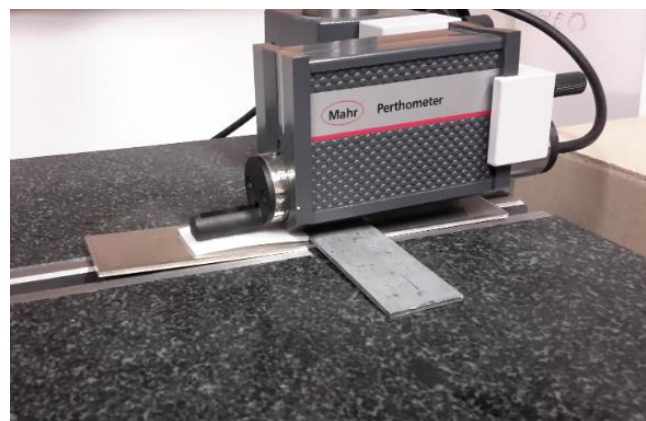


Figura 65 - Medição de rugosidades no provete mo material B.

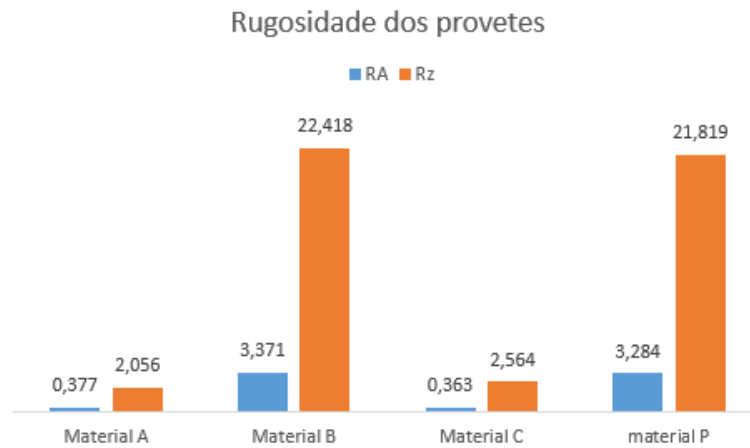


Figura 66 - Gráfico de comparação de Rugosidades dos diferentes provetes.

- 6º Teste: Ponto de amolecimento do material – Ensaio de VICAT.

Este teste tem como objetivo estabelecer um parâmetro que permita avaliar a resistência dos materiais poliméricos quando são submetidos a temperaturas muito altas. Na tabela seguinte, podemos observar os valores obtidos para as amostras dos materiais testados.

Tabela 27 - Ponto de amolecimento VICAT, para os provetes do material B,C e P

Propriedade Proвете	Ponto de amolecimento VICAT [°C]
Material B	99
Material C	94
Material P	112

EQUIPAMENTOS PARA ENSAIOS EXPERIMENTAIS

4.1 CONSTRUÇÃO DO EQUIPAMENTO

4.2 SENSORES DE TEMPERATURA

4.3 ANÁLISE DE TEMPERATURA

4.4 ANÁLISE DE RUÍDO

4 EQUIPAMENTOS PARA ENSAIOS EXPERIMENTAIS

4.1 CONSTRUÇÃO DO EQUIPAMENTO

Para além da tentativa de caracterização dos materiais, era também um objetivo deste trabalho, a análise e comparação entre as diferentes hélices, no que diz respeito às temperaturas alcançadas durante o funcionamento, rendimentos, caudais atingidos, bem como, os níveis de ruído apresentados por cada hélice.

De modo a ser possível efetuar estes testes e obter os resultados pretendidos, foi necessário construir um equipamento, que simulasse em laboratório o normal funcionamento de um motor e onde fosse possível alterar e modificar os diversos parâmetros com controlo praticamente total de todas as condicionantes. Importa voltar a salientar que este equipamento foi construído pelo aluno Ivan Pereira, no âmbito de uma outra dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, na área de Energia.

O equipamento consiste numa tubagem com um determinado comprimento, sendo que numa das extremidades foi montada uma estrutura para colocação de um moto-ventilador e na outra extremidade, foi montado um mecanismo capaz de controlar o fluxo de ar a entrar na tubagem, uma válvula que pode ser ajustada em cerca de 14 posições entre a posição de totalmente aberta e totalmente fechada.

Nestes ensaios foram utilizados motores de comutação eletrónica (ECM), bem como motores de polos sombreados, ambos já referidos anteriormente. Estes motores foram ensaiados com os diferentes tipos de hélices disponíveis.

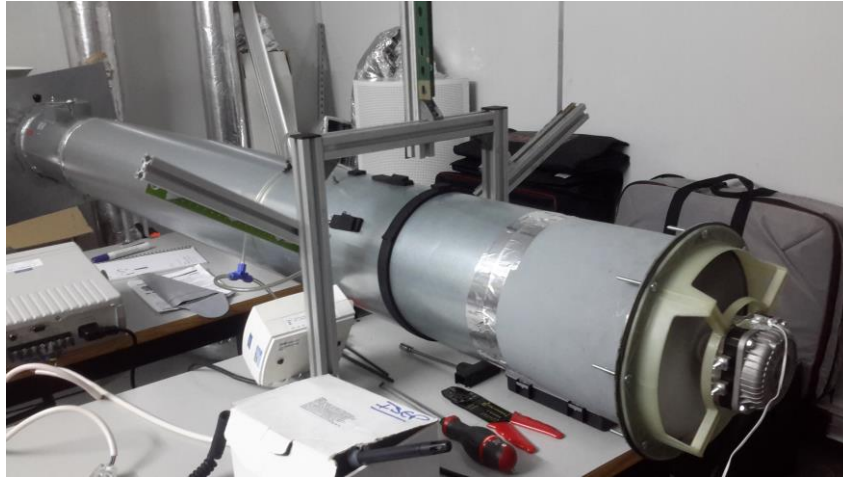


Figura 67 - Equipamento construído para realização de ensaios.

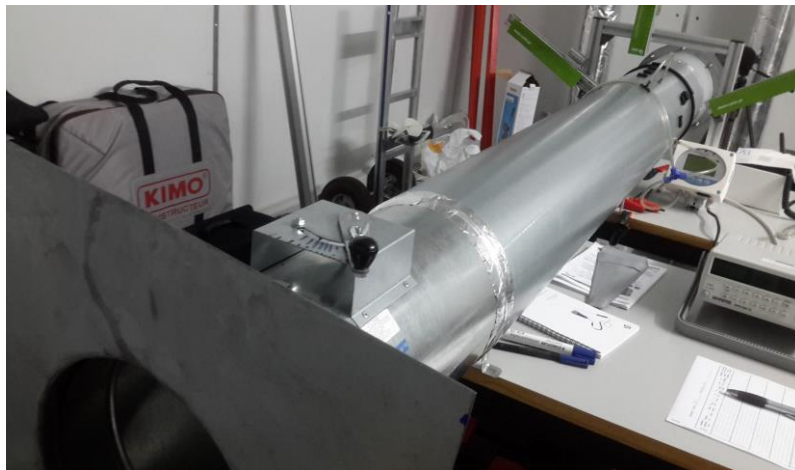


Figura 68 - Equipamento construído para realização de ensaios, tubagem de admissão do ar.



Figura 69 - Equipamento construído para realização de ensaios, pormenor da válvula de regulação de caudal

4.2 SENSORES DE TEMPERATURA

Foi montado na estrutura um termo higrómetro, um acessório que tem como função, a medição da humidade bem como da temperatura de um determinado ambiente ou equipamento. Este instrumento é capaz de medir e guardar os valores mínimos e máximos atingidos em um determinado espaço de tempo.

Associado ao termo higrómetro foi colado no motor um sensor, que permitisse a leitura da sua temperatura como se pode ver na Figura 70.



Figura 70 - Termo higrómetro com sensor acoplado ao motor de polos sombreados.

Este aparelho apenas foi utilizado nos primeiros ensaios pois verificou-se que as suas medições estavam em consonância com as medições efetuadas pela câmara térmica FLIR, referida anteriormente.

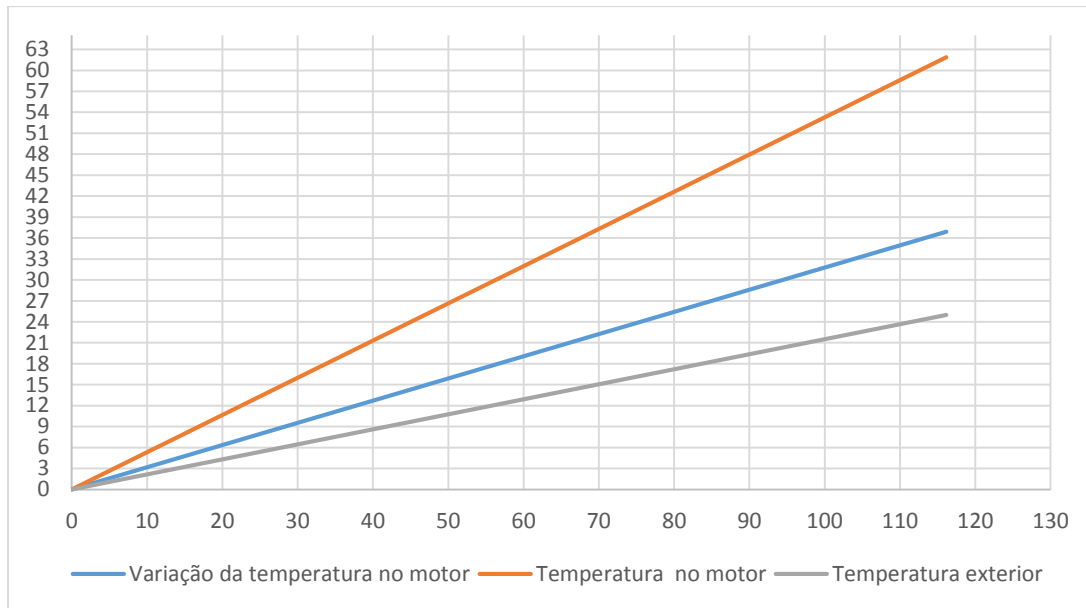


Figura 71 - Análise da temperatura com o termo higrómetro no motor de polos sombreados, hélice do material P.

4.3 ANÁLISE DE TEMPERATURA

Para a análise térmica das hélices em estudo foi utilizada a câmara térmica FLIR E30 E30 IR Infrared Thermal Imaging Camera, disponível nos laboratórios do ISEP. As medições foram efetuadas durante os ensaios, quer dos vários motores, quer das diferentes hélices, sendo retiradas fotografias no início do ensaio, a meio e já no final do mesmo, tornando possível a perceção do aumento da temperatura ao longo de todo o processo.



Figura 72 - Câmara Térmica FLIR E30 E30 IR, Infrared thermal imaging Camera. [20]

Para estes ensaios foram efetuadas medições em dois tipos de motores já anteriormente mencionados, e são eles o motor de comutação eletrónica (ECM) e o motor de polos sombreados, sendo que em ambos foram efetuadas medições com as 4 diferentes hélices, (a metálica e as 3 poliméricas). Contudo apenas as temperaturas

retiradas nos ensaios com o motor de polos sombreados serão representados, pois este motor é o que apresenta os valores de temperatura mais elevados.

Tabela 28 - Medição da temperatura na hélice do material P, no motor de polos sombreados



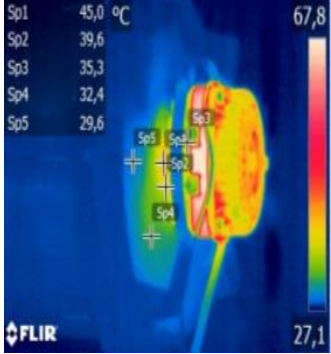

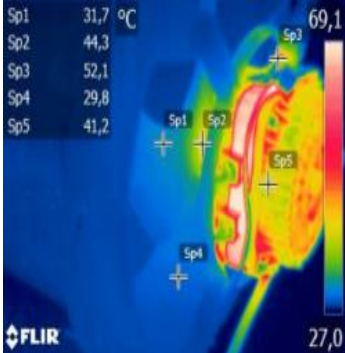

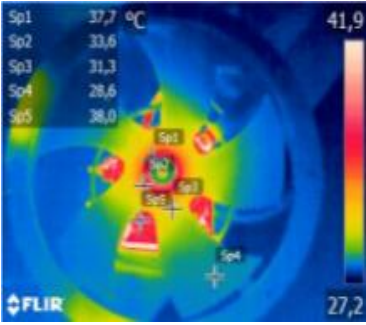

	<h2 style="text-align: center;">Motor de Polos Sombreados 33</h2> <h3 style="text-align: center;">Hélice do material P</h3>		
<p>1ª Medição – Início do ensaio, motor e hélice já com alguma temperatura devido a ensaios anteriores.</p>			
<p>2ª Medição – A meio do ensaio</p>			
<p>3ª Medição – Fim do ensaio</p>			

Tabela 29 - Medição da temperatura na hélice do material A, no motor de polos sombreados



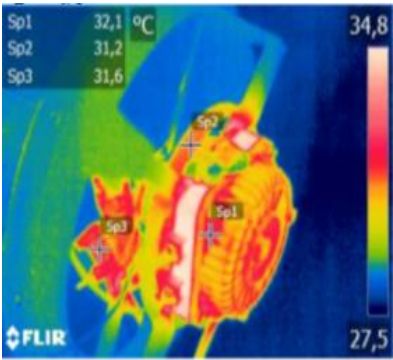

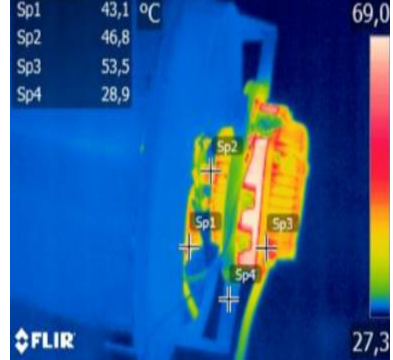


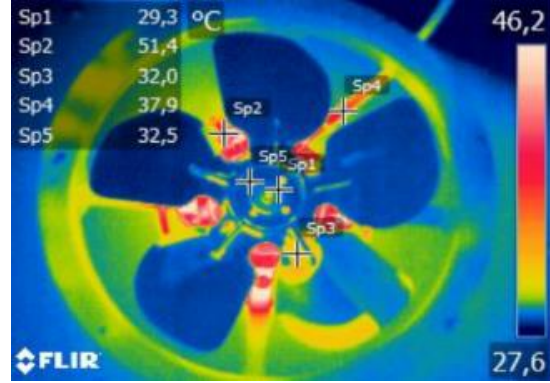
	<h2 style="text-align: center;">Motor de Polos Sombreados 33</h2> <h3 style="text-align: center;">Hélice do material A</h3> 	
<p>1ª Medição – Início do ensaio, motor e hélice já com alguma temperatura devido a ensaios anteriores.</p>		
<p>2ª Medição – A meio do ensaio, evidenciando já alguma temperatura no motor bem como na ligação à Hélice.</p>		
<p>3ª Medição – Fim do ensaio, motor e hélices desmontados da estrutura.</p>		

Tabela 30 - Medição da temperatura na hélice do material B, no motor de polos sombreados



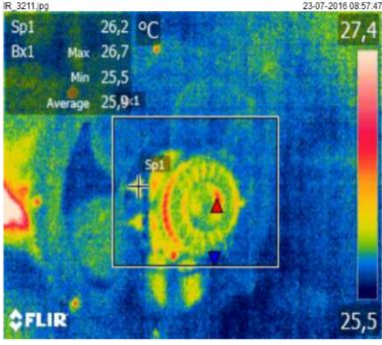

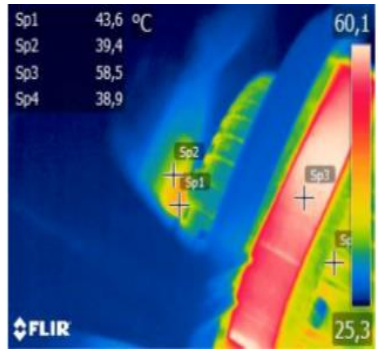

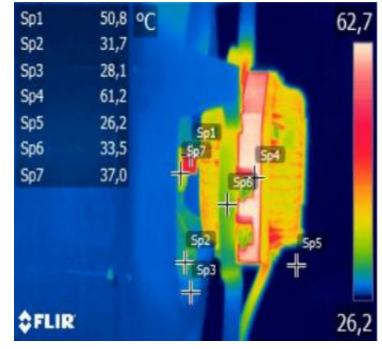



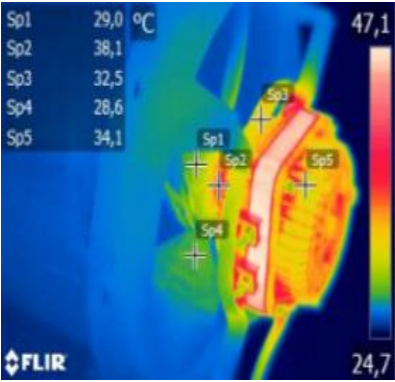

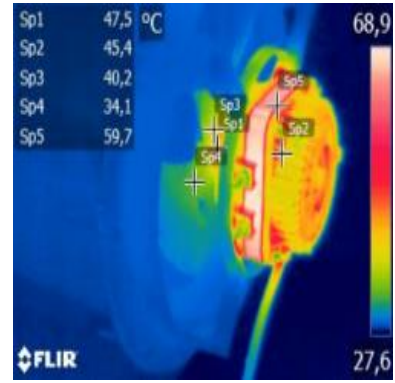

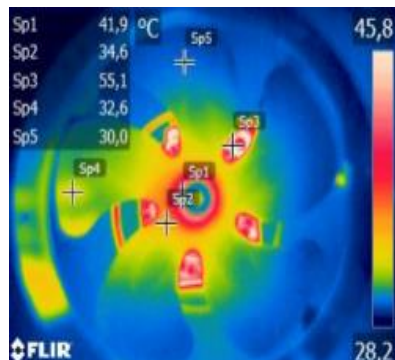
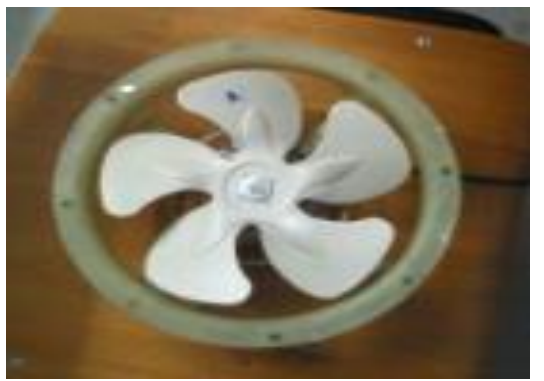
	<h2 style="text-align: center;">Motor de Polos Sombreados 33</h2> <h3 style="text-align: center;">Hélice do material B</h3> 	
<p>1ª Medição – Início do ensaio, com motor já com alguma temperatura devido a ensaio anterior.</p>		
<p>2ª Medição – A meio do ensaio, já com alguma temperatura na ligação do motor à hélice.</p>		
<p>3ª Medição – No fim do ensaio, sendo já visíveis elevadas temperaturas quer no motor, na ligação à hélice bem como nas próprias hélices.</p>		

Tabela 31 - Medição da temperatura na hélice do material C, no motor de polos sombreados.

	<h2 style="text-align: center;">Motor de Polos Sombreados 33</h2> <h3 style="text-align: center;">Hélice do material C</h3> 											
<p>1ª Medição – Início do ensaio</p>	 <table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>Sp1</td><td>29,0 °C</td></tr> <tr><td>Sp2</td><td>38,1</td></tr> <tr><td>Sp3</td><td>32,5</td></tr> <tr><td>Sp4</td><td>28,6</td></tr> <tr><td>Sp5</td><td>34,1</td></tr> </table>	Sp1	29,0 °C	Sp2	38,1	Sp3	32,5	Sp4	28,6	Sp5	34,1	
Sp1	29,0 °C											
Sp2	38,1											
Sp3	32,5											
Sp4	28,6											
Sp5	34,1											
<p>2ª Medição – A meio do ensaio</p>	 <table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>Sp1</td><td>47,5 °C</td></tr> <tr><td>Sp2</td><td>45,4</td></tr> <tr><td>Sp3</td><td>40,2</td></tr> <tr><td>Sp4</td><td>34,1</td></tr> <tr><td>Sp5</td><td>59,7</td></tr> </table>	Sp1	47,5 °C	Sp2	45,4	Sp3	40,2	Sp4	34,1	Sp5	59,7	
Sp1	47,5 °C											
Sp2	45,4											
Sp3	40,2											
Sp4	34,1											
Sp5	59,7											
<p>3ª Medição – Fim do ensaio</p>	 <table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>Sp1</td><td>41,9 °C</td></tr> <tr><td>Sp2</td><td>34,6</td></tr> <tr><td>Sp3</td><td>55,1</td></tr> <tr><td>Sp4</td><td>32,6</td></tr> <tr><td>Sp5</td><td>30,0</td></tr> </table>	Sp1	41,9 °C	Sp2	34,6	Sp3	55,1	Sp4	32,6	Sp5	30,0	
Sp1	41,9 °C											
Sp2	34,6											
Sp3	55,1											
Sp4	32,6											
Sp5	30,0											

Uma análise às imagens térmicas revelam a presença de temperaturas elevadas, principalmente no motor de polos sombreados, que chega a atingir temperaturas próximas dos 60°C. As temperaturas nas hélices propriamente ditas, variam entre os 25°C nos inícios dos ensaios e os 40°C perto já do final do ensaio. Sendo que um dos pontos críticos será na zona de ligação ente o motor e a hélice e ai sim, verificam-se temperaturas mais elevadas, chegando a atingir os 52°C no material P.

4.4 ANÁLISE DE RUÍDO

Esta análise do ruído foi outro dos testes possíveis de realizar e para tal, foi utilizado um equipamento próprio, denominado de anemômetro. Contudo as medições feitas não estão ausentes de erros, pois as condições do ensaio não foram perfeitas. A sala por exemplo deveria de ser insonorizada, de modo a não ser possível a captação de qualquer barulho proveniente do exterior, pois este ao ser detetado pelo aparelho de medição, irá adulterar o ensaio e conseqüentemente os gráficos resultantes, podendo criar por exemplo, picos de ruído.

Para além da medição dos níveis de ruído, foram também analisados os seus rendimentos, potencia elétrica despendida e pressões estáticas a que estas hélices estão sujeitas, sendo que para cada motor, é possível comparar o comportamento das diferentes hélices. No motor de polos sombreados apenas se apresentam identificadas as hélices plásticas, enquanto no motor ECM já se pode comparar as hélices plásticas e a metálica.

Todos estes parâmetros são apresentados nestes gráficos, em função da quantidade de ar que entra na tubagem e que é sugado pelas hélices do motor e designa-se por caudal, ou seja, o fluxo de ar na conduta. Este parâmetro tem influencia nos valores do ruído apresentados, sendo um grande responsável pela sua alteração.

- Motor de polos sombreados

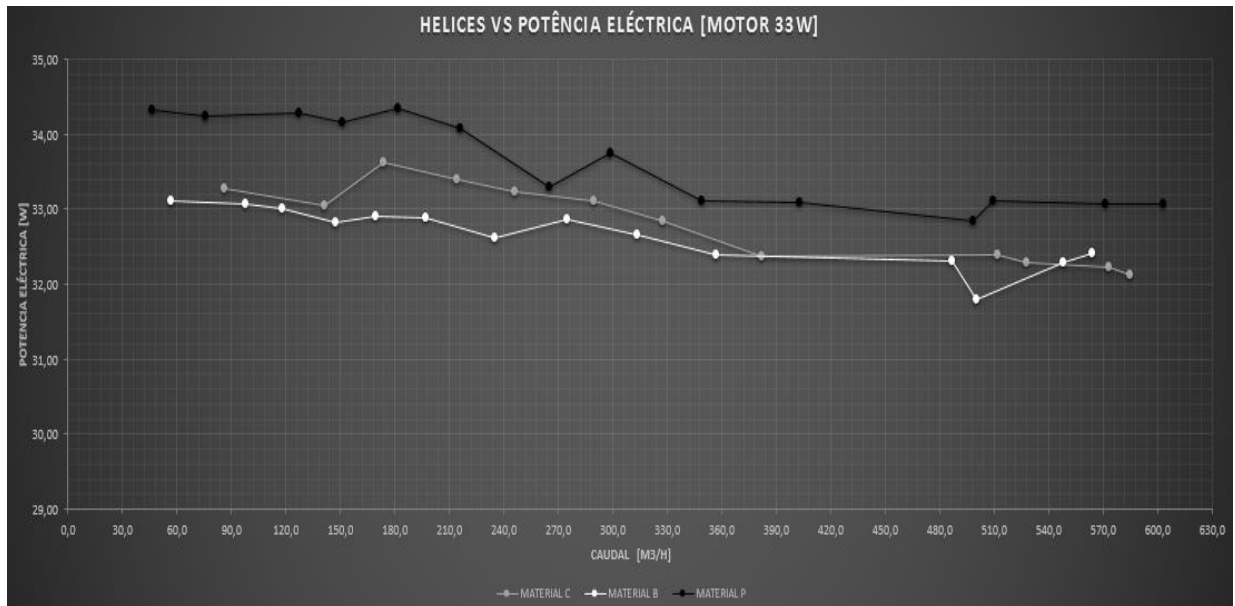


Figura 73 - Hélices VS Potencia elétrica despendida, motor 33W.

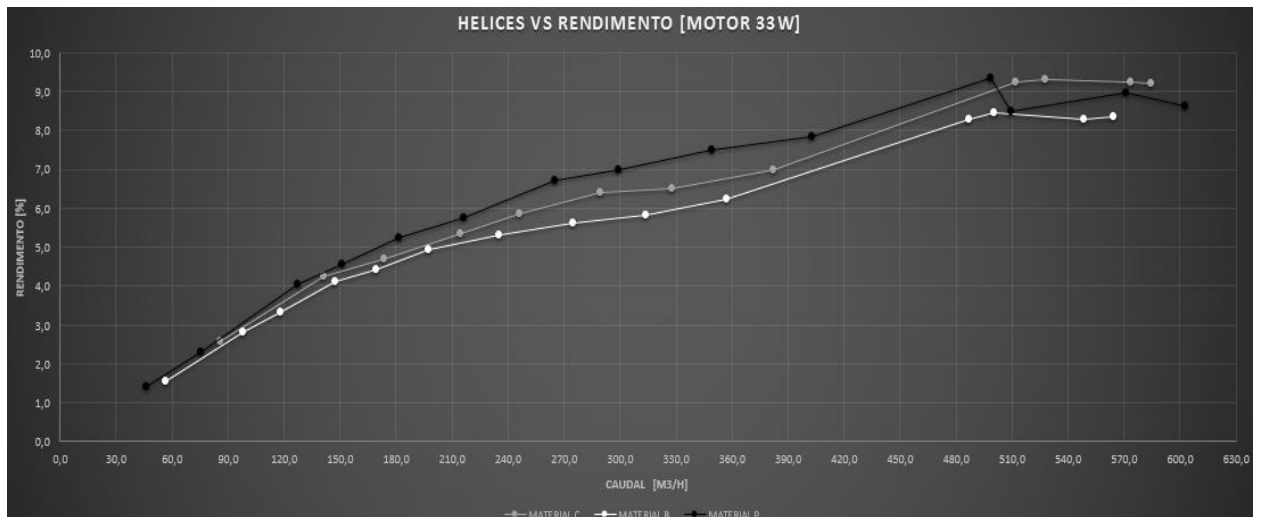


Figura 74 - Hélices VS Rendimento, motor 33W

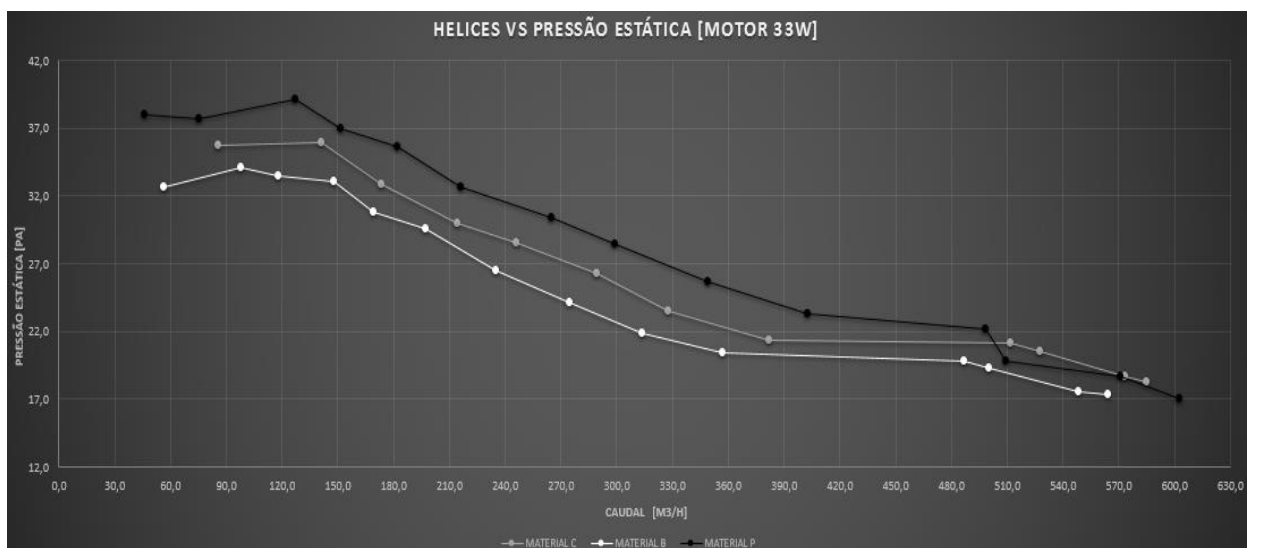


Figura 75 - Hélices VS Pressão estática, motor 33W

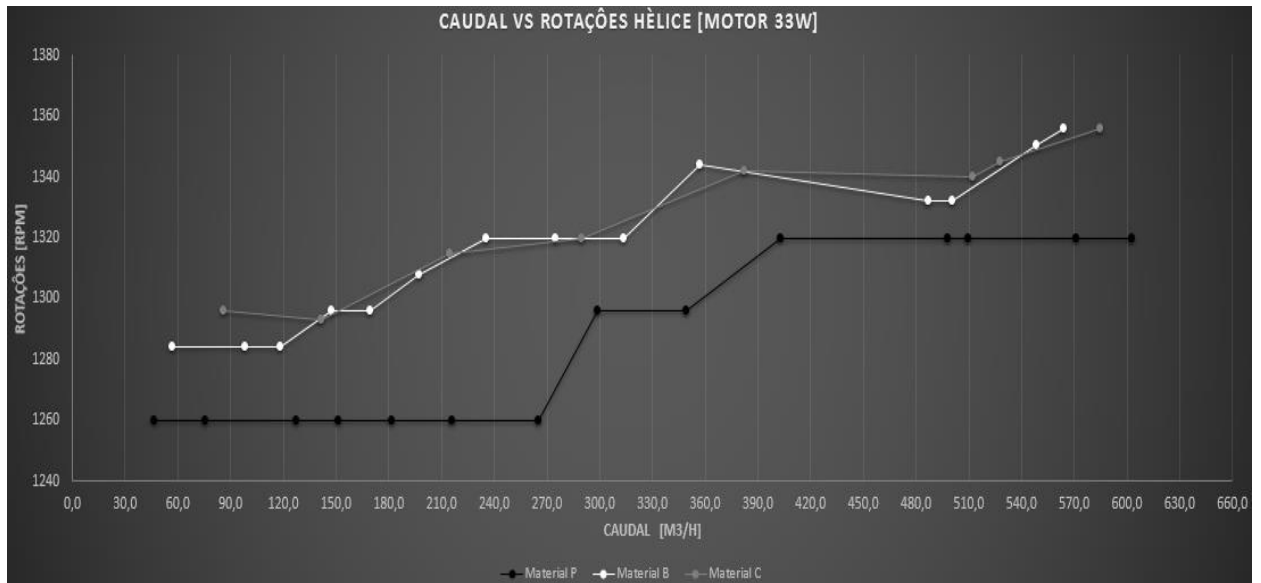


Figura 76 - Hélices VS Rotações, motor 33W.

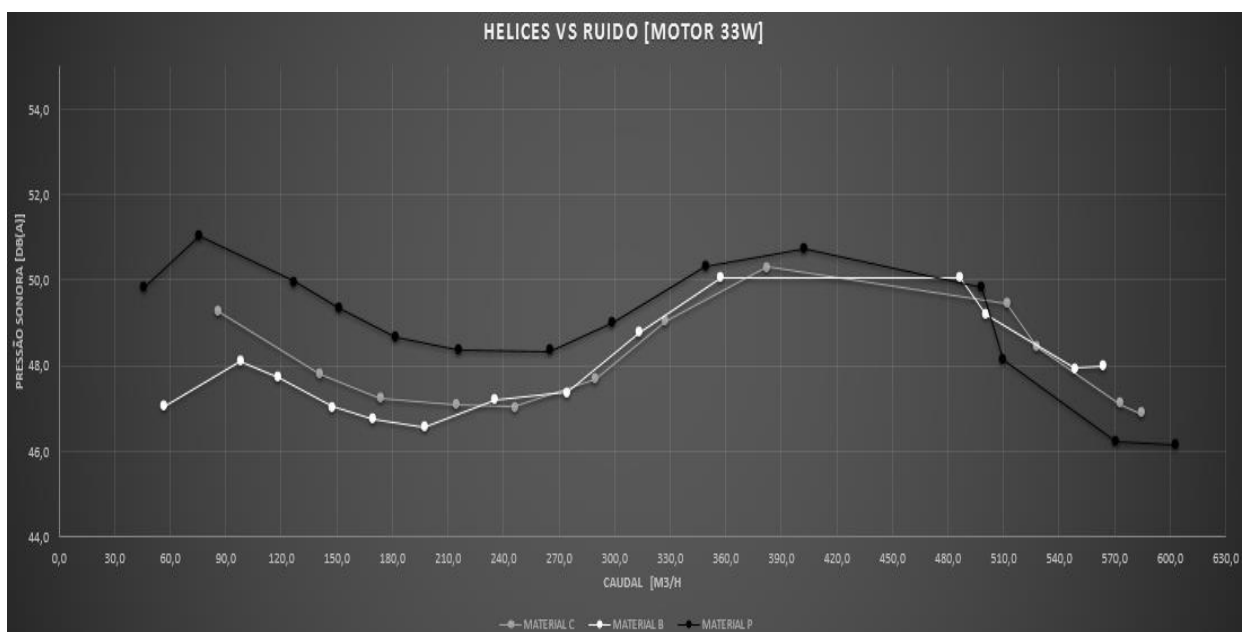


Figura 77 – Hélice VS Ruído, motor 33W

Os mesmos ensaios foram realizados para o motor ECM, sendo estes valores comparados, analisados e discutidos no capítulo da discussão de resultados.

- Motor ECM

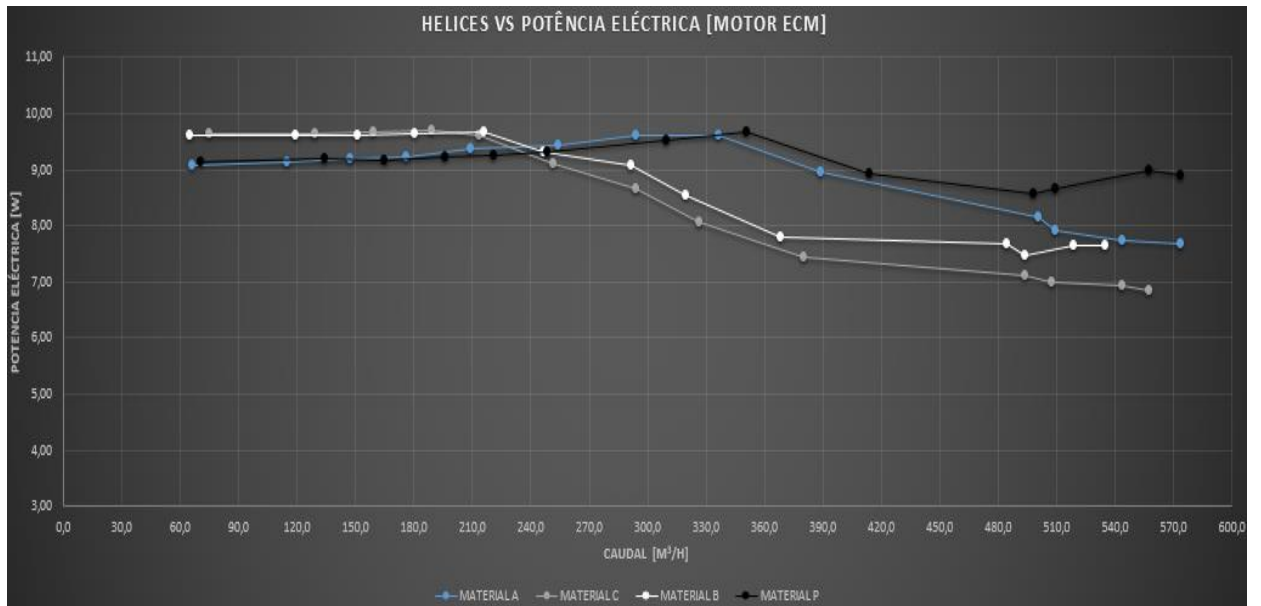


Figura 78 - Hélices VS Potencia elétrica dependia, motor ECM

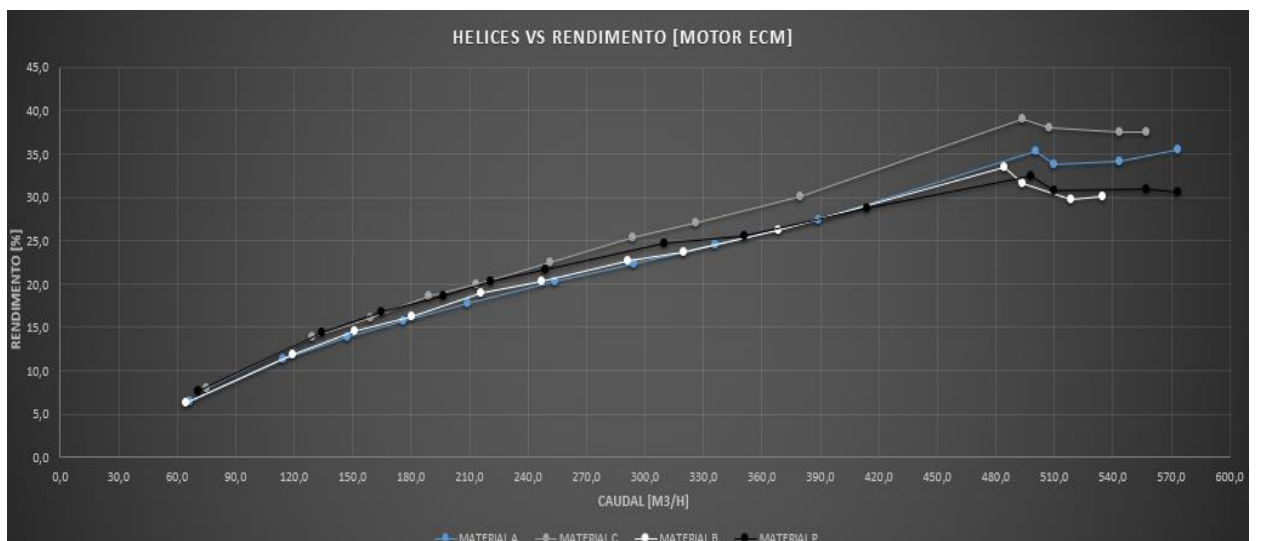


Figura 79 - Hélices VS Rendimento, motor ECM

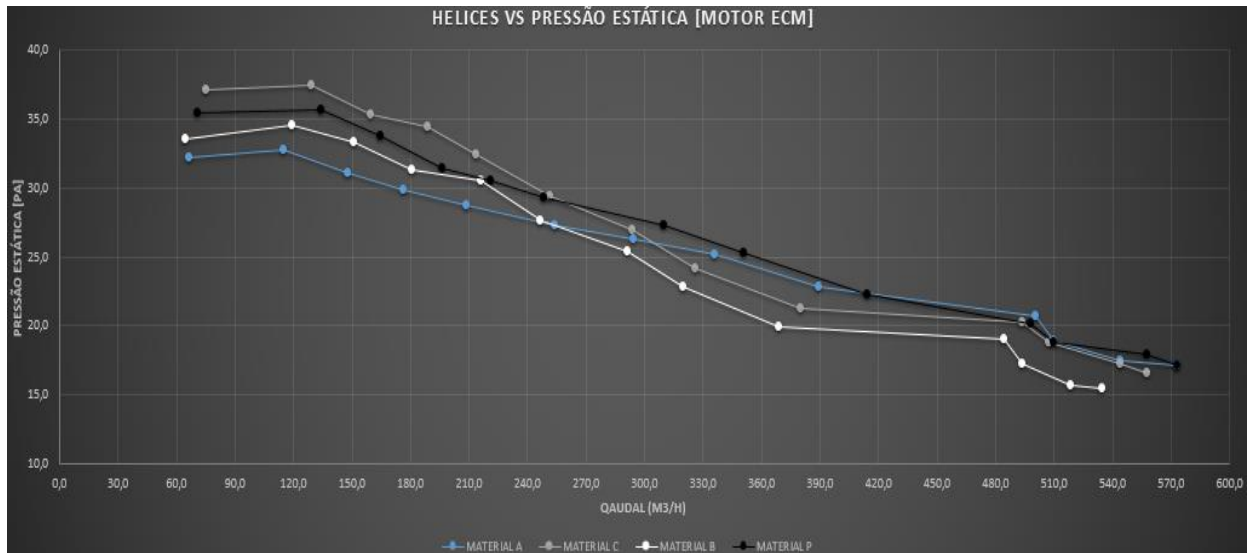


Figura 80 - Hélices VS Pressão estática, motor ECM.

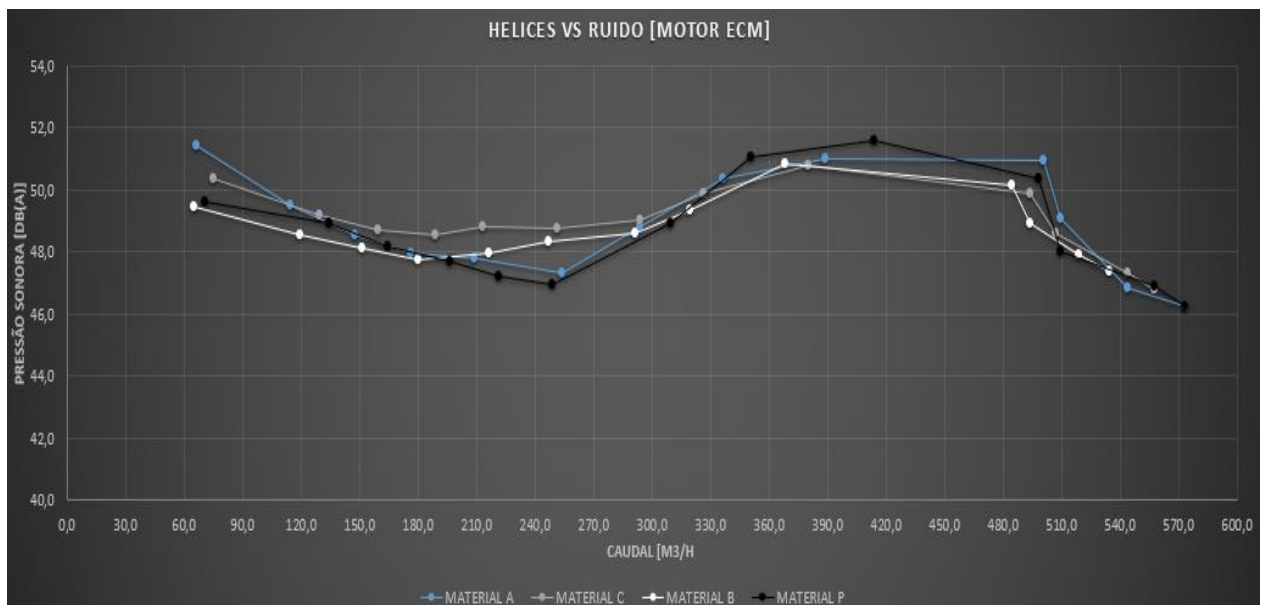


Figura 81 - Hélices VS Ruído, motor ECM.

ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

- 5.1 IDENTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS DAS HÉLICES
- 5.2 TEMPERATURA MÁXIMA DAS HÉLICES VS PONTO DE AMOLECIAMENTO
- 5.3 RUGOSIDADES VS RUÍDO

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Após realização de todos os ensaios propostos, os valores obtidos foram analisados, de modo a poderem ser retiradas conclusões que satisfizessem os objetivos propostos no início desta dissertação.

5.1 IDENTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS DAS HÉLICES

Antes de mais nada, deve tomar-se em consideração a forma das hélices, que por serem complexas não permitiram a construção dos provetes mais adequados à realização de alguns ensaios, onde normas teriam de ser seguidas à risca em termos de geometria, ou mesmo de dimensões. Devido a isso não foi possível montar um extensómetro nos ensaios de tração pelo que o módulo de elasticidade não foi calculado, pois os valores obtidos poderiam ter um desvio muito significativo em relação ao valor real.

Como referido anteriormente, foram então efetuados uma serie de testes nos provetes de modo a tentar caracterizar os seus materiais, contudo e depois de analisados os resultados nos provetes poliméricos, estes não se revelaram conclusivos não sendo possível determinar com certezas de que materiais se tratam.

Deste modo, irão ser apresentados em seguida, alguns materiais que se enquadram dentro dos resultados obtidos, identificando em anexo, as suas principais propriedades e características. A possibilidade de estes materiais serem misturas de vários polímeros diferentes não deve ser descartada, de fato, a probabilidade é alta, pois cada vez mais se recorre a este tipo de misturas de polímeros ou à adição de cargas, tornando o produto final mais barato. Estas misturas podem tornar os polímeros inconsistentes, se mal executadas, alterando as suas propriedades, seja na peça ou apenas em partes desta.

1. Hélice metálica (provete A)

Tabela 32 - - Propriedades físicas e mecânicas do material A.

Amostra	Densidade [g/cm ³]	E [MPa]	$\sigma_{\text{máx.}}$ [MPa]	$\sigma_{\text{Rot.}}$ [MPa]	$\sigma_{\text{Lim elast.}}$ [MPa]	$\delta F_{\text{Máx.}}$ [mm]	$\delta F_{\text{Rot.}}$ [mm]
A	2,63	2271,60	170,79	107,70	78	0,112	0,172

Este material não é completamente desconhecido e sabe-se à partida que seria um Alumínio ou uma das suas ligas, servindo a análise aos resultados obtidos nos vários ensaios realizados, para o comprovar. Na tabela seguinte (Tabela 33), estão apresentadas algumas das suas propriedades.

De entre as muitas ligas existentes no mercado, uma que poderia ser o material desta hélice seria a ANBT (ASTM): 1050. Sendo que o primeiro dígito (1), significa que a liga é bastante pura, enquanto o segundo dígito (0), indica que se trata de uma liga normal sendo que o número 1, 2, ou 3 indicam uma variante específica da liga normal, como por exemplo o teor mínimo e máximo de um determinado elemento. O terceiro dígito serve apenas para diferenciar as várias ligas do grupo.

Tabela 33 - Propriedades físicas e mecânicas do Alumínio. [23]

Material Propriedade	Alumínio
Densidade [g/cm ³]	2,70
E [GPa]	62 - 69
$\sigma_{\text{Máx.}}$ [MPa]	45 - 205
$\sigma_{\text{Lim elast.}}$ [MPa]	10 - 165
$\delta_{\text{Rot.}}$ [mm]	0,01 - 0,150

2. Hélice em polímero (provete B)

Tabela 34 - Propriedades físicas e mecânicas do material B

Amostra	Densidade [g/cm ³]	Dureza [ShoreD]	$\sigma_{Fmáx}$ [MPa]	$\sigma_{Rot.}$ [MPa]	$\delta_{Rot.}$ [mm]	$\delta_{Fmáx.}$ [mm]	Rugosidade Média (Ra) [μ m]	Ponto Amolecimento VICAT [°C]
B	1,099	72,45	22,27	10,09	3,15	0,15	3,37	99

Depois de analisados os resultados obtidos experimentalmente, pode-se concluir que este polímero encaixa nas propriedades de um poliestireno (PS) ou de algum dos seus derivados como por exemplo o ABS.

Tabela 35 - Propriedades do co polímero PS e ABS. [25]

Material Propriedade	PS	ABS
Densidade [g/cm ³]	1,05	1,04-1,06
Dureza Shore [D]	75-95	75-100
$\sigma_{Máx.}$ [MPa]	30-100	28-54
$\delta \sigma_{Máx.}$ [%]	15-60	2-15
$\delta \sigma_{Rot.}$ [%]	1-70	3-56
Ponto de Amolecimento VICAT [°C]	75.0 - 108	45.0 - 135

3. Hélice em polímero (provete P)

Tabela 36 - Propriedades físicas e mecânicas do material P

Amostra	Densidade [g/cm ³]	Dureza [ShoreD]	σ máx. [MPa]	σ rot. [MPa]	$\delta\sigma$ Rot. [mm]	$\delta\sigma$ Máx [mm]	Rugosidade Média (Ra) [μ m]	Ponto Amolecimento VICAT [°C]
P	0,977	72,35	25,90	14,14	1,617	0,126	3,28	112

Observando a tabela relativa às propriedades deste material P, pode-se verificar que os seus valores são praticamente iguais aos da amostra do material B, o que significa que também este poderia ser um poliestireno ou algum dos seus derivados, como o ABS ou um poliéster (PET), como vimos anteriormente. Contudo, o ensaio de queima pode ser decisivo na tomada de decisão, visto esta amostra não pingar enquanto em combustão e este fator ser propriedade de um poliuretano. Este material P poderá ser um poliuretano com adição de um elastômero.

Tabela 37 - Propriedades do polímero poliuretano (PU). [25]

Material Propriedade	PU
Densidade [g/cm ³]	0.992 - 1.44
Dureza Shore [D]	12 - 79
σ Máx. [MPa]	1.35 - 72.1
$\delta\sigma$ Rot. [mm]	0,10 – 15,80
Ponto de Amolecimento VICAT [°C]	35.0 - 165

4. Hélice em polímero (provete C)

Tabela 38 - Propriedades físicas e mecânicas do material C.

Amostra	Densidade [g/cm ³]	Dureza [ShoreD]	$\sigma_{Fmáx}$ [MPa]	$\sigma_{Rot.}$ [MPa]	$\delta_{Rot.}$ [mm]	$\delta_{Fmáx.}$ [mm]	Rugosidade Média (Ra) [μm]	Ponto Amolecimento VICAT [°C]
C	0,853	67,3	24,41	19,27	1,033	0,120	0,363	94

A amostra deste material foi a única que mergulhada em água, não afundou, pelo que podemos concluir que se trata de um polipropileno (PP) ou polietileno (PE) pois estes dois polímeros tem uma densidade inferior à da água. Por outro lado, no ensaio de queima, esta amostra apresentou um odor a parafina, que é um odor característico de um polietileno. Logo este provete C, poderá ser um polietileno o um polipropileno. Nas tabelas seguintes estão sumariadas as propriedades principais dos respetivos polímeros.

- Polietileno (PE)

Tabela 39 - Propriedades do polímero polietileno de baixa e alta densidade (PEBD e PEAD). [25]

Material Propriedade	PEBD	PEAD
Densidade [g/cm ³]	0.870 - 0.963	0.924 - 2.55
Dureza Shore [D]	41 - 46	55 - 76
$\sigma_{Máx.}$ [MPa]	7.30 - 42	11 - 43
$\delta \sigma_{Rot.}$ [%]	8 - 1100	4 - 1900
$\delta \sigma_{Máx.}$ [%]	8.20 - 30.0	6,6 - 80
Ponto de Amolecimento VICAT [°C]	41.1 - 130	64.0 - 194

- Polipropileno (PP)

Tabela 40 - Propriedades do polímero polipropileno (PP). [25]

Material Propriedade	PP
Densidade [g/cm ³]	0.880 - 2.4
Dureza Shore [D]	40 - 83
σ Máx. [MPa]	4 - 369
δ σ Rot. [%]	3 - 900
δ σ Máx. [%]	2 - 100
Ponto de Amolecimento VICAT [°C]	35.0 - 160

5.2 TEMPERATURA MÁXIMA DAS HÉLICES VS PONTO DE AMOLECIAMENTO

Como foi possível observar pela análise das imagens térmicas, as hélices em funcionamento atingiram valores máximos de cerca de 52°C, no motor de polos sombreados, sendo que o tempo de duração destes ensaios foi de aproximadamente 1 hora e 30 minutos e a temperatura ambiente da sala era de cerca de 25°C.

Porem, em condições normais de funcionamento, estes equipamentos podem operar durante períodos de tempo bastante mais longos e as temperaturas dos espaços podem também ser consideravelmente mais elevadas, atingindo facilmente os 40°C ou mais, se imaginarmos por exemplo um dia quente de verão, ou salas com equipamentos que libertem grandes quantidades de calor. Esta diferença de 15°C a 20°C na temperatura ambiente, aliada ao aumento da temperatura no motor, vai causar com certeza, um aumento da temperatura nas hélices, aumentando-a para valores que podem subir até aos 60°C - 65°C.

Em relação ao ponto de amolecimento e através do ensaio de VICAT, utilizando uma carga de 10N determinaram-se as temperaturas máximas de utilização destes provetes, que variam entre os 94°C ou, também designados de VST, (Vicat soft temperature) e os 112 VST, como se pode ver na tabela 27.

Neste caso, é possível afirmar que as três hélices testadas irão aguentar as temperaturas ao qual estarão sujeitas, ficando abaixo da sua temperatura de amolecimento, em cerca de 30°C, no pior dos casos, ou seja, para o material C.

5.3 RUGOSIDADES VS RUÍDO

Esta análise tinha como principal objetivo, a tentativa de se estabelecer uma ligação entre os valores de ruído apresentados pelas diferentes hélices e a sua rugosidade na superfície, percebendo de que forma este parâmetro o influencia.

À primeira vista, poderia pensar-se que quanto mais rugosa fosse uma superfície, maiores seriam os seus níveis de ruído, devido ao maior atrito existente entre o ar que é sugado pelas hélices e a sua superfície, dificultando assim a passagem do ar e reduzindo também eficiência do sistema. Assim sendo e devido à grande diferença de rugosidades entra o material C e o material B, poderia supor-se que o provete B iria provocar uma maior quantidade de ruído (Figura 76).

Contudo, analisando os gráficos obtidos (Figuras 73 a 77), podemos concluir que esta suspeita, não só não se verificou, como revelou o oposto, ou seja, nestes ensaios os valores do ruído destes materiais foram quase sempre na sua maioria muito semelhantes, com diferenças de cerca de 0,5dB apenas, sendo que na parte final do ensaio, no motor de polos sombreados, a partir dos 210m³/h de caudal a passar na conduta, verificou-se um aumento ligeiro do nível de ruído por parte do material menos rugoso em pouco mais de 1dB.

Este aumento pode estar relacionado com o número de rotações do motor, que vão ter de aumentar, de modo a conseguir manter o mesmo caudal, provocando por sua vez o aumento dos níveis de ruído.

A hélice do material P é considerada de alta eficiência e de fato, analisando os gráficos obtidos percebe-se que esta apresenta valores superiores em relação às outras hélices, contudo isto deve-se em grande parte à sua geometria, que é diferente das restantes, permitindo uma maior sucção de ar e a menores rotações.

Assim sendo, pode-se concluir que a rugosidade do material das hélices, não tem influência nos níveis de ruído apresentados ou se tiverem, são valores muito reduzidos e não mensuráveis nestes ensaios.

**CONCLUSÕES GERAIS E
TRABALHOS FUTUROS**

6 CONCLUSÕES GERAIS E TRABALHOS FUTUROS

Esta dissertação tinha como objetivo o estudo e a caracterização de diferentes tipos de hélices, produtos da empresa SKK, do qual se desconheciam características básicas como o próprio material de que são feitos, bem como suas propriedades e características.

Para que este objetivo fosse cumprido, foi necessário destruir o corpo de prova e proceder-se à elaboração de provetes, sendo estes posteriormente utilizados nos diversos ensaios realizados, quer nos destrutivos e não destrutivos.

Em seguida, foram realizados os ensaios, começando pelo ensaio de tração, que permitiu testar o material em termos de esforços de tração e verificar a partir de que valores este começa a perder as suas propriedades elásticas, assim como, o valor das forças máximas possíveis de lhes serem aplicadas para atingirem a rotura. Procedeu-se também ao ensaio de dureza, onde foram registados os valores de dureza Shore D dos três materiais plásticos, bem como aos ensaios de medição da rugosidade das suas superfícies.

As massas e volumes dos provetes foram também calculados e em seguida procedeu-se ao teste da densidade, que consistiu em colocar os provetes dentro de um recipiente com água e verificar se estes afundavam ou se mantinham na tona. Este teste em conjunto com o teste da queima permitiram uma aproximação grande ao objetivo proposto de identificar os materiais. Por fim foi realizado o ensaio de VICAT, onde se pretendia descobrir a temperatura de amolecimento dos materiais, sendo que estas temperaturas são bastante importantes para determinar as temperaturas máximas a que podem estar sujeitas aquando em utilização.

Aproveitando uma outra dissertação, elaborada em paralelo com esta e com alguns pontos em comum, em que foi construído um sistema que permitia testar as várias hélices em diferentes motores, simulando em laboratório o seu funcionamento, permitiu a realização de uma análise térmica, sendo medidas as temperaturas não só nas hélices, como também nos motores. Deste modo, tornou-se possível a comparação

destas temperaturas medidas, com as que foram determinadas pelo ensaio de VICAT, podendo ser dadas respostas a um dos objetivos propostos. Esta análise revelou que as hélices, para além de estarem sujeitas a esforços muito reduzidos, não ultrapassam os 52°C (material P), sendo um valor bastante abaixo do que conseguem suportar sem atingir o seu ponto de amolecimento, demonstrando que todas estas hélices irão aguentar o trabalho a que estão sujeitas sem problemas.

Os níveis de ruído produzidos por este equipamento foram também eles, alvos de análise e de estudo, tendo sido efetuadas varias medições, com o auxílio de um anemómetro, tendo-se chegado à conclusão, que estes valores não são influenciados pelas rugosidades superficiais dos materiais.

Por fim, foi efetuada uma pesquisa de mercado, com o objetivo de encontrar materiais que apresentassem propriedades de valor semelhante aos obtidos nos ensaios. Esta busca tornou-se um pouco complexa, principalmente no campo dos plásticos, onde se podem encontrar milhares de diferentes tipos, com propriedades completamente distintas. Esta grande variedade de materiais não permitiu que se chegasse com certezas absolutas a um resultado final, contudo, julgo que as respostas e conclusões dadas nesta dissertação estarão próximas do resultado correto.

O provete do material A, tudo indica ser um alumínio, mais concretamente, de uma liga de alumínio, o provete do material B julga-se ser um poliestireno ou algum dos seus derivados, como por exemplo o ABS. O material C poderá ser um polietileno (PE) ou um polipropileno (PP) e o material P, a hélice de alta eficiência, encaixa nas propriedades de um poliuretano (PU), com alguma percentagem de elastómero na sua composição, ou então poderá ser também este um poliestireno (PS), como a amostra do material B, dada a proximidade dos resultados obtidos nestas duas amostras.

Alguns dos ensaios, foram efetuados, tendo a noção de que estariam sujeitos a erros e ao não cumprimento à risca de algumas normas, devido à complexa geometria das hélices e conseqüentemente dos seus provetes.

Embora os ensaios não sejam conclusivos, podemos dizer que qualquer um dos materiais utilizados é apto para a função a que se destina, pois os esforços envolvidos nas hélices são muito baixos e as temperaturas reais de funcionamento são

significativamente inferiores às admissíveis para os materiais em causa. Ainda assim, e considerando que o objetivo é a possibilidade de substituir as hélices de alumínio por hélices de plástico, em termos de resistência mecânica o material que mais se destaca é sem dúvida o alumínio, com larga vantagem, chegando a um valor de tensão máxima de 171 MPa, valor bastante acima do que é requerido, visto os baixos esforços a que as hélices estão sujeitas. Os valores apresentados pelos materiais plásticos são bastante menores, contudo suficientes para a sua função, sendo o material P o que possui o valor da tensão superior, atingindo os 26 MPa.

Em termos de análise de temperatura, todos os materiais apresentam valores semelhantes, rondando entre os 45°C e os 52°C sensivelmente. Estes valores são bastante baixos, comparativamente aos valores dos seus pontos de fusão que variam entre os 94°C e os 112°C, logo neste campo qualquer dos polímeros é capaz de cumprir com a sua função.

No que diz respeito ao ruído, verifica-se novamente uma semelhança entre todos os materiais, atingindo valores máximos de 50 dB, sendo que entre eles, estes valores apenas variam 1 ou 2 dB.

Em relação ao rendimento elétrico, ou seja, o rácio entre a potência útil e a potência consumida pelo equipamento, a hélice que apresenta melhores resultados é do material P, embora no motor de comutação eletrónica (ECM), para caudais elevados, este fique um pouco abaixo dos outros. Outro parâmetro importante a ter em consideração é o rácio entre as rotações efetuadas pela hélice e o caudal atingido, sendo que, neste caso o material P é novamente o que apresenta melhores resultados, conseguindo para um mesmo caudal trabalhar a menos rotações que os restantes.

Concluindo, estes ensaios serviram para comprovar que todos os materiais estão aptos para cumprir a sua função, contudo o material P é dos três materiais plásticos, o que apresenta as melhores características e o que está mais apto a substituir a hélice em alumínio.

Como trabalhos futuros, seria importante e necessário, efetuar ensaios de longa duração aos materiais e serem efetuadas análises em hélices já usadas, onde o desgaste e/ou envelhecimento provocado pela utilização fosse já notório e evidente.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

7.1 REFERENCIAS DOCUMENTAIS

7 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

7.1 Referências documentais

- [1] - Durão, L. (2015). CAMAT – Caracterização de Materiais.
- [2] - http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282002000100006
- [3] - CALLISTER, 2002; ASKELAND & PHULÉ, 2003.
- [4] - Aços, características e tratamentos, P. Soares, 3ª ed.
- [5] - http://pt.wikipedia.org/wiki/Dureza_Vickers.
- [6] - http://www.globalst.com.br/bvg/en_mec/13.pdf.
- [7] - <http://mecnica-blog.blogspot.com/2010/05/durezavickers-hv-1925.html>.
- [8] - <http://www.zwick.net.br/br/aplicacoes/plasticos/materiais-termoplasticos-e-termofixos/determinacao-hdt-e-vst.html>.
- [9] - Shore_general_catalogue.pdf.
- [10] - CATALOGO_01_Hildebrand.pdf.
- [11] - <http://www.pecora.com/wp-content/uploads/2015/12/PEC-188-Shore-A-vs-Shore-D-Hardness-4-19-2013-rev.-MDM.pdf>.
- [12] - Castro, M. J. (2015). TECDA - Técnicas e Diagnóstico de Avarias.
- [13] - K. G. Swift Department of Engineering, University of Hull, UK and J. D. Booker, Process Selection From design to manufacture Second edition
- [14] - <https://novaquimica.files.wordpress.com/2008/11/imagem11.jpg>
- [15] – SCHULER, Louis. Metal Forming Handbook. 4. ed. Stuttgart: Emst Klett,
- [16] – YOSHIDA, Américo. Ferramenteiro (Corte- Dobra- Repuxo). São Paulo: Oren.
- [17] – <http://www.skk.pt/images/pdf/smartpower.pdf>
- [18] – <http://profs.ccems.pt/PauloPortugal/CHYMICA/REM/REM.html>
- [19] – <https://pt.wikipedia.org/wiki/Termografia>
- [20] – www.netzerotools.com
- [21] – <http://www.flir.com.br>
- [22] – http://www.aulas-fisica-quimica.com/8f_07.html

- [23] – http://www.coppermetal.com.br/pdf/aluminio/info-tec-alumi_aluminio_1050.pdf
- [24] – Bomtempo, J. V. - , Tese de Doutorado, L' École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris (1994).
- [25] – Matweb.com
- [26] – <http://www.tudosobreplasticos.com/materiais/pu.asp>
- [27] – <http://www.tudosobreplasticos.com/materiais/polietileno.asp>
- [28] – http://www.support.flir.com/User_manual-Pt.pdf
- [29] – Rovai, F. F. (2005). Desgaste e Corrosão de Bombas de Combustível com Misturas de Álcool e Gasohol. Tese de Mestrado. São Paulo.
- [30] – Miller, R.G.J., Stace, B.C., "Laboratory Methods in Infrared Spectroscopy". London, Heydem & Son Lda., 1979.
- [31] – Haslam, J., "Identification and Analysis of Plastics". London, Heyden, 1981.
- [32] – <http://educa.fc.up.pt/ficheiros/fichas/1152/Manual%20Identificacao%20de%20plasticos%20.pdf>
- [33] – <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v34n2/v34n2a15.pdf>.
- [34] – Decreto-Lei Nº 72/92, de 28 de Abril, Proteção dos Trabalhadores Contra os Riscos Devidos à Exposição ao Ruído.
- [35] – Decreto-Regulamentar Nº 9/92, de 28 de Abril, Proteção dos Trabalhadores Contra os Riscos Devidos à Exposição ao Ruído - Regulamentação.
- [36] – http://www.feiradeciencias.com.br/sala22/motor_teor1a.asp
- [37] – ASTM D883: Standard Terminology Relating to Plastics
- [38] – Modern Plastics Handbook, Charles A. Harper (editor), 1999
- [39] – Plastics Materials, 7th ed., J. A. Brydson, 1999
- [40] – <http://www.ct.ufrgs.br/ntcm/graduacao/ENG06638/IEM-Texto-0.pdf>
- [41] – www.americanindustry.com
- [42] – <https://pt.wikipedia.org/wiki/Polipropileno>
- [43] – <https://pt.wikipedia.org/wiki/Polipropileno>
- [44] – <http://ciencia.me/8nKPO>
- [45] – <http://www.pmt.usp.br>
- [46] – <https://aplicweb.feevale.br/site/files/documentos/pdf/32246.pdf>

[47] – <http://murilopalombo.wixsite.com/arquiteto/single-post/2016/02/19/Novos-materiais-de-constru%C3%A7%C3%A3o-concreto-transl%C3%BAcido>

[48] – Materials Science and Engineering – An Introduction, William D. Calister, 7 ed., John Wiley & Sons, 2007.

ANEXOS

8.1 MEMÓRIA DE CÁLCULO

8.2 TABELAS RESUMO EM ENSAIOS DE TRAÇÃO

8.3 CARACTERÍSTICAS DOS POLÍMEROS INDICADOS PARA AS AMOSTRAS

8.3.1 ALUMÍNIO

8.3.2 POLIESTIRENO

8.3.3 POLIURETANO

8.3.4 POLIETILENO

8.3.5 POLIPROPILENO

8.2 IMAGENS TERMICAS

8 ANEXOS

Neste anexo irão ser apresentados para exemplo, alguns dos cálculos efetuados no ensaio de tração para o material A bem como apresentadas algumas tabelas resumo das suas propriedades.

8.1 MEMÓRIA DE CÁLCULO

- Cálculos realizados para o Provete do material A

a) Módulo de Elasticidade

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad \text{Ou} \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\Delta F / A}{\Delta x / L} \quad (3)$$

Em que: E = módulo de elasticidade

σ = Tensão

ε = Deformação

ΔF = Força aplicada longitudinalmente ao corpo de prova

A = Área de secção transversal do corpo de prova

L = comprimento útil do corpo de prova

Δx = incremento no comprimento do corpo de prova

Para os cálculos, são utilizados dois pontos aleatórios do gráfico Força/ Deslocamento do material A no terceiro ensaio (A3), figura 54, coletados numa região onde o comportamento do ensaio é linear:

$$E = \frac{\Delta F \cdot A}{\Delta x \cdot L} = \frac{(1202,66 - 801,56)N}{(17,66)mm^2} = \frac{(0,353 - 0,238)mm}{(10)mm^2} = 1974,84 MPa$$

Estes valores calculados apresentam uma discrepância bastante grande em relação aos valores característicos para este material, sendo que o valor calculado para o provete A3 dá um valor de 1974,84 MPa, quando deveria de dar aproximadamente 70000 MPa. Isto pode dever-se ao fato de não ter sido utilizado um extensómetro durante os ensaios. Deste modo, os resultados calculados não serão tidos em consideração para comparação de resultados.

b) Cálculo da Resistência máxima

A Resistência máxima pode ser calculada dividindo-se a força máxima, $F_{m\acute{a}x}$, pela área da seção transversal, A . Com os dados disponíveis no ensaio, temos:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{A} = \frac{3066,72 \text{ N}}{17,66 \text{ mm}^2} = 173,64 \text{ MPa} \quad (1)$$

c) Cálculo da deformação na resistência máxima

A deformação no ponto de resistência máxima é a relação adimensional entre a deformação na força máxima e o comprimento útil de provete.

$$\varepsilon_{Resist\ m\acute{a}x} = \frac{Y_{Resist\ m\acute{a}x}}{L} \quad (16)$$

Em que:

$\varepsilon_{Resist\ m\acute{a}x}$ = Deformação na resistência máxima

$Y_{Resist\ m\acute{a}x}$ = Incremento longitudinal do provete na resistência máxima

L = comprimento útil do provete

O incremento longitudinal do provete corresponde à deformação fornecida pelo programa da máquina de ensaios. Logo, a deformação será dada pela seguinte equação:

$$\varepsilon_{Resist\ máx} = \frac{1,126\ mm}{10\ mm} = 0,1126 \quad (17)$$

d) Cálculo da resistência na rotura

A resistência na rotura é obtida dividindo-se a força alcançada no momento da rutura pela área da seção transversal (A). Utilizando-se os dados obtidos no ensaio, temos:

$$\sigma_{Rot} = \frac{F_{Rot}}{A} = \frac{2479,53\ N}{17,66\ mm^2} = 140,40\ MPa$$

e) Cálculo da deformação na rotura

Da mesma forma que se calcula a deformação na Resistência máxima, temos:

$$\varepsilon_{Rotura} = \frac{Y_{Rotura}}{L}$$

Em que:

ε_{Rotura} = Deformação na resistência máxima

Y_{Rotura} = Incremento longitudinal do provete na resistência máxima

L = comprimento útil do provete

Logo:

$$\varepsilon_{Rotura} = \frac{1,432\ mm}{10\ mm} = 0,1432$$

8.2 TABELAS RESUMO EM ENSAIOS DE TRAÇÃO

Tabela 41 - Dimensões dos provetes utilizados no ensaio de tração.

DIMENSÃO	ENSAIO	MATERIAL A	MATERIAL B	MATERIAL C	MATERIAL P
LARGURA (mm)	1	20,8	20,3	20,2	21,5
	2	20,5	20,14	20,7	21
	3	20,3	20,8	20,2	20,5
	MÉDIA	20,53	20,41	20,37	21
ESPESSURA (mm)	1	0,87	1,65	2,0	1,85
	2	0,87	1,68	2,0	1,85
	3	0,87	1,72	2,0	1,85
	MÉDIA	0,87	1,68	2,0	1,85
ÁREA DE SECÇÃO TRANSVERSAL (mm ²)	1	18,10	33,5	40,40	39,78
	2	17,84	33,84	41,40	38,85
	3	17,66	35,78	40,40	37,93
	MÉDIA	17,86	34,37	40,73	38,85

Tabela 42 - Resistência máxima e deformação na resistência máxima, ensaio de tração.

PROVETE	ENSAIO	$F_{\text{máx}}$	$\sigma_{\text{Máx.}}$ [MPa]	$\delta\sigma_{\text{Máx.}}$ [mm]
A	A1	3055	168,82	0,1188
	A2	3030,31	169,91	0,1031
	A3	3066,72	173,64	0,1126
	MÉDIA	3050,68	170,79	0,112
B	B1	703,594	21,01	0,14
	B2	761,563	22,51	0,14
	B3	833,75	23,30	0,17
	MÉDIA	766,30	22,27	0,150
C	C1	981,41	24,29	0,12
	C2	999,53	24,14	0,13
	C3	977,97	24,21	0,11
	MÉDIA	986,30	24,21	0,120
P	P1	1024,53	25,76	0,126
	P2	1008,91	25,97	0,127
	P3	985,47	25,98	0,125
	MÉDIA	1006,30	25,90	0,126

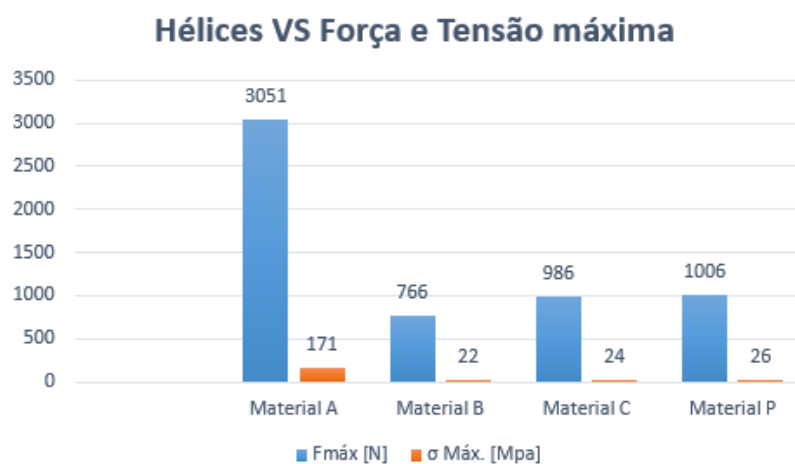


Figura 82 - Força e Tensão máximas do ensaio de tração, comparação de resultados.

Tabela 43 – Resistência na rotura a e deformação na rotura, ensaio de tração.

PROVETE	ENSAIO	F_{Rot}	$\sigma_{Rot.}$ [MPa]	$\delta\sigma_{Rot.}$ [mm]
A	A1	1838,13	101,58	0,187
	A2	1446,88	81,13	0,187
	A3	2479,53	140,40	0,143
	MÉDIA	1921,51	170,70	0,172
B	B1	255	7,61	4,90
	B2	530	15,66	3,45
	B3	250	6,99	1,10
	MÉDIA	345	10,09	3,150
C	C1	770	19,06	1,85
	C2	800	19,32	0,78
	C3	785	19,43	0,48
	MÉDIA	785	19,27	1,033
P	P1	355,94	8,95	1,70
	P2	450	11,58	2,05
	P3	830	21,89	1,10
	MÉDIA	545,31	14,14	1,617

Hélices VS Força e Tensão Rotura

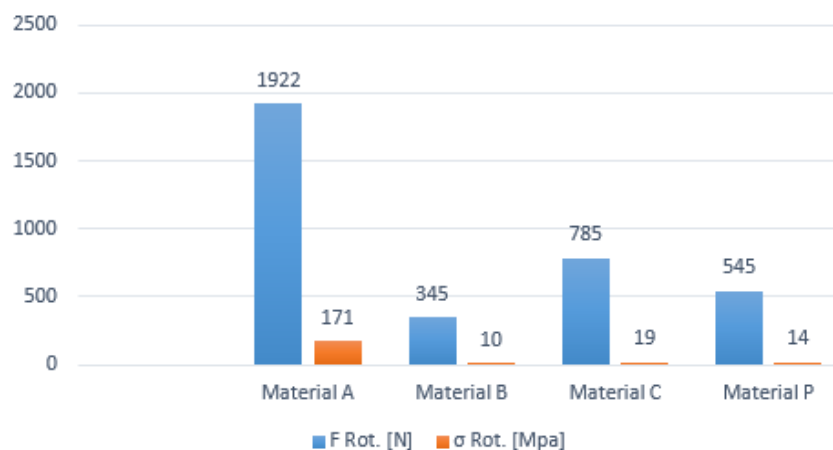


Figura 83 - Força e Tensão de rotura do ensaio de tração, comparação de resultados.

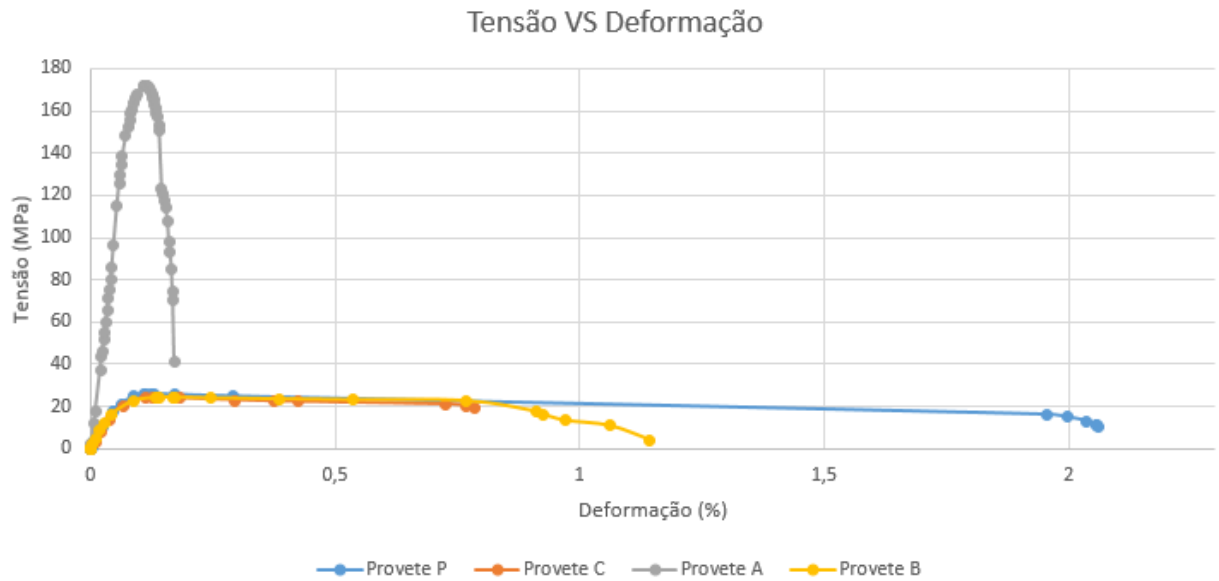


Figura 84 - Gráfico Tensão/ Deformação, para os 4 materias em estudo.

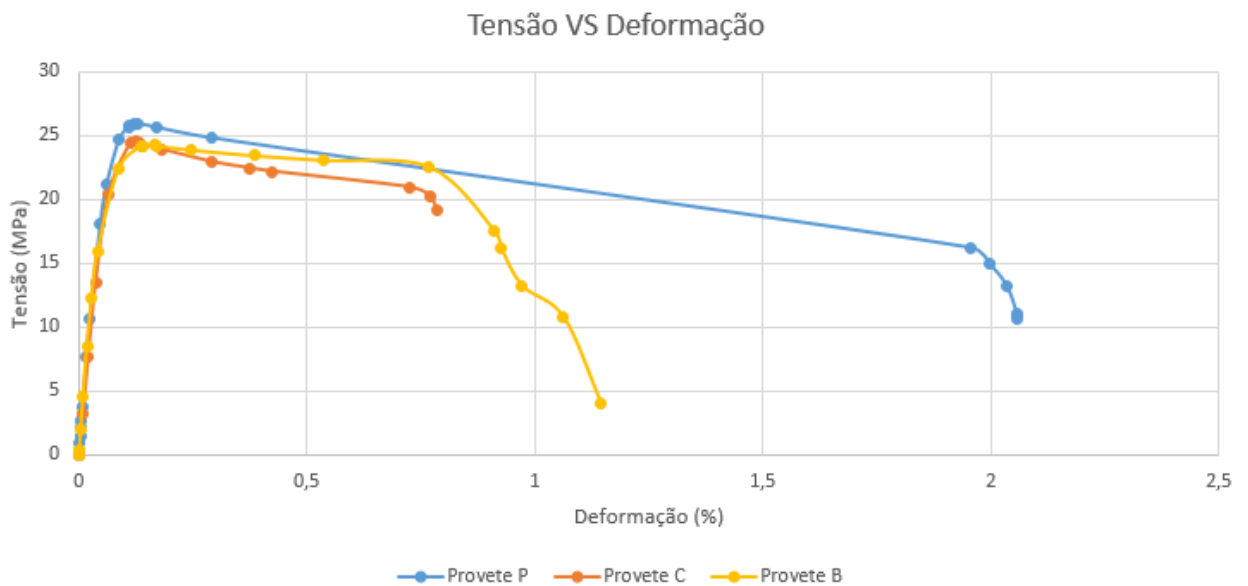


Figura 85 - Gráfico Tensão/ Deformação, apenas para os materias plásticos em estudo.

8.3 CARACTERÍSTICAS DOS POLÍMEROS INDICADOS PARA AS AMOSTRAS

8.3.1 ALUMÍNIO

Este material no seu estado puro apresenta uma resistência mecânica bastante baixa, cerca de 40 MPa, no entanto, trabalho a frio, tratamentos térmicos ou mecânicos, ou quando adicionados certos elementos de liga como o Cobre (Cu), o Silício (Si), Manganês

(Mg) entre outros, este valor aumenta significativamente e pode chegar até aos 600 MPa.

Alumínio 99,50
Silício 0,25
Ferro 0,40
Cobre 0,05
Manganês 0,05
Magnésio 0,05
Zinco 0,05
Titânio 0,03
Outros (cada) 0,03

Figura 86 - Composição química da Liga 1050. [23]

Este alumínio é considerado comercialmente como puro, com ligas muito dúcteis no estado recozido, tornando-as ideais para estampagem. Possuem uma alta resistência à corrosão bem como uma baixa resistência mecânica.

Com aplicações na indústria química, farmacêutica e alimentícia, bem como em utensílios domésticos, refrigeração e aletas.

8.3.2 POLIESTIRENO

O poliestireno é uma resina de baixa densidade que possui ótimas propriedades químicas, térmicas e elétricas. Quanto às propriedades de resistência, estas podem ser melhoradas através da junção de reforços de fibras de vidro. Estes materiais tem uma grande área de aplicação, sendo utilizados na área automóvel, em diversos componentes, aparelhos domésticos e elétricos, como por exemplo lanternas, pás de ventiladores carcaças de bateria, entre outros.

Outro polímero do qual poderá ser feita esta hélice do provete B, é o ABS, mais propriamente um co polímero pois é obtido a partir de reações de adição de monômeros diferentes, é fabricado em laboratório e pode ser considerado um tipo de borracha sintética. A sigla “ABS” vem da sua composição, devido à união de três monômeros diferentes, como a acrilonitrila (A), but-1,3-dieno (B), ou eritreno e o monômero de estireno (S), (styrene).

Cada um destes três monômeros vai conferir diferentes características ao ABS, o monómero de Estireno confere boa processabilidade, enquanto o Acrilonitrilo confere rigidez, resistência térmica e química e o butadieno torna o polímero resiliente a baixas temperaturas. Estas propriedades podem ser alteradas consoante as diferentes especificações, através da alteração da proporção destes constituintes. Uma das principais limitações deste polímero tem a ver com a sua fraca resistência às intempéries, tornando-o assim mais utilizado para aplicações interiores.

Largamente utilizados nas indústrias de tecnologia e telecomunicações e automóvel, bem como em equipamentos de refrigeração, brinquedos, artigos desportivos, entre outros.

8.3.3 POLIURETANO

O poliuretano (PU) é um dos polímeros mais versáteis existentes no mercado, podendo ser utilizado em numerosas aplicações e assumindo diversos tipos de formas diferentes. A grande variedade de propriedades mecânicas, químicas, térmicas e físicas, deste polímero, levaram à sua aplicação nas mais diversas áreas da indústria, podendo ser produzido com varias densidades e durezas, dependendo dos constituintes adicionados. O Poliuretano, pode ser fabricado e encontrado em forma de materiais rígidos, passando também pelos elastómeros, apresentando propriedades elásticas e até mesmo materiais esponjosos e espumas. Este polímero tanto pode ser considerado um termoplástico, como pode também ser um termofixo.

Os poliuretanos termofixos, designados de TPU, podem ser fabricados como um qualquer termoplástico, através de processos como a moldação por extrusão, sopro e injeção. Uma das principais desvantagens deste polímero deve-se ao facto de este se tornar um pouco mais fraco aquando em trabalhos a altas ou a baixas temperaturas, não tolerando bem espaços quentes e húmidos. Como vantagens, podemos referir o seu baixo peso, a grande variedade de durezas com que se pode apresentar, o facto de não ser um material quebradiço, a capacidade de memória elastomérica e apresentação de níveis menores de ruído quando substituindo peças em metal.



Figura 87 – Diferentes tipos de aplicações do Polímero, Poliuretano (PU). [26]

8.3.4 POLIETILENO

O polietileno é um dos polímeros mais comuns e mais baratos existentes no mercado, sendo produzido em grande escala a nível mundial. É um material bastante simples quimicamente, inerte e geralmente não tóxico, com boa processabilidade e ótimas propriedades elétricas, sendo a sua cadeia constituída basicamente por carbono e hidrogénio. Por outro lado apresenta como desvantagens, o baixo ponto de amolecimento, baixa resistência à tração, ao risco e à oxidação. Pode ser produzido com diversas densidades e formas moleculares, dependendo da sua reação de polimerização, originando e conferindo-lhes diferentes propriedades, permitindo uma diversificada gama de aplicações comerciais.

Podem então ser produzidos cinco tipos de polietilenos com características diferentes e são eles:

- Polietilenos de baixa densidade (PEBD);
- Polietileno linear de baixa densidade (PELBD);
- Polietileno de alta densidade (PEAD);
- Polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM);
- Polietileno com formação de rede (PEX).

A moldação injetada e moldação por sopro, bem como a extrusão são os processos utilizados na produção deste polímero e o seu campo de aplicações é alargado.

Enquanto o PEBD é mais utilizado na produção de filmes para embalagens agrícolas e industriais, embalagens para alimentos, tanto líquidos como sólidos, embalagens

para colocação de produtos hospitalares e farmacêuticos, brinquedos, revestimento de fios e cabos, bem como de tubagens e mangueiras.

Por outro lado, o polietileno de alta densidade, aquando produzido por injeção é utilizado por exemplo na fabricação de frascos para detergentes, baldes e bacias, brinquedos, assentos sanitários, boias, tampas para garrafas entre muitos outros.

Estes dois Polietilenos são muito idênticos nas suas aplicações, contudo, na sua generalidade, o PEAD é mais duro e resistente enquanto o PEBD é flexível.

	PEBD		PEAD	
		Radicais livres		Coordenação
Tipo de polimerização				
Pressão de polimerização, atm	Alta	1.000 - 3.000	Baixa	1 - 30
Temperatura reacional, °C	Alta	100 - 300	Baixa	50 - 100
Tipo de cadeia		Ramificada		Linear
Densidade, g/cm ³	Baixa	0,91 - 0,94	Alta	0,94 - 0,97
Cristalinidade, %	Baixa	50 - 70	Alta	até 95
Tm, °C	Baixa	110 - 125	Alta	130 - 135

Figura 88 – Principais características do PEBD e do PEAD. [27]

8.3.5 POLIPROPILENO

Trata-se de um polímero termoplástico que deriva do propeno ou do propileno e é em termos das suas propriedades muito semelhante ao polietileno (PE), mas com um ponto de amolecimento superior. O seu baixo custo, a elevada resistência química, bem como a boa resistência à fratura por flexão ou por fadiga, a boa estabilidade térmica e resistência ao impacto são algumas das propriedades que levam este termoplástico a ser amplamente utilizado nas diversas aplicações de engenharia. Estas propriedades são possíveis de alcançar através de métodos de copolimerização e de aditivação, como é o caso do EPDM, que misturado com o PP, torna o material mais flexível, dependendo da percentagem de elastómero.

O Polipropileno (PP) possui uma elevada rigidez e uma grande resistência à temperatura elevada quando em comparação com os restantes polímeros mais comuns, permitindo aplicações em contínuo com temperaturas acima dos 100 °C.

Pode ser processado através de extrusão, termoformação, sopro ou injeção e tem como principais aplicações, peças para a indústria automóvel, diversos tipos de tampas e capsulas, tupperwares, material hospitalar esterilizável e peças diversas para automóvel, como por exemplo para-choques, pedais, ventoinhas entre outros.

8.4 IMAGENS TÉRMICAS (FLIR)

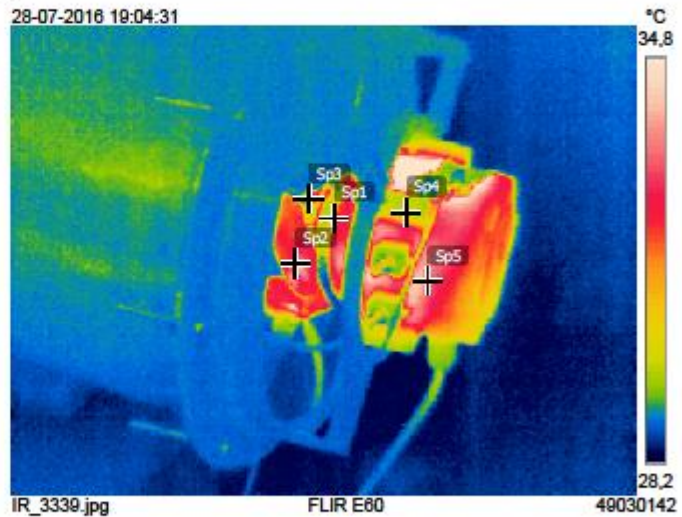
Fotografias retiradas pela camara térmica FLIR E60, durante funcionamento do sistema, com os motores de polos sombreados e ECM, com as várias hélices em estudo.



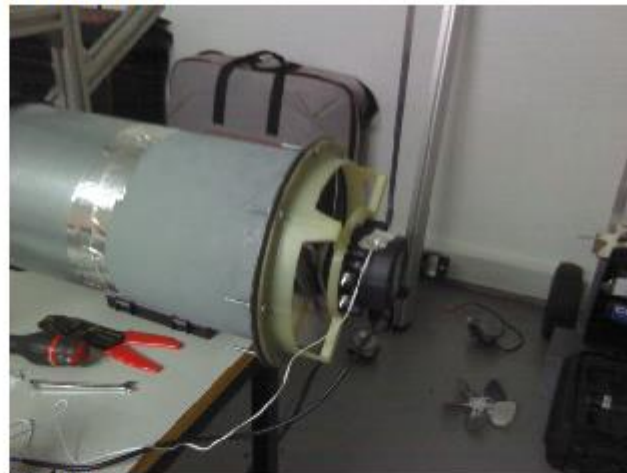
Meio do ensaio - Hélice do metal A, motor ECM

Medições		°C
Sp1	30,5	
Sp2	33,4	
Sp3	32,1	
Sp4	29,9	
Sp5	33,5	

Parâmetros	
Emissividade	0.95
Temp. refl.	20 °C



28-07-2016 19:04:31



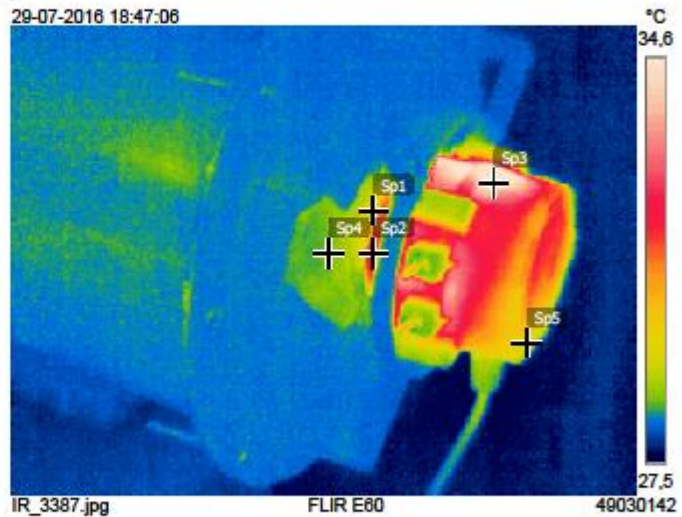
DC_3340.jpg



Meio do ensaio - Hélice do material B, motor ECM

Medições		°C
Sp1	29,8	
Sp2	32,2	
Sp3	35,2	
Sp4	28,6	
Sp5	29,5	

Parâmetros	
Emissividade	0.95
Temp. refl.	20 °C



29-07-2016 18:47:06



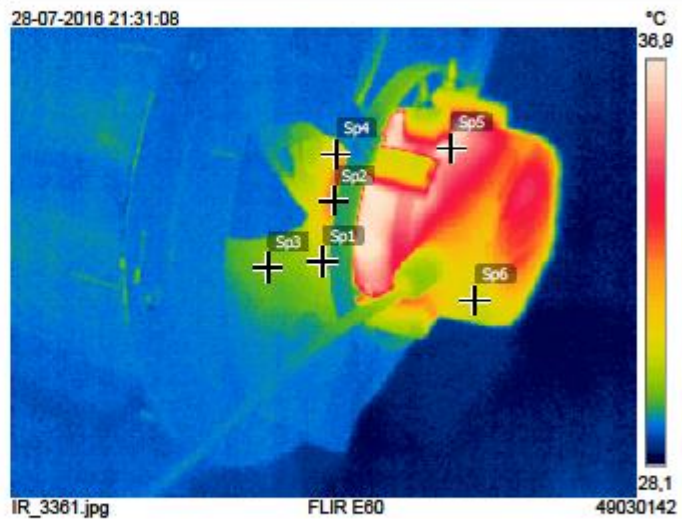
DC_3388.jpg



Meio do ensaio - Hélice do material C, motor ECM

Medições		°C
Sp1	30,3	
Sp2	33,2	
Sp3	29,8	
Sp4	31,3	
Sp5	36,5	
Sp6	30,7	

Parâmetros	
Emissividade	0.95
Temp. refl.	20 °C



28-07-2016 21:31:08



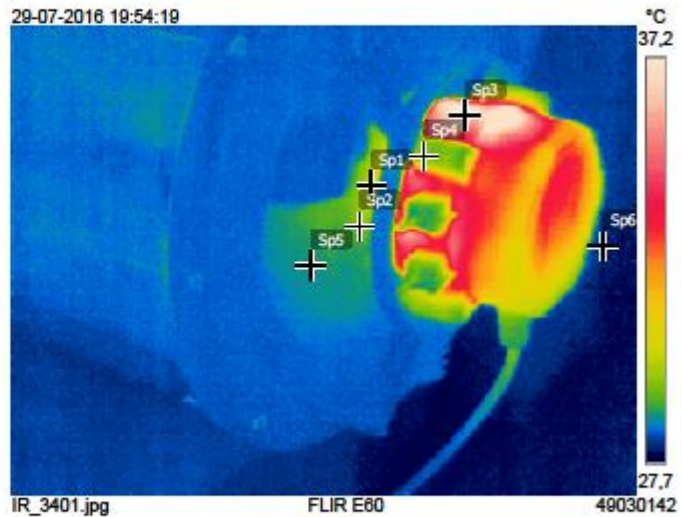
DC_3362.jpg



Meio do ensaio - Hélice do material P, motor ECM

Medições		°C
Sp1	30,8	
Sp2	29,5	
Sp3	37,5	
Sp4	29,6	
Sp5	28,9	
Sp6	28,1	

Parâmetros	
Emissividade	0.95
Temp. refl.	20 °C



29-07-2016 19:54:19



DC_3402.jpg